

# Histoire des premiers anneaux de stockage et de collisions

J. Haïssinski

1

# Histoire des premiers collisionneurs et des premières sources de rayonnement synchrotron

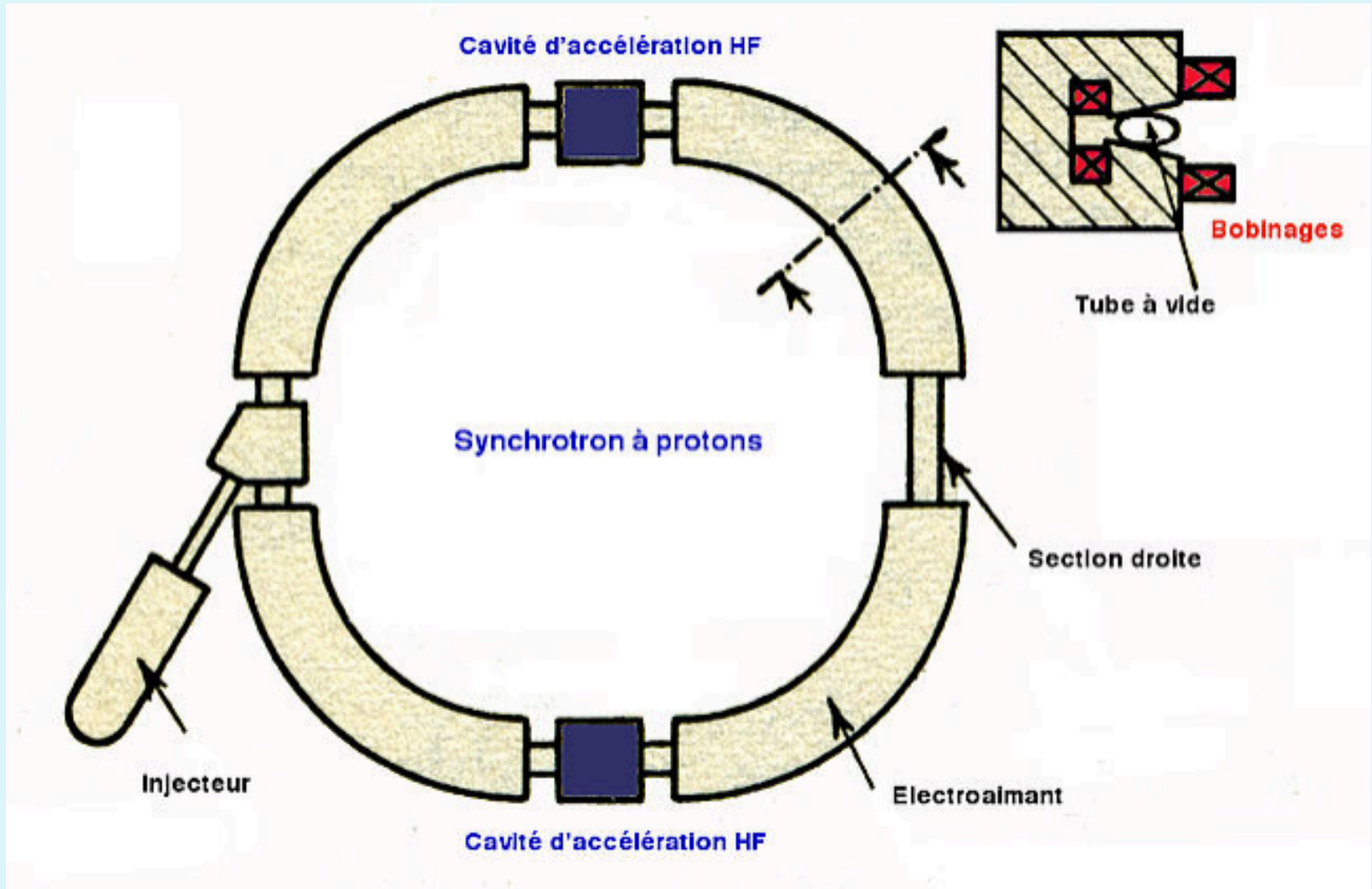
Livre de Pierre Marin :  
*'Un demi-siècle d'accélérateurs de particules'*  
édité à l'initiative de l'association Sciences-ACO

Conférence de Sydney Leach (18-1-2018) :  
*'Histoire du rayonnement synchrotron à Paris-Sud  
depuis les origines jusqu'à SOLEIL'*

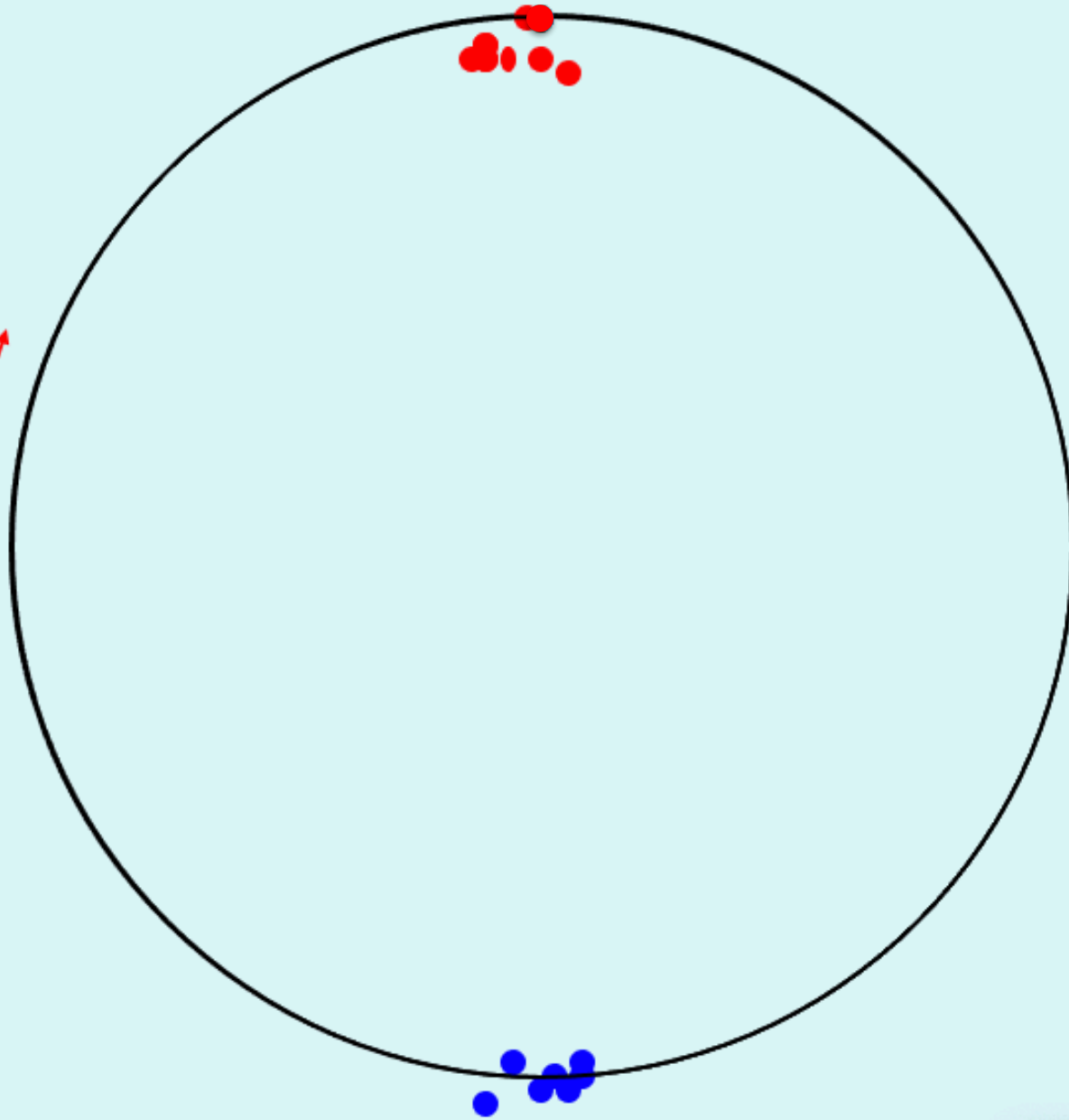
2

<https://webcast.in2p3.fr/video/histoire-du-rayonnement-synchrotron-a-paris-sud>

Les anneaux de stockage sont des accélérateurs de type synchrotron



électrons



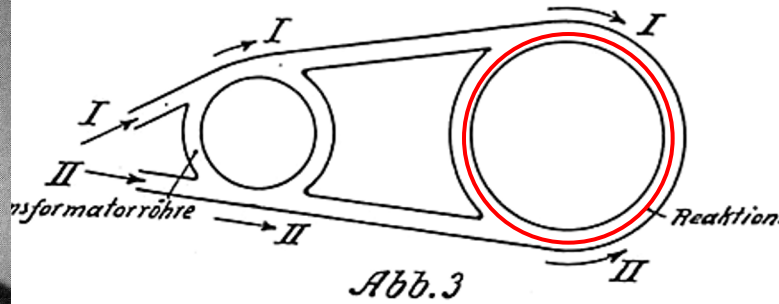
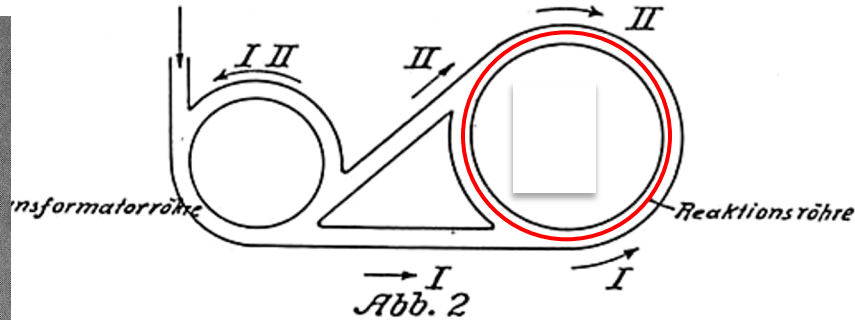
positrons





# Rolf Wideröe 1902-1996

Deux idées à l'origine d'un dépôt de brevet 1943



Ertelt auf Grund des Ersten Überleitungsgesetzes vom 8. Juli 1949  
(WZGL S. 279)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



AUSGEBEN AM  
11. MAI 1953

DEUTSCHES PATENTAMT  
PATENTSCHRIFT

Nr. 876 279

KLASSE 21g GRUPPE 36  
W 68y VIII c 12g

Dr.-Ing. Rolf Wideröe, Oslo  
ist als Erfinder genannt worden

Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie, Baden (Schweiz)

Anordnung zur Herbeiführung von Kernreaktionen

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 8. September 1943 an  
Patentanmeldung bekanntgemacht am 18. September 1942  
Patenterteilung bekanntgemacht am 26. März 1953

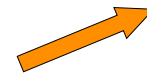
Kernreaktionen können dadurch herbeigeführt werden, daß geladene Teilchen von hoher Geschwindigkeit und Energie, in Elektronenvolt gemessen, auf die zu untersuchenden Kerne geschossen werden. Wenn die geladenen Teilchen in einem gewissen Mindestabstand von den Kernen gelangen, werden die Kernreaktionen eingeleitet. Da aber neben den zu untersuchenden Kernen noch die gesamten Elektronen der Atomhülle vorhanden sind und auch der Wirkungsquerschnitt des Kernes sehr klein ist, wird der größte Teil der geladenen Teilchen von den Hüllenelektronen abgestreut, während nur ein sehr kleiner Teil die gewünschten Kernreaktionen herbeiführt.

Erfindungsgemäß wird der Wirkungsgrad der Kernreaktionen dadurch wesentlich erhöht, daß die Reaktion in einem Vakuumgefäß (Reaktionsröhre) durchgeführt wird, in welchem die geladenen Teilchen hoher Geschwindigkeit gegen einen Strahl von den zu untersuchenden und sich entgegengesetzt bewegend

Kernen auf einer sehr langen Strecke laufen müssen. Dies kann in der Weise durchgeführt werden, daß die geladenen Teilchen zum mehrmaligen Umlauf in einer Kreisröhre gezwungen werden, wobei die zu untersuchenden Kerne auf derselben Kreisbahn, aber in entgegengesetzter Richtung umlaufen. Da die geladenen Teilchen dabei nicht von bei der Reaktion unwirksamen Elektronen abgestreut werden und andererseits auf einer sehr langen Wegstrecke gegen die Kerne sich bewegen können, wird die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten der Kernreaktionen wesentlich größer und der Wirkungsgrad der Reaktion sehr stark erhöht.

Um die bei der Kreisbewegung entstehenden Zentrifugalkräfte aufzuheben, müssen die umlaufenden Teilchen von nach innen gerichteten Abwehrkräften gesteuert werden, während eine Diffusion der Teile mittels stabilerer, von allen Seiten auf den Bahnkreis gerichteter Kräfte verhindert wird. Falls die gegen-

Brevet resté secret  
jusqu'en 1953  
'nuclear mill'  
(moulin nucléaire)



« I spoke with Tauschek about my ideas and he said that they were pretty obvious, the type of thing that most people would learn at primary school »

R. Wideröe

Phys. Rev. 102, 590, 15 April 1956 :  
[Attainment of Very High Energy by Means of Intersecting Beams of Particles](#)

D. W. Kerst, F. T. Cole, H. R. Crane,  
L. W. Jones, L. J. Laslett, T. Ohkawa,  
A. M. Sessler, K. R. Symon, K. M.  
Terwilliger, and Nils Vogt Nilsen

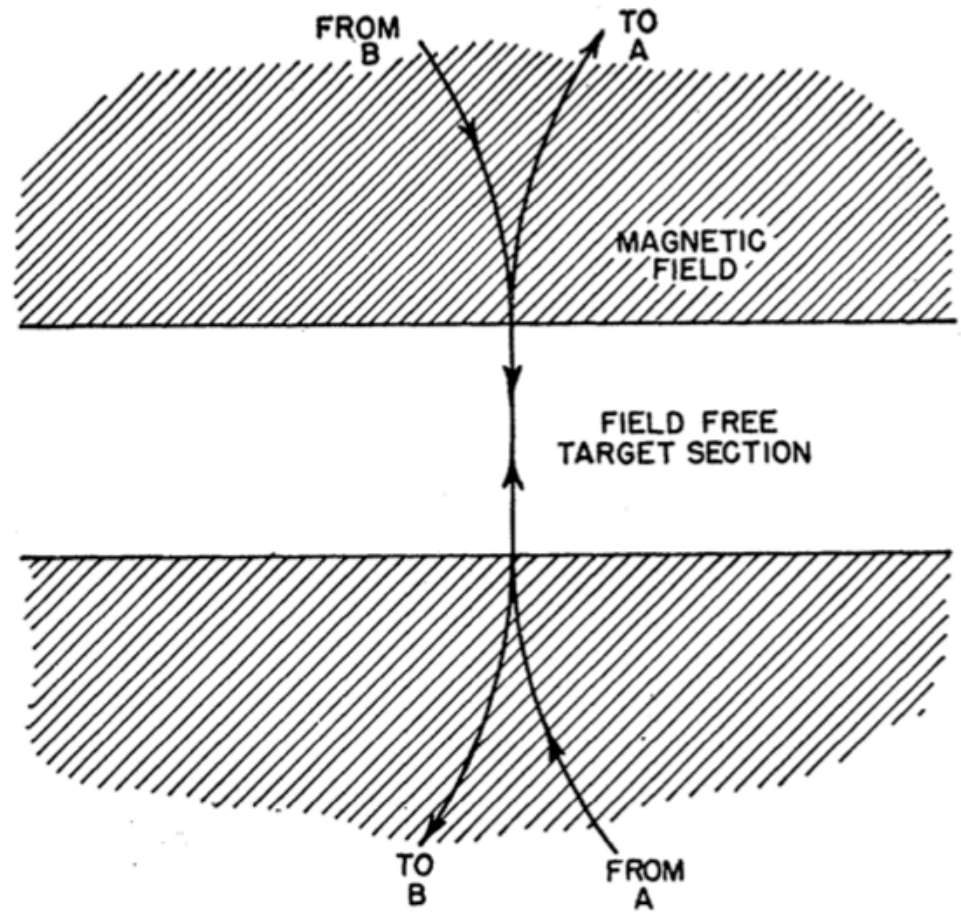
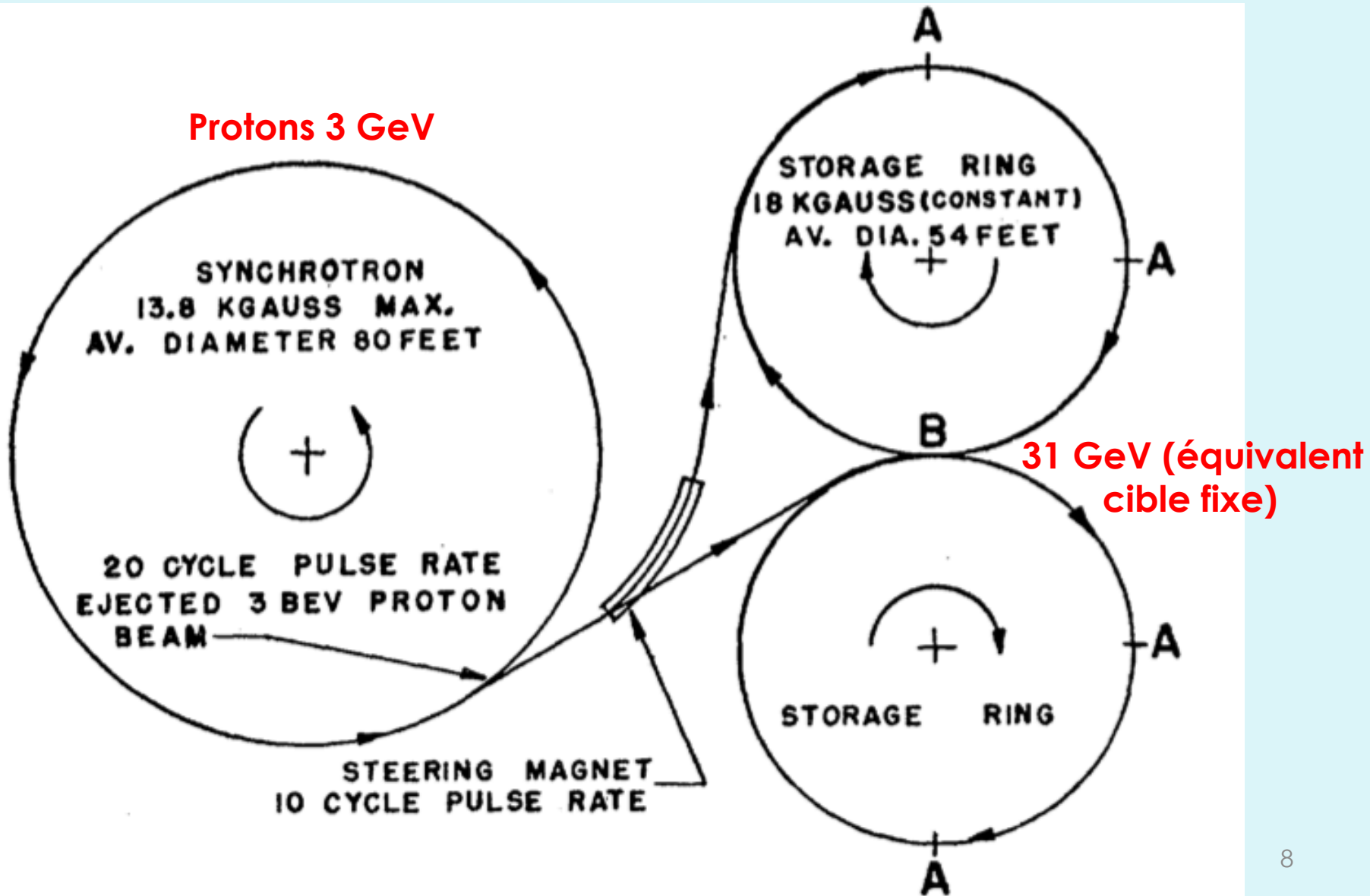


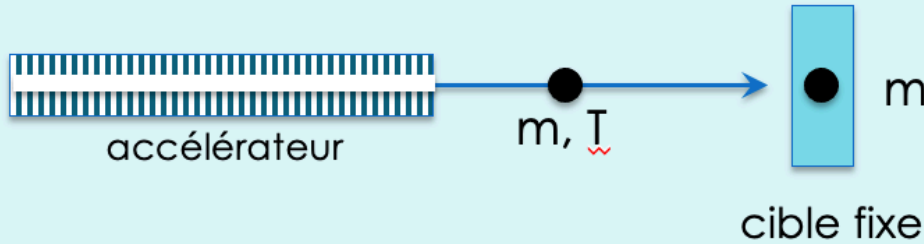
FIG. 1. The target straight section. *B* and *A* can be adjacent or concentric fixed-field alternating-gradient accelerators.

V. A. Petukhov,  
J. Exp. Theor. Phys. (URSS)  
32, 379 (1957)  
diffusion élastique e- e-

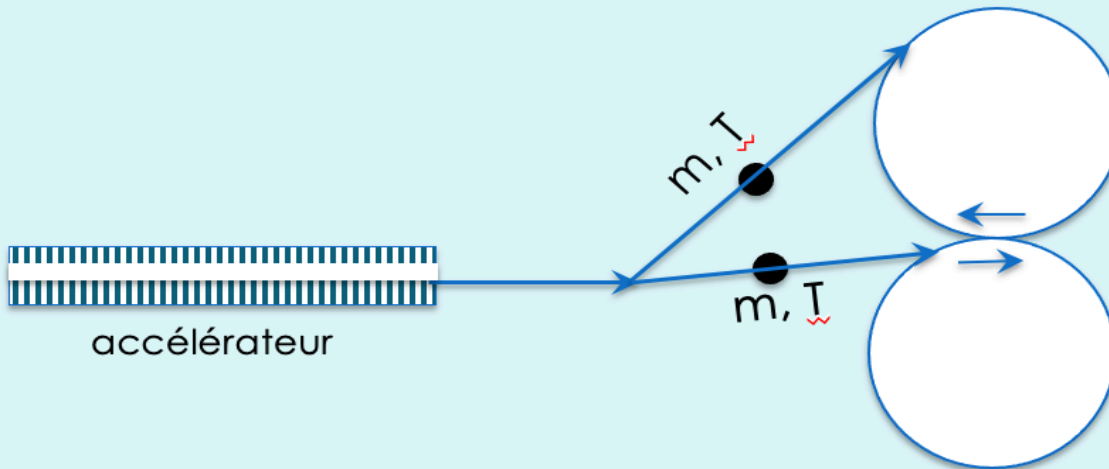
Phys. Rev. 102, 1418, June 1956: [Storage-Ring Synchrotron: Device for High-Energy Physics Research](#), Gerard K. O'Neill



# UN PEU DE CINÉMATIQUE relativiste (niveau école primaire?)



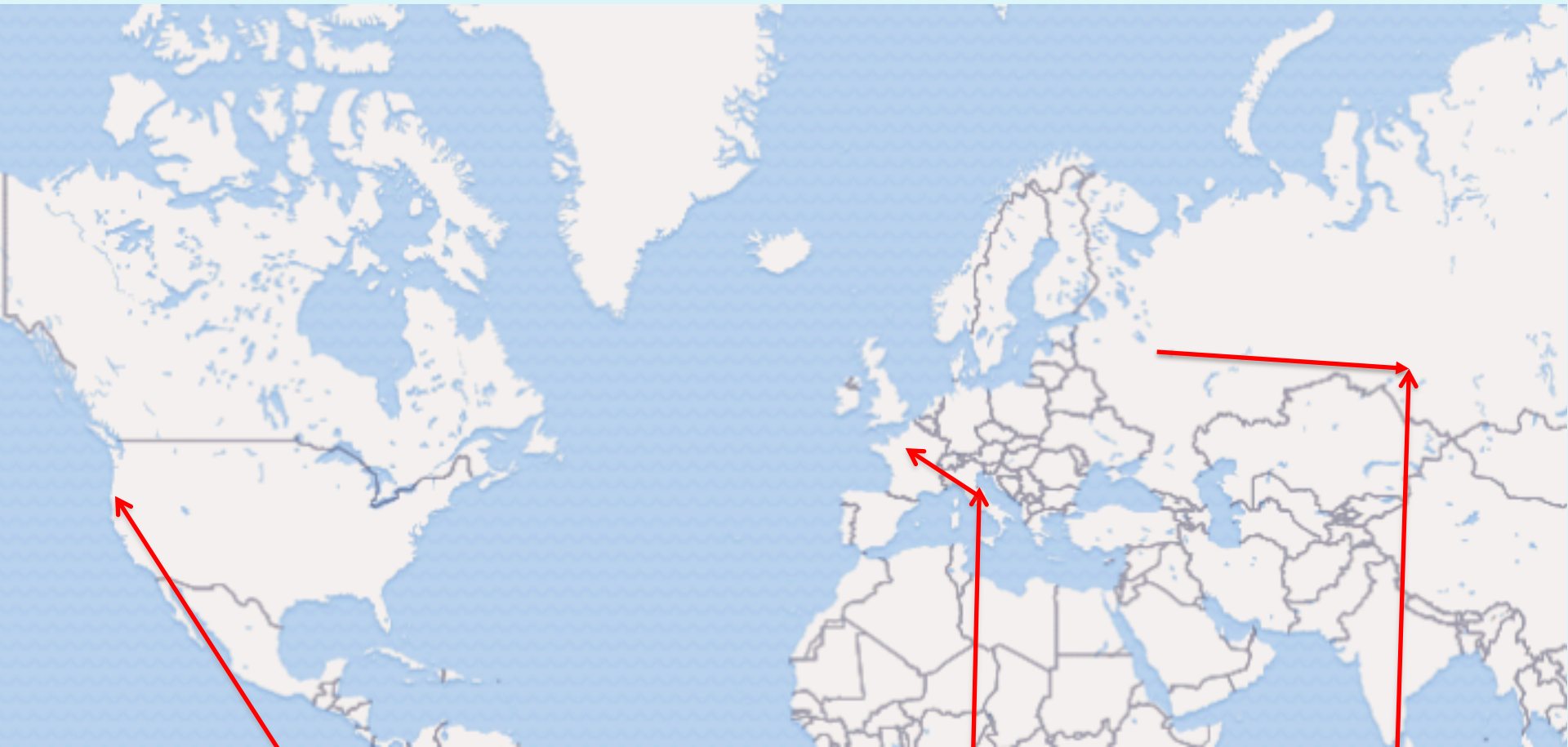
$$E_{\text{CM, mode fixe}} = [2m (T+2m)]^{1/2}$$



$$E_{\text{CM, mode collision}} = 2 (T+m)$$

gain en énergie dans le CM (régime relativiste)  $\sim (2 \gamma)^{1/2}$





HEPL Stanford  
Gerard K. O'Neil  
 $e^- e^-$  1958  
1<sup>er</sup> faisceau mars 1962

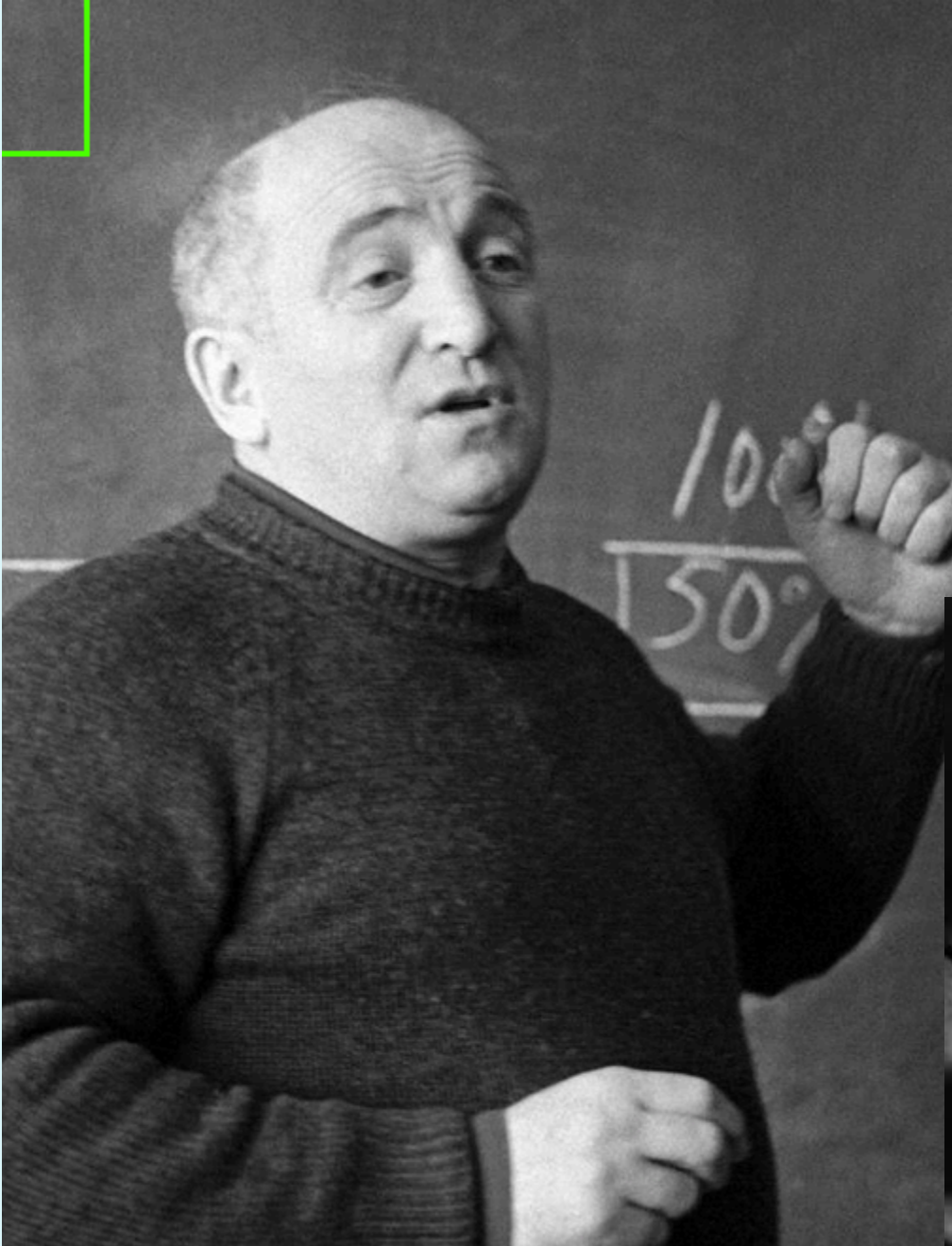
LNF Frascati  
Bruno Touschek  
 $e^- e^+$  1960  
1<sup>er</sup> faisceau mai 1961  
LAL Orsay  
Pierre Marin  
à Orsay en 1962

NPI Novosibirsk  
Gersh I. Budker  
 $e^- e^-$  1956  
1<sup>er</sup> faisceau 1963

# 1<sup>ère</sup> génération d'anneaux de stockage

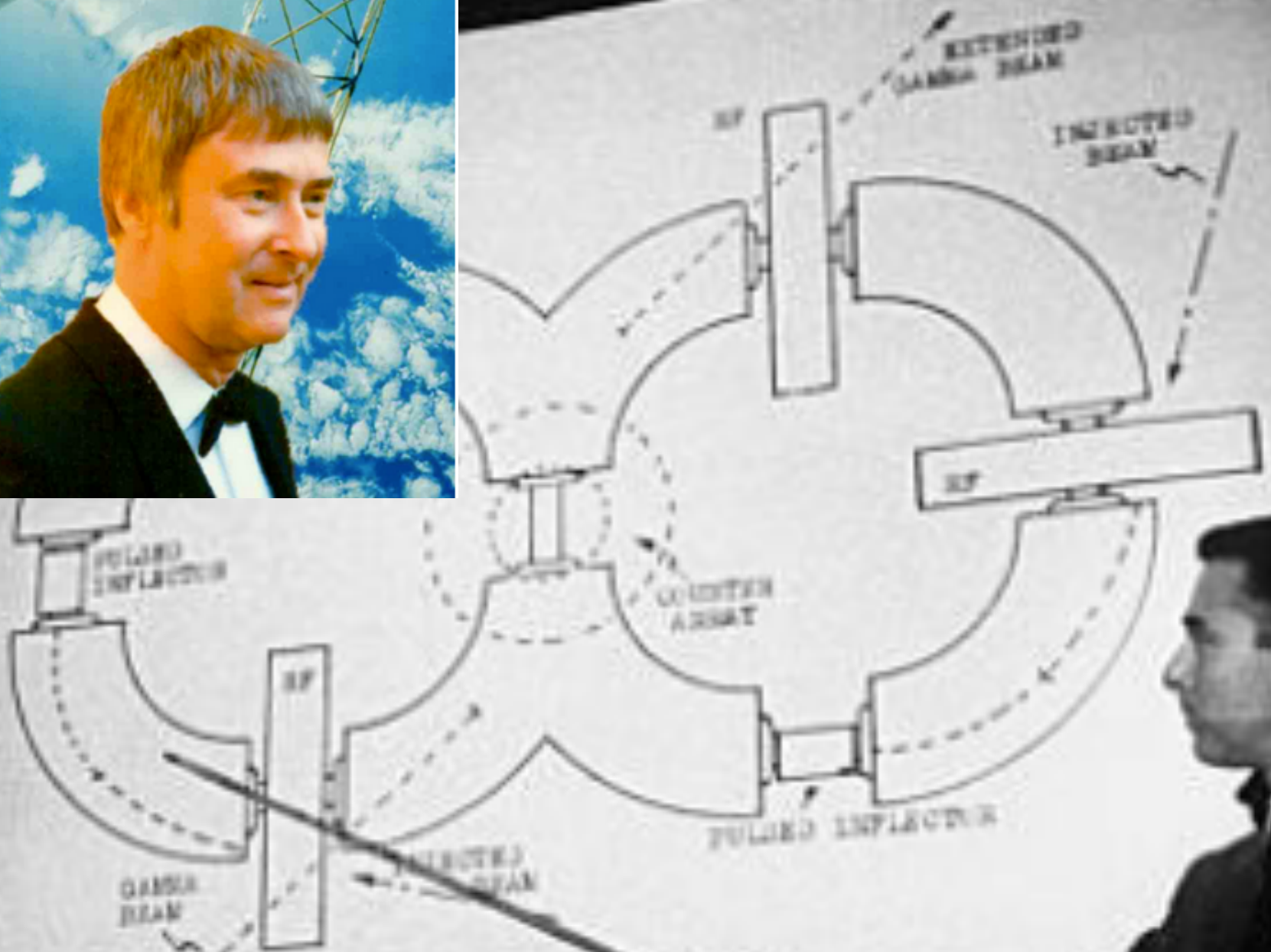
(anneaux à focalisation faible)

Laboratoire	date 1 <sup>ère</sup> proposition	nom	type	énergie (MeV)
Institut Kurchatov (Moscou) puis Novosibirsk	1956	VEP-1	e- e-	2 x 160
HEPL (Stanford)	1958	Princeton- Stanford e- e- storage rings	e- e-	2 x 500
Lab. Nat. Frascati	1960	Prototype AdA	<b>e- e+</b>	2 x 220



Gersh Itskovich Budker





Gerard K. O'Neil



Bruno Touschek





André Blanc-Lapierre

Pierre Marin

Yvette Cauchois





# Difficultés technologiques pour passer des synchrotrons accélérateurs en anneaux de stockage (et de collisions)

- Longue durée du stockage

*La distance parcourue en 1 h ~ 8 fois Terre-Soleil*

- ultravide ~ 1 nano-torr ( $\sim 10^{-9}$  mm de Hg)
- spécifications sévères sur le champ magnétique des électro-aimants et sur leur alignement
- grande fiabilité et une grande stabilité de toute l'installation (alimentations des aimants, circuits de refroidissement...)

- Création de paquets suffisamment denses

- Atout des anneaux électrons/positrons : leur rayonnement synchrotron entraîne un amortissement rapide des oscillations bêtatron et synchrotron

# $e^+ e^-$ versus $e^- e^-$

- + Un seul anneau
- Difficulté de créer des  $e^+$  en nombre suffisant
- + Garantie que les faisceaux se croisent (invariance CT)
- + Physique des annihilations incomparablement plus riche

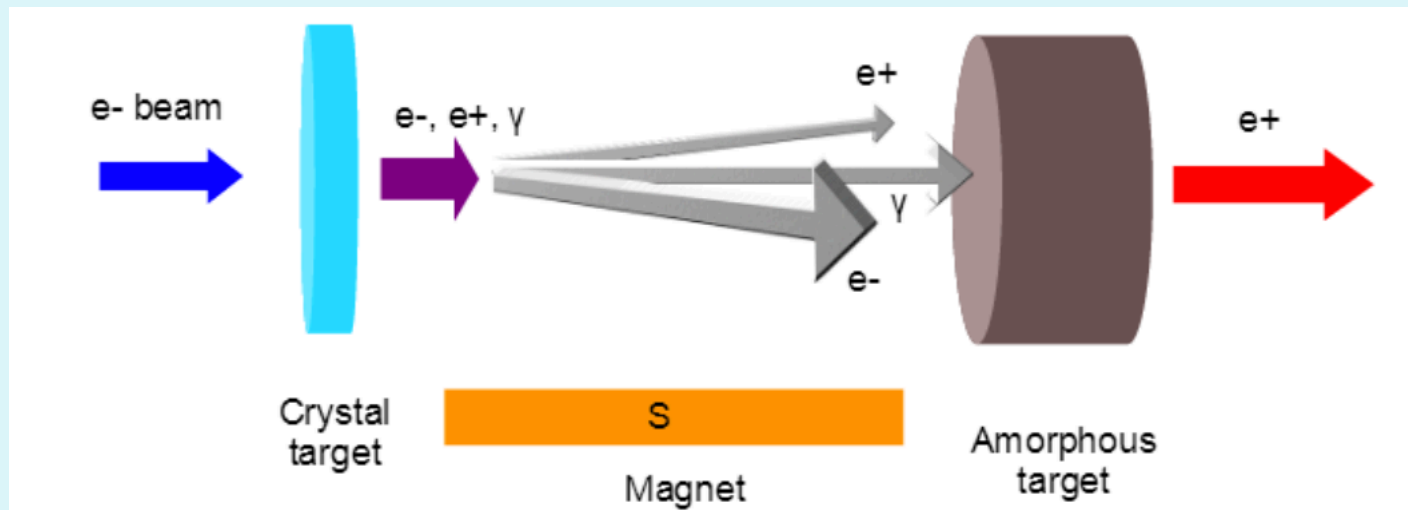


Figure : courtesy of the positron source group at LAL.

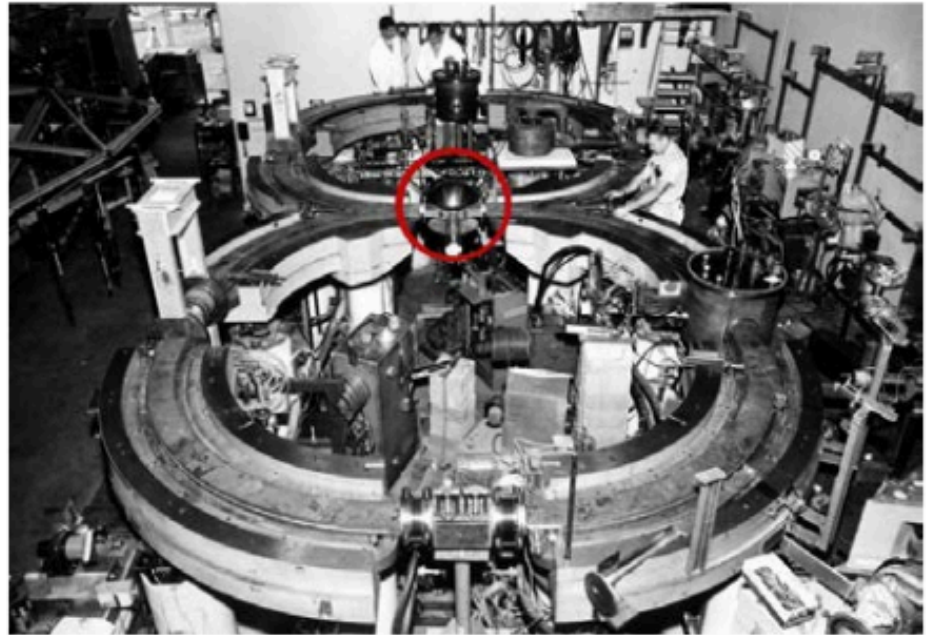
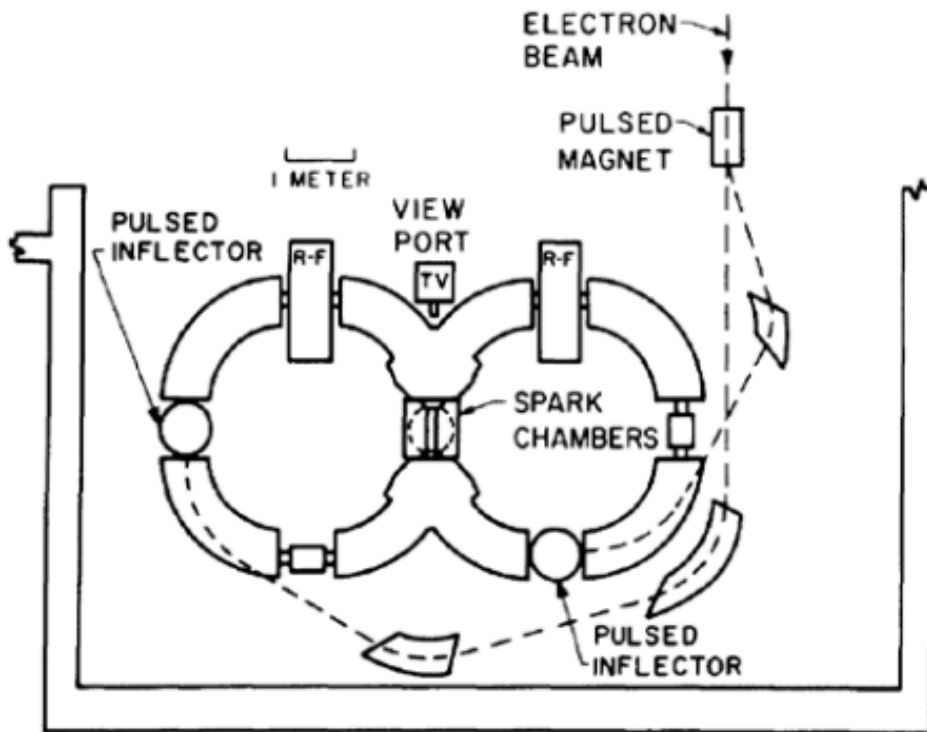


Fig.3: Layout and photo of the Princeton-Stanford electron-electron collider.

HEPL Report, RX-1486, Stanford University, May 1958: [A Proposed Experiment on the Limits of Quantum Electrodynamics](#), G. K. O'Neill, W. C. Barber, B. Richter, W. K.H. Panofsky.

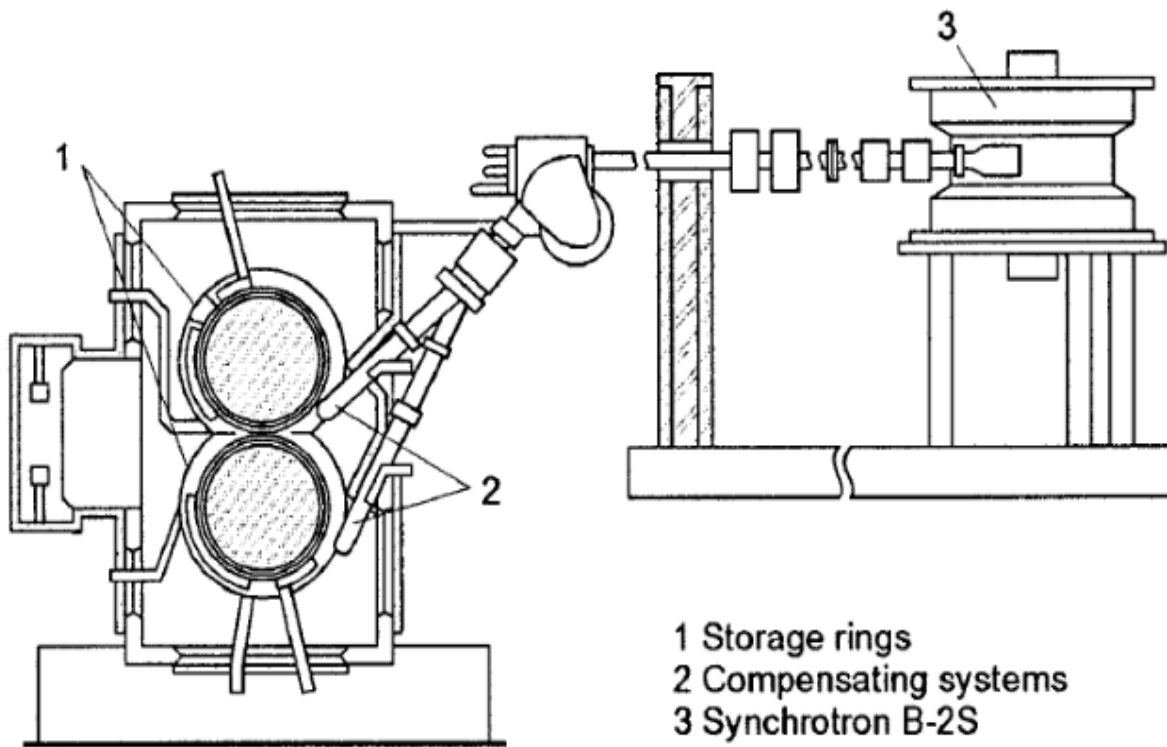


Fig. 2: Layout and photo of the VEP-1 col

Proceedings of the International Conference on High Energy Accelerators,  
Dubna, 1963, p. 274, G. I. Budker, et al. (in Russian).



## **The Frascati Storage Ring.**

C. BERNARDINI, G. F. CORAZZA, G. GIUGO

*Laboratori Nazionali del C.N.E.N. - Frascati*

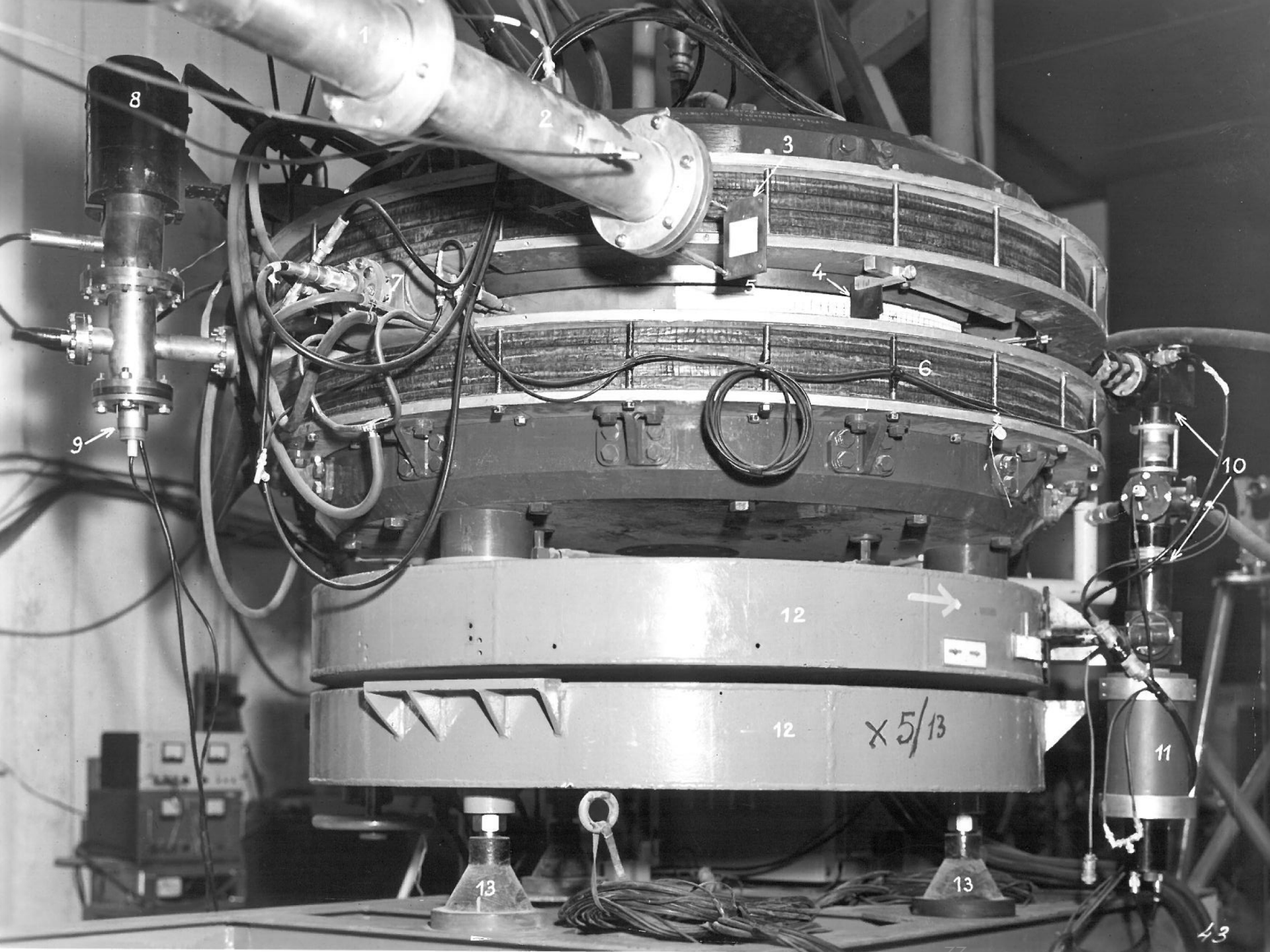
B. TOUSCHKEK

*Istituto di Fisica dell'Università - Roma*

*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Roma*

(ricevuto il 7 Novembre 1960)

*AdA : Anello di Accumulazione*



8

2

3

4

6

9

12

12

x 5/13

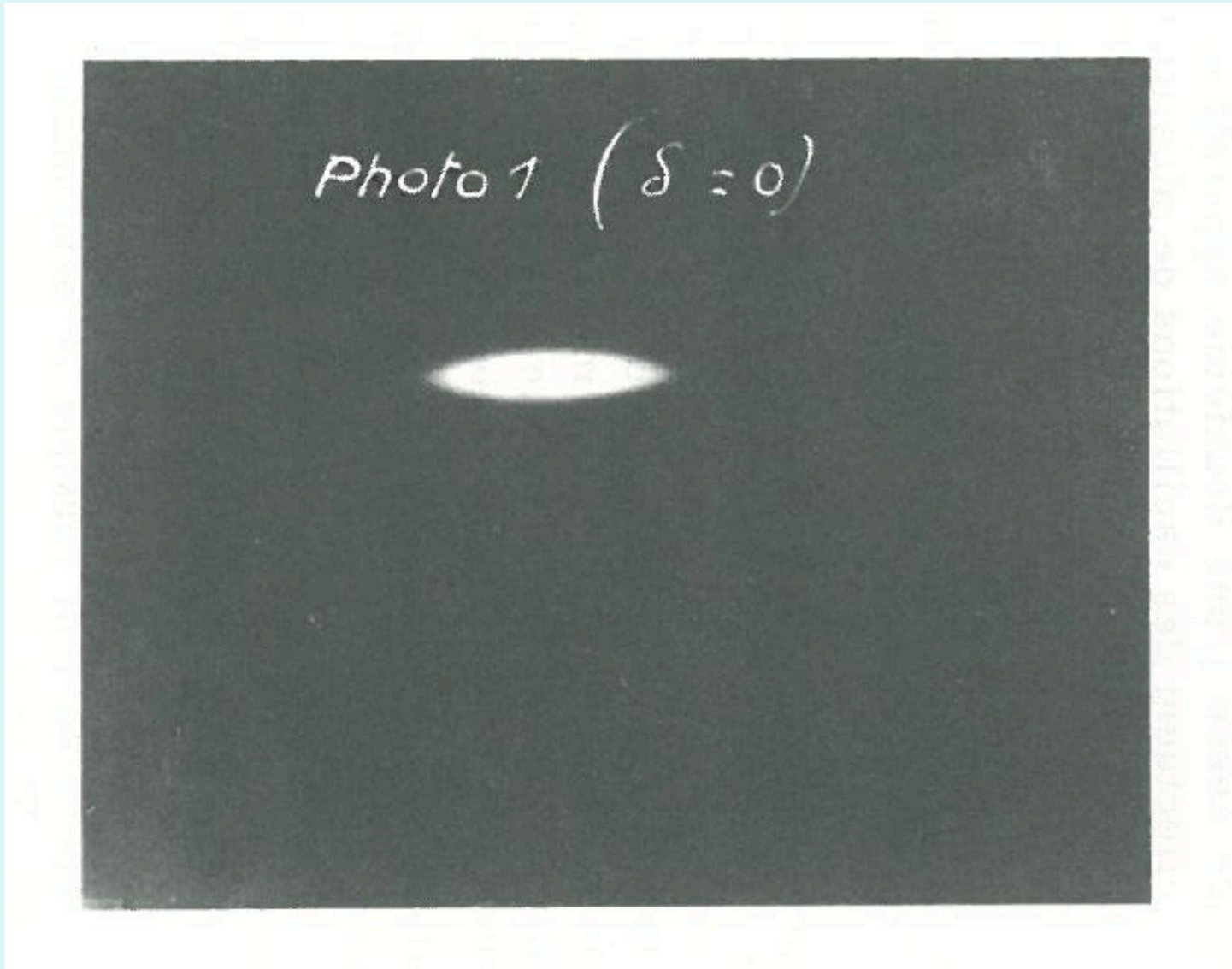
11

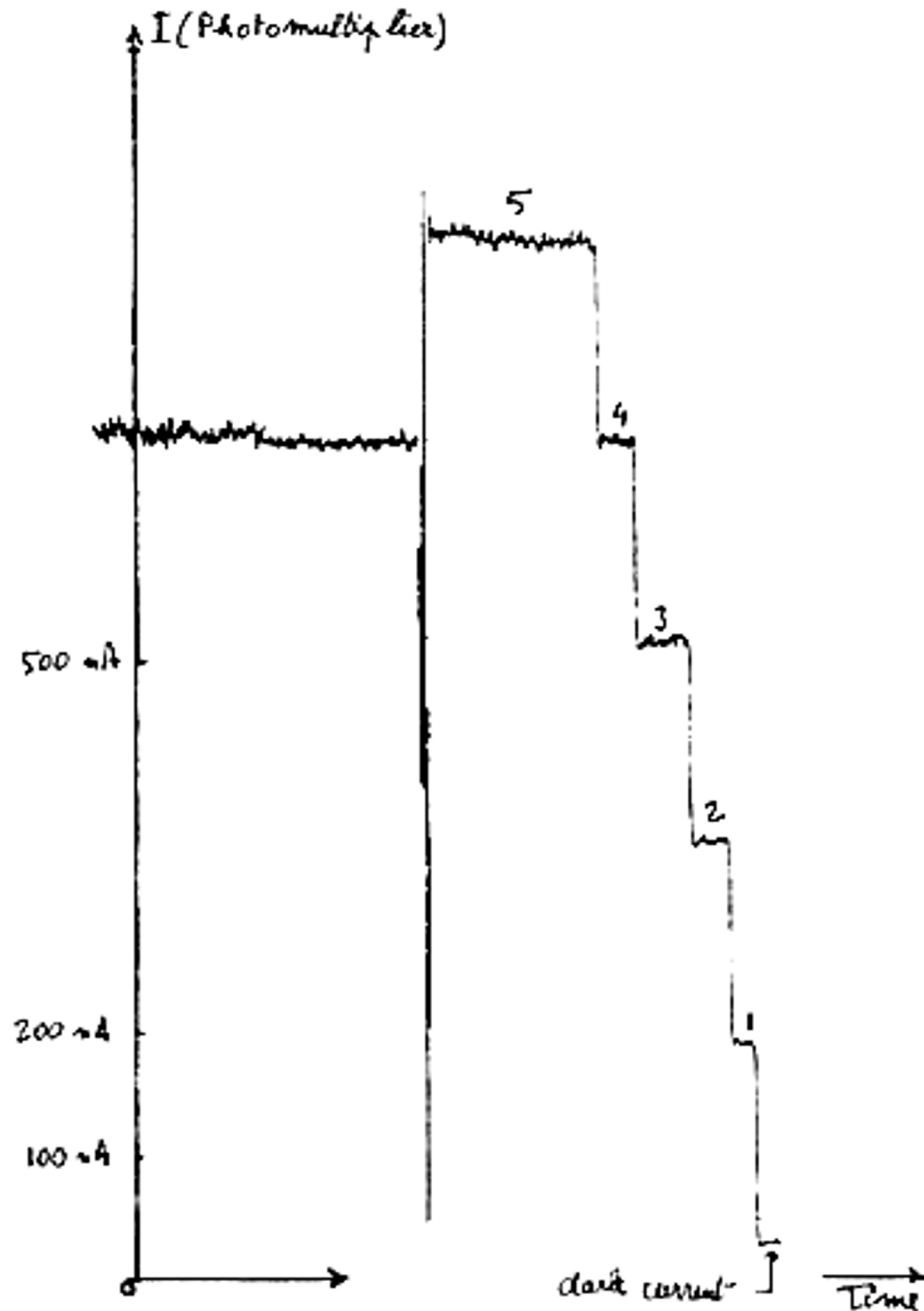
13

13

43

# Photographie du rayonnement synchrotron émis dans AdA





Observation des  
électrons  
un par un !  
(cf. exp. de Millikan)

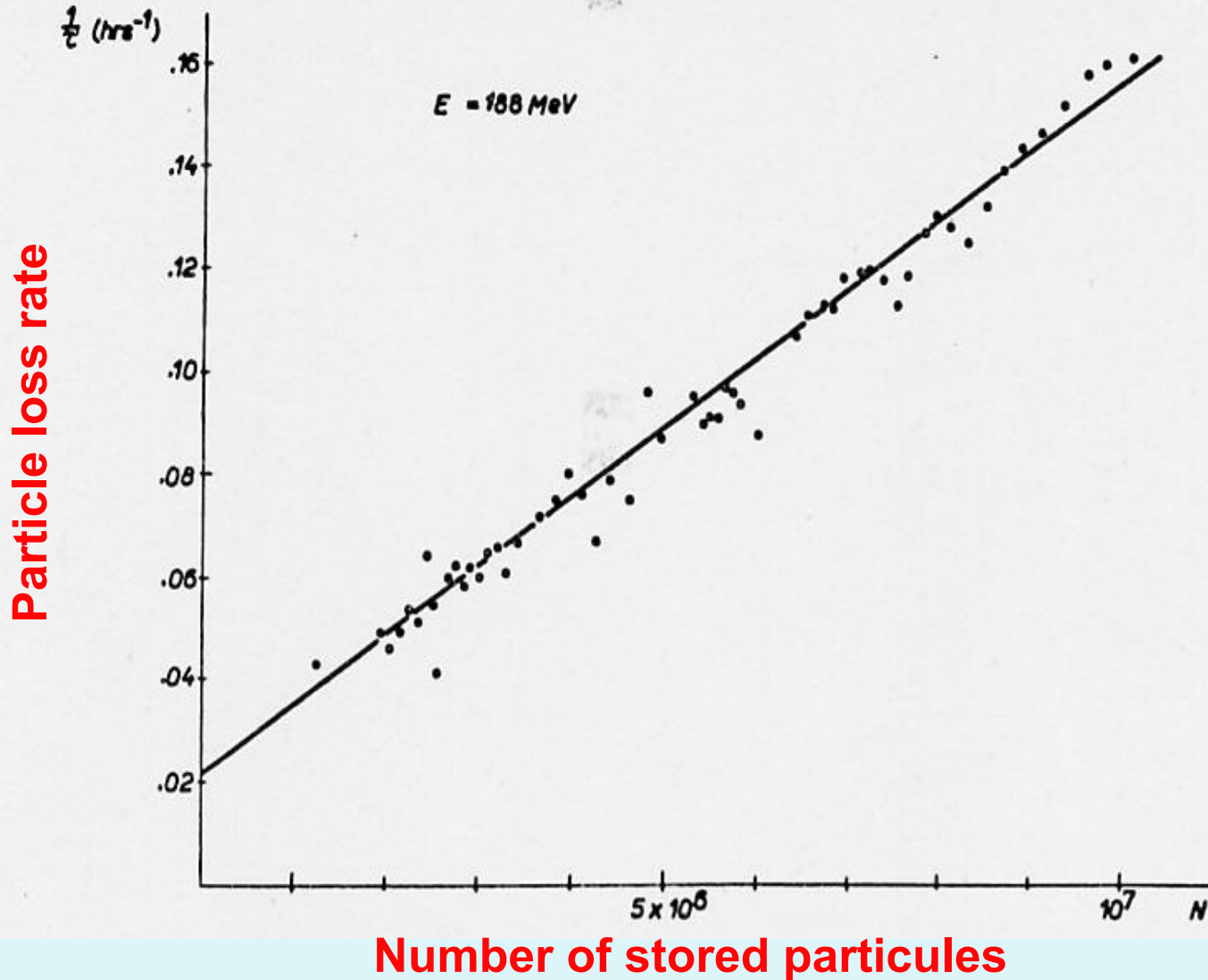
Un verre d'eau  
contient environ 30  
trillions de trillions  
d'électrons

# Touschek effect

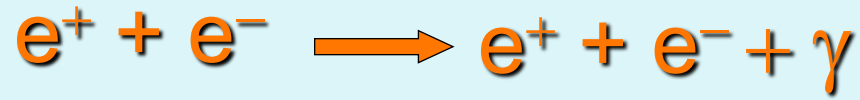
VOLUME 10, NUMBER 9

PHYSICAL REVIEW LETTERS

1 MAY 1963

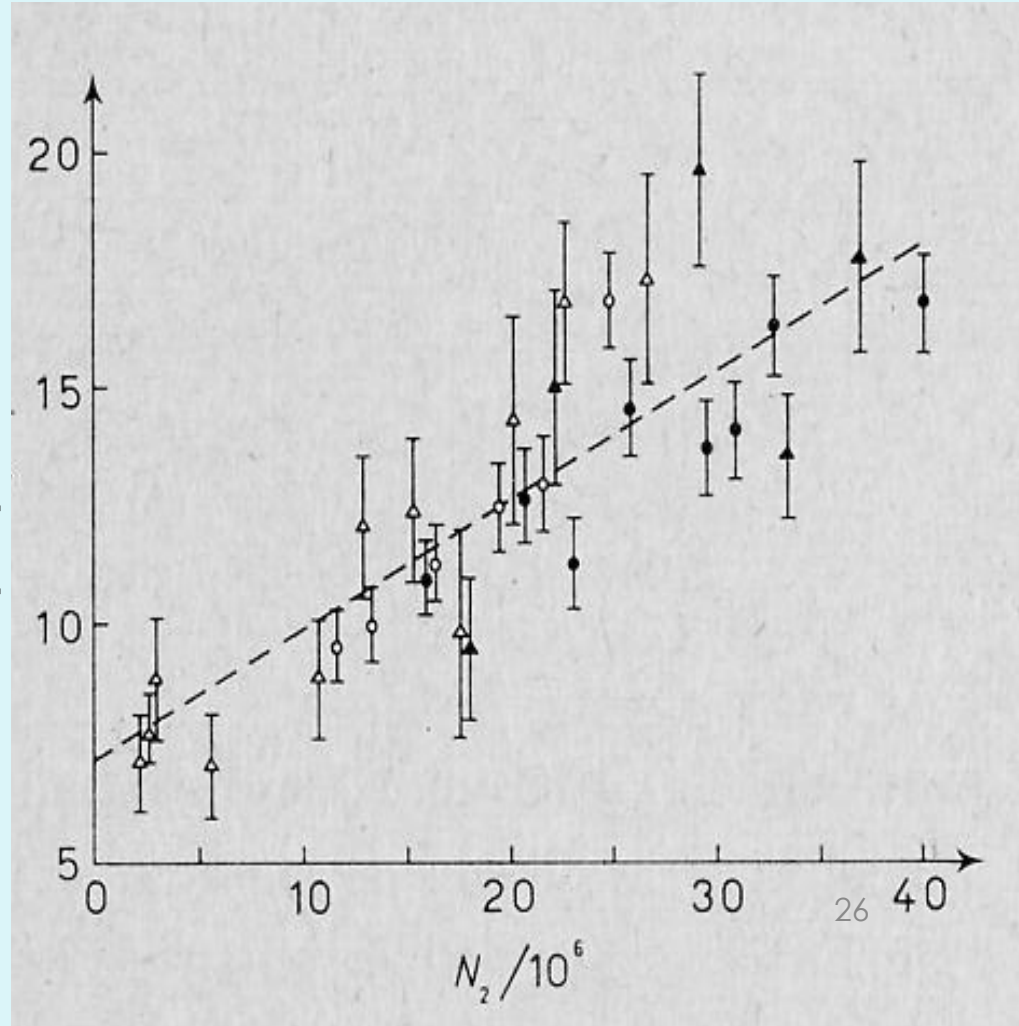






automne 1963  
- printemps 1964 :  
1<sup>ères</sup> observations  
de collisions  $e^+ e^-$   
dans une anneau  
de stockage

Taux d'événements par particule du faisceau # 1



Nombre de particules dans le faisceau # 2

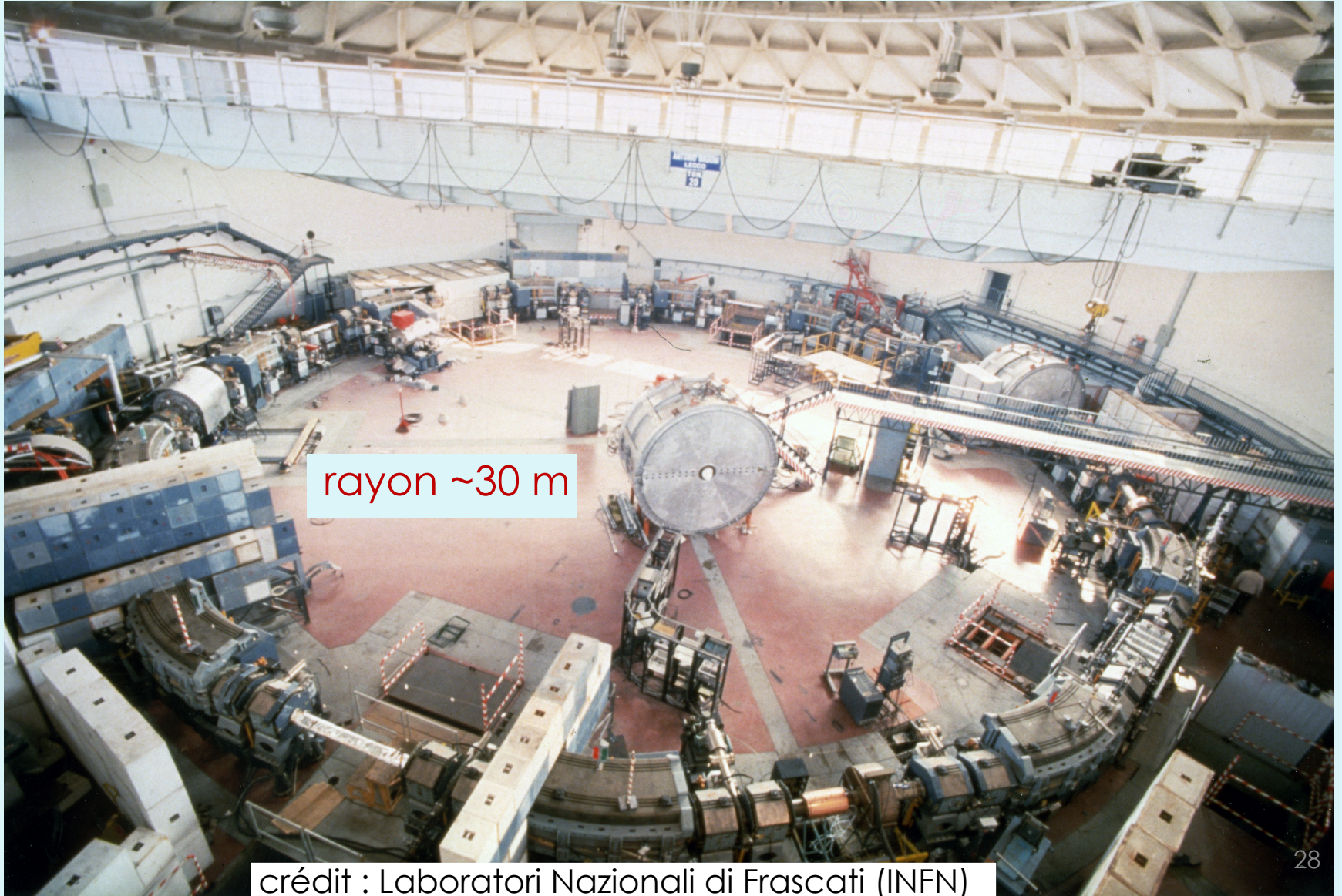
# 2<sup>ème</sup> génération d'anneaux de stockage

(machines à fonctions – courbure, focalisation – séparées)

Laboratoire	Date de la proposition	Nom	type	Énergie (GeV)
Institut de physique nucléaire Novossibirsk	1959	VEPP-2	e+ e-	2 x 0,7
Laboratoire National de Frascati	1960	ADONE	e+ e-	2 x 1,5 (2 x 1,55)
Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire	1962	ACO Anneau de Collisions d'Orsay	e+ e-	2 x 0,51
Cambridge Electron Accel. Laboratory (CEA, USA)	1967	Bypass	e+ e-	2 x 3,5



# L'anneau ADONE (Frascati) $E_{cm} = 3,1 \text{ GeV}$ avec une cavité RF en attente au centre



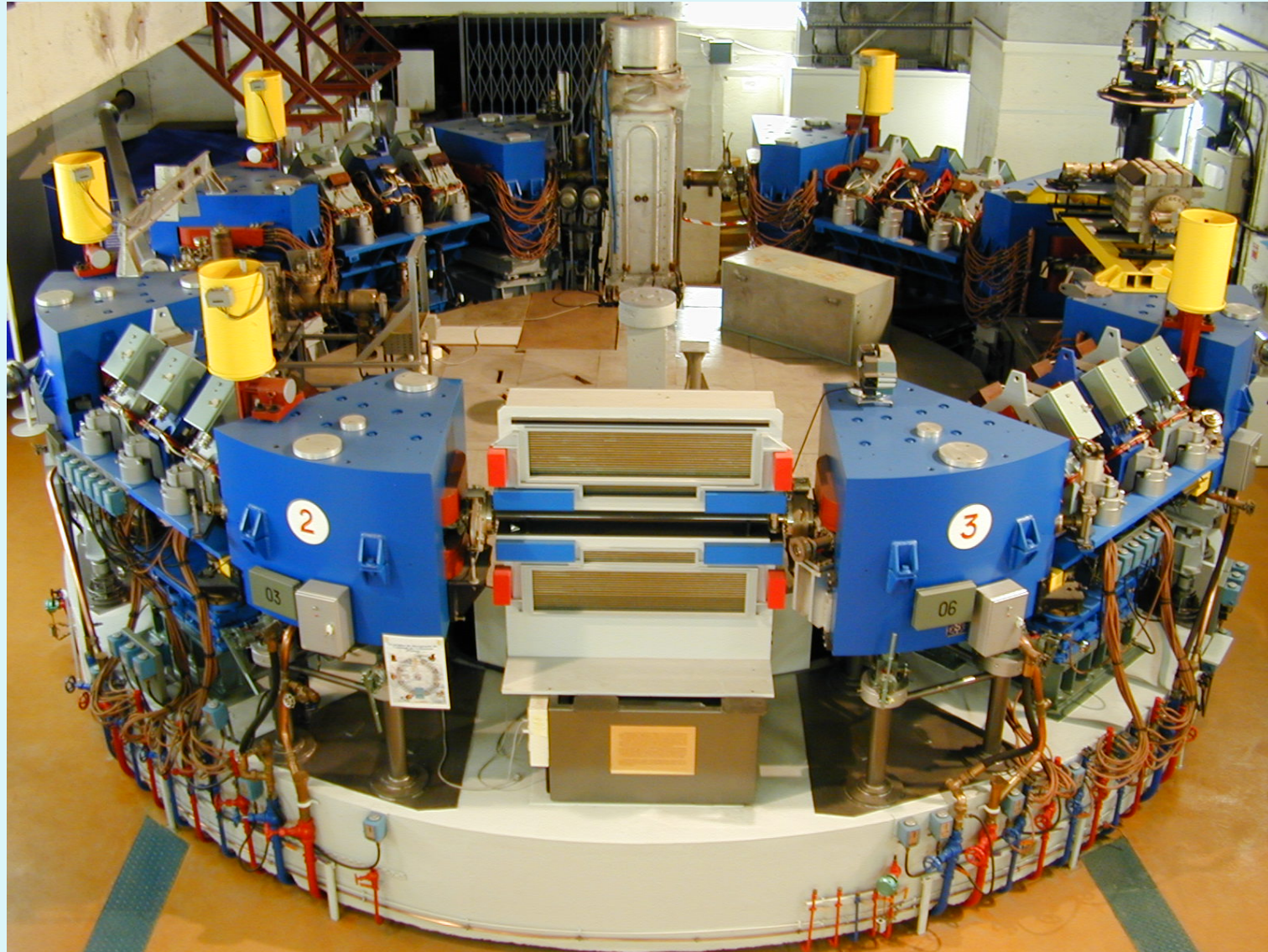
rayon ~30 m

crédit : Laboratori Nazionali di Frascati (INFN)



# L'Anneau de Collisions d'Orsay

Énergie  
maximale :  
1,04 GeV, CM



Laboratoire de  
l'Accélérateur Linéaire

ORSAY

Institut National des  
Sciences et Techniques Nucléaires

SACLAY

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman  
Members

**SYMPOSIUM INTERNATIONAL  
SUR LES ANNEAUX DE COLLISIONS**

A ELECTRONS ET POSITRONS

---

Sous la présidence de

**Monsieur Alain Peyrefitte**

Ministre délégué chargé de la recherche scientifique  
et des questions atomiques et spatiales

tenu à

**l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires, Saclay  
26-30 Septembre 1966**

Edité par

H. ZYNGIER  
ORSAY

E. CREMIEU-ALCAN  
SACLAY

## **Novosibirsk**

G. I. Budker  
S. A. Kheifets  
S. G. Popov  
V. A. Sidorov  
A. N. Skrinskiy

## **Frascati *et al.***

U. Amaldi  
F. Amman  
C. Bernardini  
M. Conversi  
R. Gatto  
C. Pellegrini  
G. Salvini  
S. Tazzari  
B. Touschek  
A. Zichichi

## **CERN**

H.G. Hereward  
K. Johnsen  
E. Picasso

## **Stanford *et al.***

W. C. Barber  
B. Richter  
B. Gittelman  
L. J. Laslett  
G. K. O'Neill  
L. S. Osborne  
J. Rees  
M. Sands  
A. M. Sessler

## **Cambridge (USA)**

G. A. Voss

## **Orsay-Saclay**

A. Blanc-Lapierre  
H. Bruck  
J. Buon  
P. C. Marin  
J. Perez Y Jorba

# Quelques résultats de **physique des accélérateurs** obtenus avec les premiers anneaux

- *Physique à 1 particule*

- Durée de vie des faisceaux, AdA
- Couplage entre oscillations bêtatron H et V, AdA
- Observation de la polarisation progressive des faisceaux, ACO, VEPP-2
- Invention des sections à faible  $\beta$ , Bypass de Cambridge

- *Effets collectifs*

- Effet Amman-Ritson (effet faisceau-faisceau), prédiction : Stanford, ACO, ADONE
- Effet Touschek (simple), observation : AdA, théorie: Touschek
- Effet Touschek *multiple* (IBS), théorie : Orsay, AdA
- Instabilité tête-queue, ACO, ADONE, théorie : Frascati
- Allongement des paquets, observation ACO, ADONE, théorie Orsay

## Quelques résultats de **physique des particules** obtenus avec les premiers anneaux

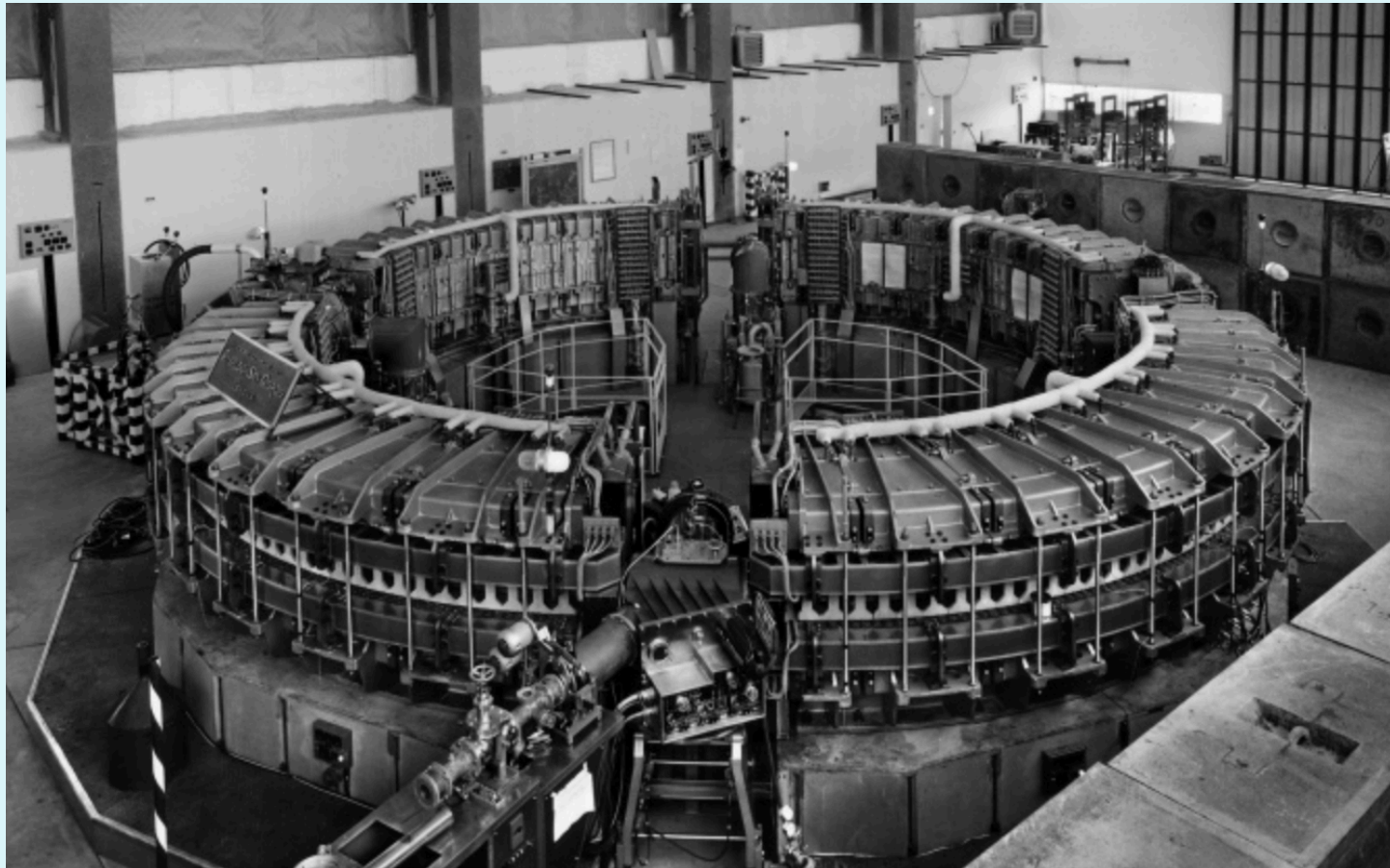
- Tests d'électrodynamique quantique (Stanford, Novosibirsk)
- Mesure du facteur de forme EM du  $\pi$  et du K dans le domaine temps
- Étude détaillée des mésons vecteurs  $\rho$ ,  $\omega$ ,  $\phi$  (VEPP-2, ACO)
- Mise en évidence de la polarisation du vide par des hadrons (ACO)
- Production abondante de hadrons (ADONE, Bypass)



# Les sources de rayonnement synchrotron à Orsay

*Grandes étapes :*

- Années 60 : Yvette Cauchois, Christiane Bonnelle, Pierre Jaeglé et Pierre Dhez font des premières mesures auprès du synchrotron de Frascati (X mous et X-UV).



crédit : Laboratori Nazionali di Frascati (INFN)

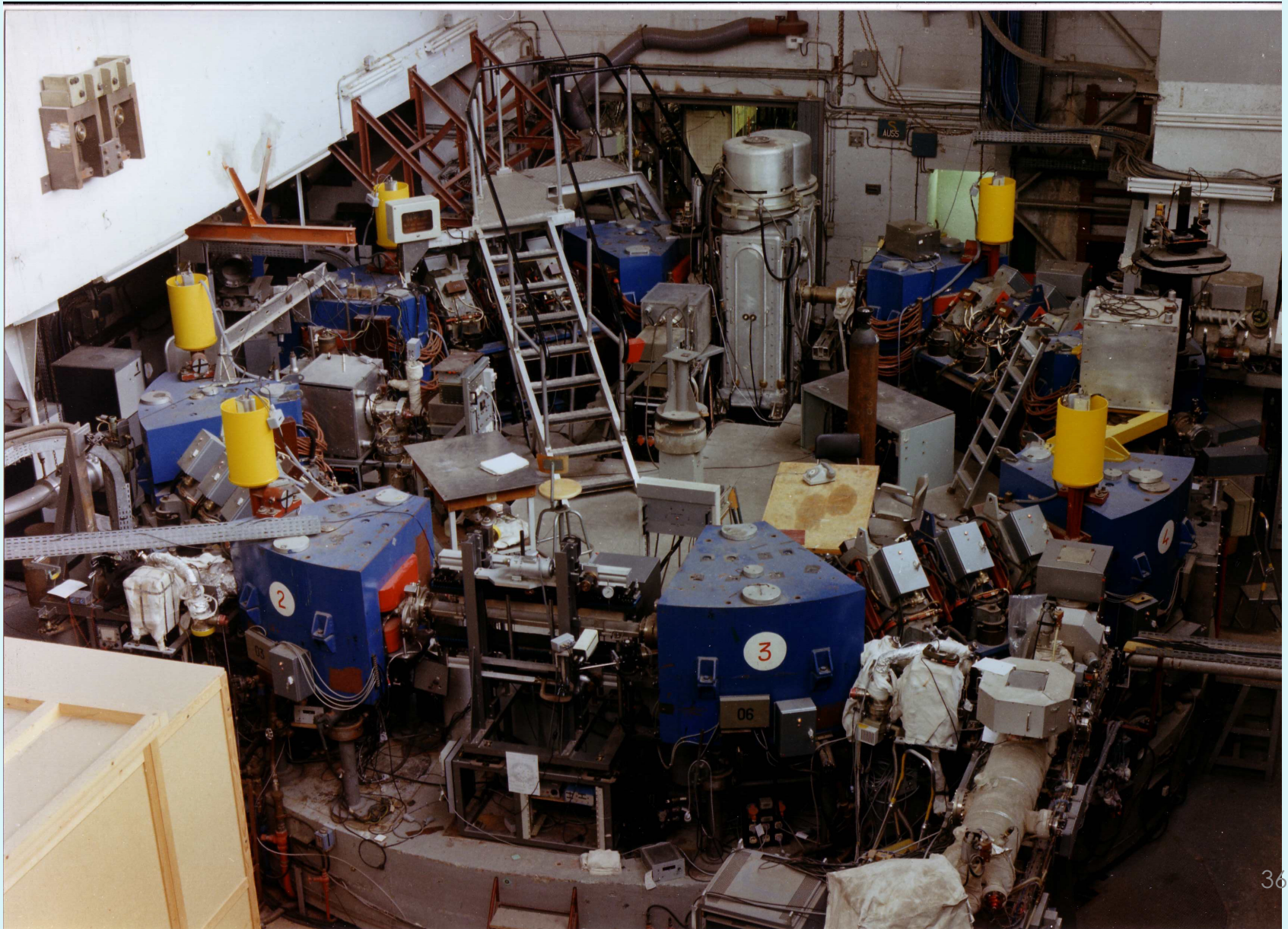
# Les sources de rayonnement synchrotron à Orsay

*Grandes étapes :*

- 1973 : première ligne de lumière auprès d'ACO
- 1983 : première observation de l'effet laser à e- libres auprès d'un anneau de stockage
- 1985 : DCI utilisé comme source de rayons X durs
- 1987 : mise en route de la source Super-ACO

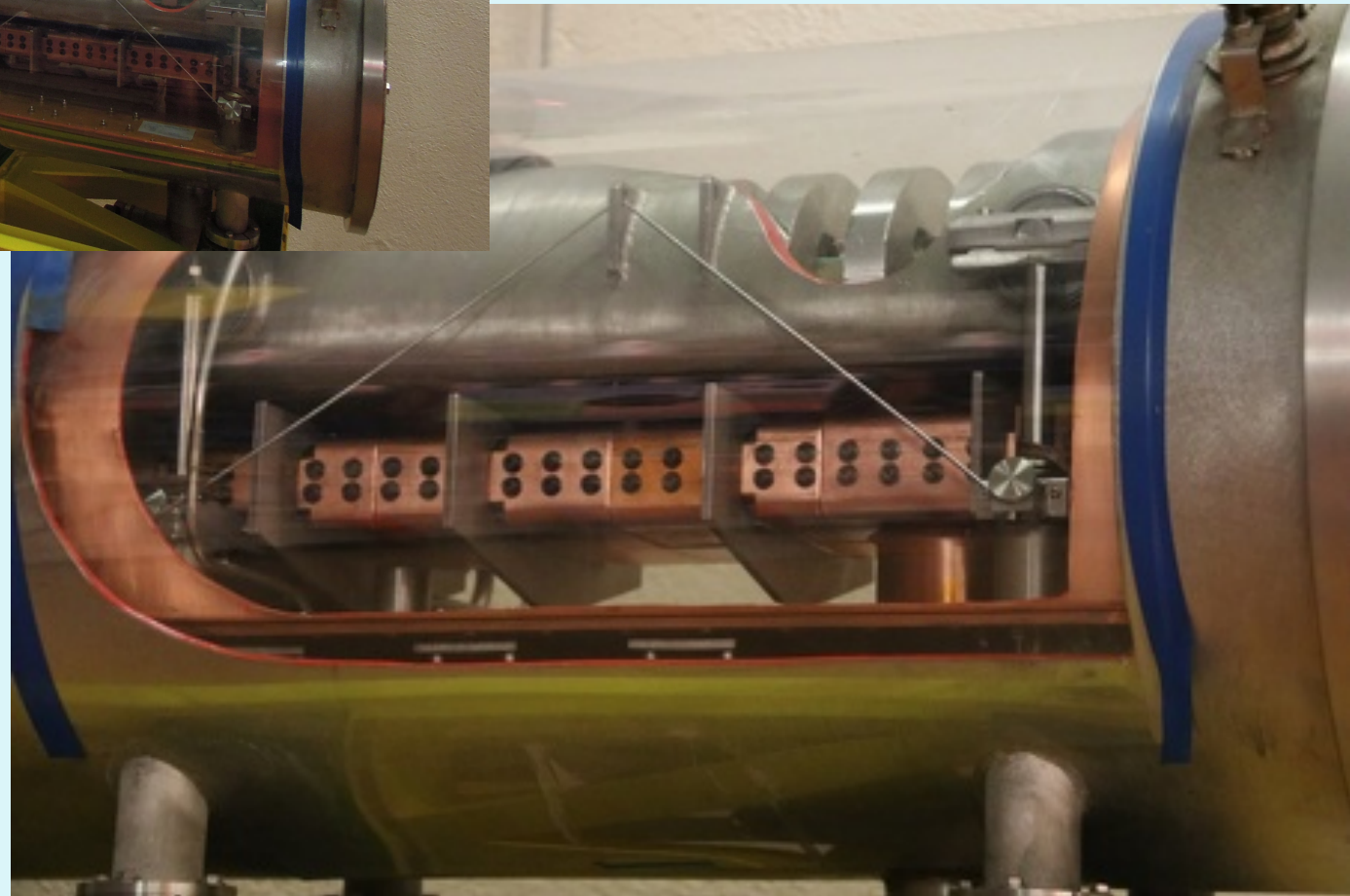


# ACO : une source de RS de 1<sup>ère</sup> génération





1<sup>er</sup> laser à e- libres auprès d'un anneau de stockage



# La lumière du premier laser à e<sup>-</sup> libres qui ait fonctionné sur un anneau de stockage

21 juin  
1983

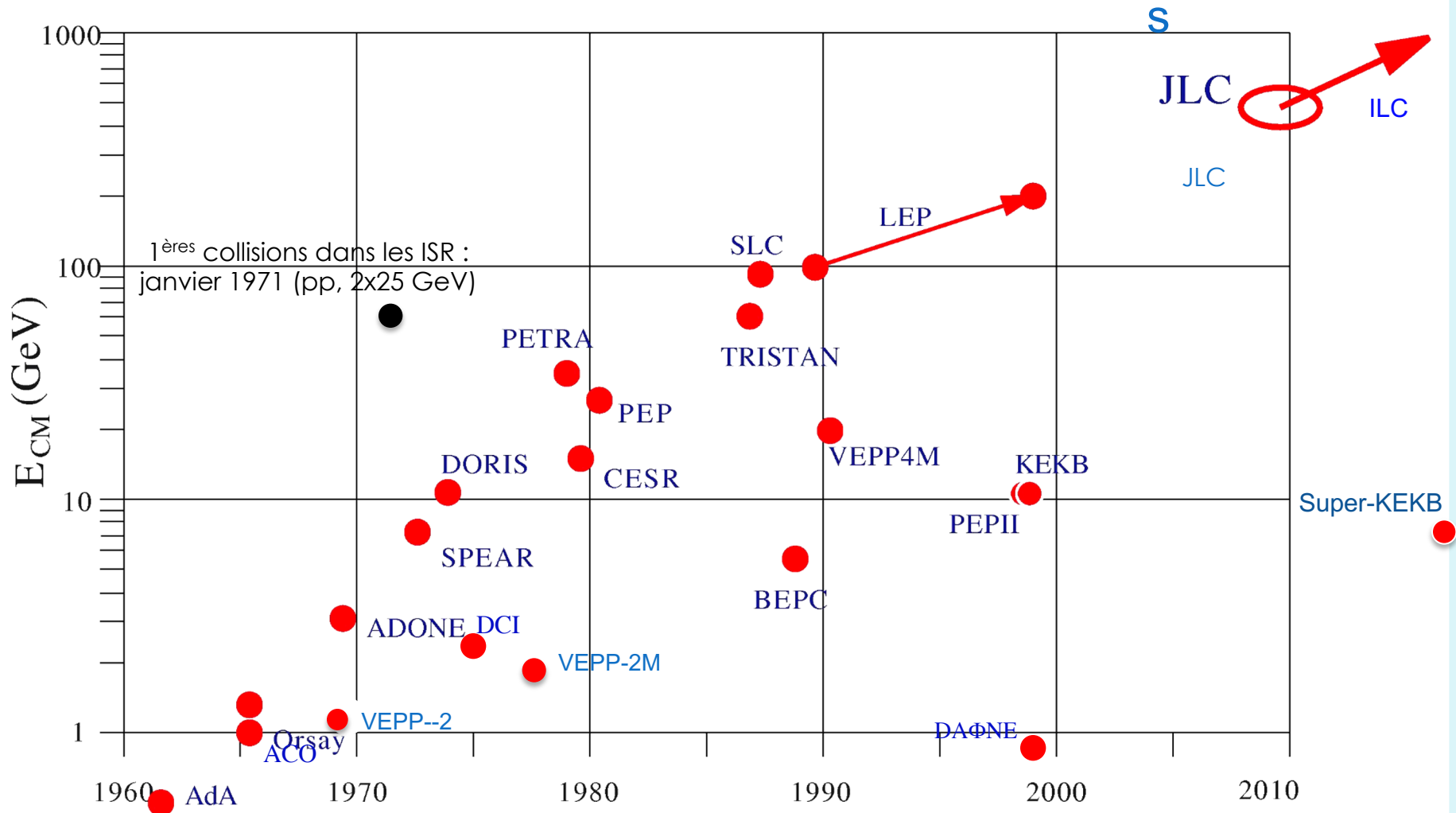


M. Billardon  
P. Elleaume  
J. M. Ortega  
C. Bazin  
M. Bergher  
M. Velghe  
Y. Petroff  
et  
D. A. G. Deacon  
K. E. Robinson  
et  
J. M. J. Madey

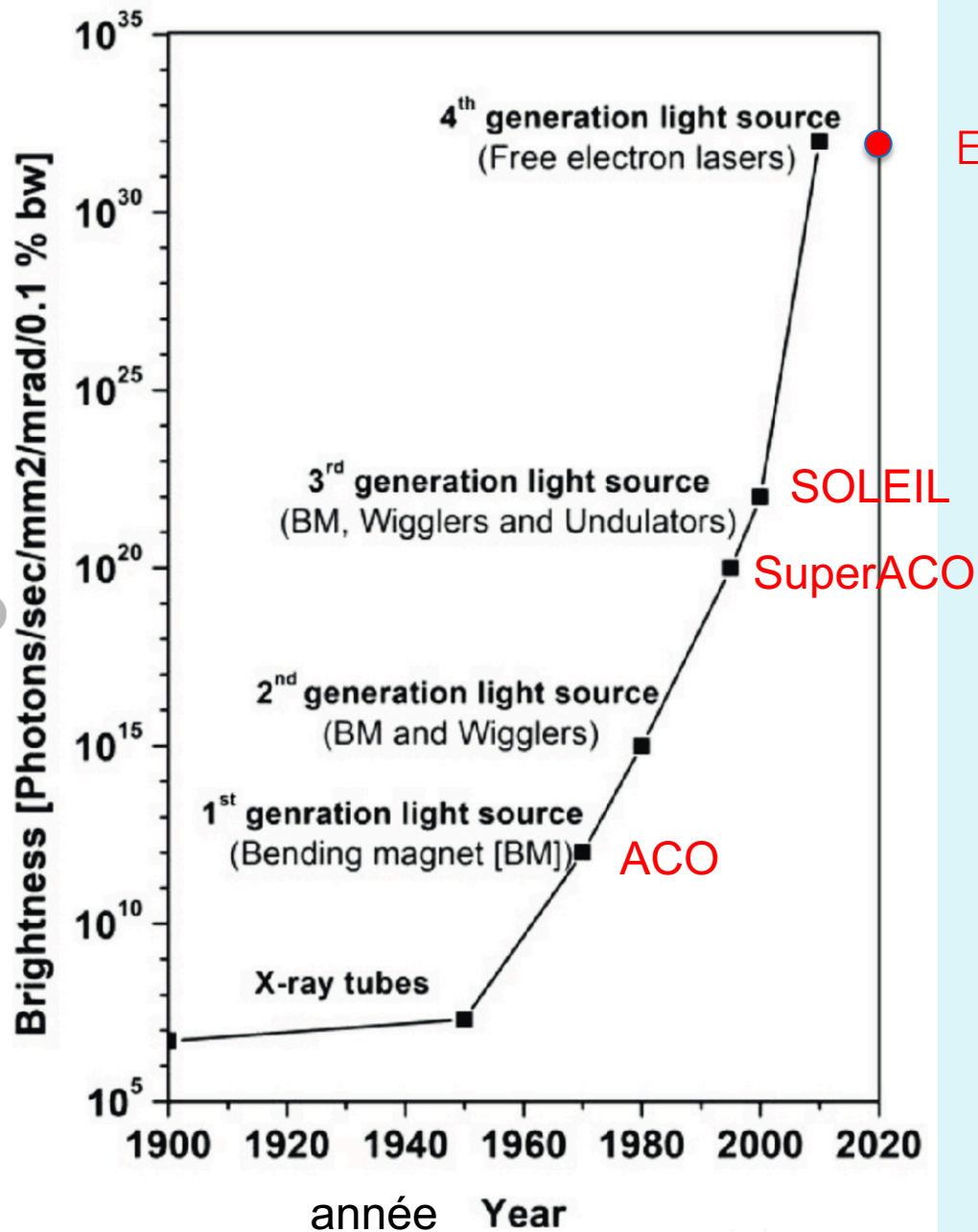


# D'AdA à LEP

Histoire des anneaux de collisions e+ e-



# Évolution de la brillance des sources synchrotron au cours du temps



Evolution of brightness of emitted radiations from the different technical sources over time.



# Remerciements

- Robert Chehab
- Pierre Dhez,
- Louis Fayard,
- Michel Jouvin,
- Bruno Mazoyer,
- Jean-Michel Ortega,
- Giulia Pancheri
- Gregory Perrin,
- Sabine Starita.