

Le prix Nobel de physique 2008

Symétries fondamentales de la physique microscopique, leur
« brisure spontanée » et leur importance pour l'évolution de l'univers

Andreas Hoecker, CERN

LPC – Grenoble, 25/02/2008

Les lauréats du prix Nobel de physique 2008

Yoichiro Nambu
Fermi Inst., USA



Makoto Kobayashi
KEK, Japan



Toshihide Maskawa
Kyoto U., Japan



“Broken Symmetries” – le prix Nobel en texte...

As early as 1960, **Yoichiro Nambu** formulated his mathematical description of spontaneous broken symmetry in elementary particle physics. Spontaneous broken symmetry conceals nature's order under an apparently jumbled surface. It has proved to be extremely useful, and Nambu's theories permeate the Standard Model of elementary particle physics. The Model unifies the smallest building blocks of all matter and three of nature's four forces in one single theory.

The spontaneous broken symmetries that Nambu studied, differ from the broken symmetries described by **Makoto Kobayashi** and **Toshihide Maskawa**. These spontaneous occurrences seem to have existed in nature since the very beginning of the universe and came as a complete surprise when they first appeared in particle experiments in 1964. It is only in recent years that scientists have come to fully confirm the explanations that Kobayashi and Maskawa made in 1972. It is for this work that they are now awarded the Nobel Prize in Physics. They explained broken symmetry within the framework of the Standard Model, but required that the Model be extended to three families of quarks. These predicted, hypothetical new quarks have recently appeared in physics experiments. As late as 2001, the two particle detectors BaBar at Stanford, USA and Belle at Tsukuba, Japan, both detected broken symmetries independently of each other. The results were exactly as Kobayashi and Maskawa had predicted almost three decades earlier.

A hitherto unexplained broken symmetry of the same kind lies behind the very origin of the cosmos in the Big Bang some 14 billion years ago. If equal amounts of matter and antimatter were created, they ought to have annihilated each other. But this did not happen, there was a tiny deviation of one extra particle of matter for every 10 billion antimatter particles. It is this broken symmetry that seems to have caused our cosmos to survive. The question of how this exactly happened still remains unanswered. Perhaps the new particle accelerator LHC at CERN in Geneva will unravel some of the mysteries that continue to puzzle us.

Prix Nobel – les cours (8 déc, 2008)



Yoichiro Nambu, Nobel lecture:

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2008/nambu-slides.pdf



Makoto Kobayashi, Nobel lecture:

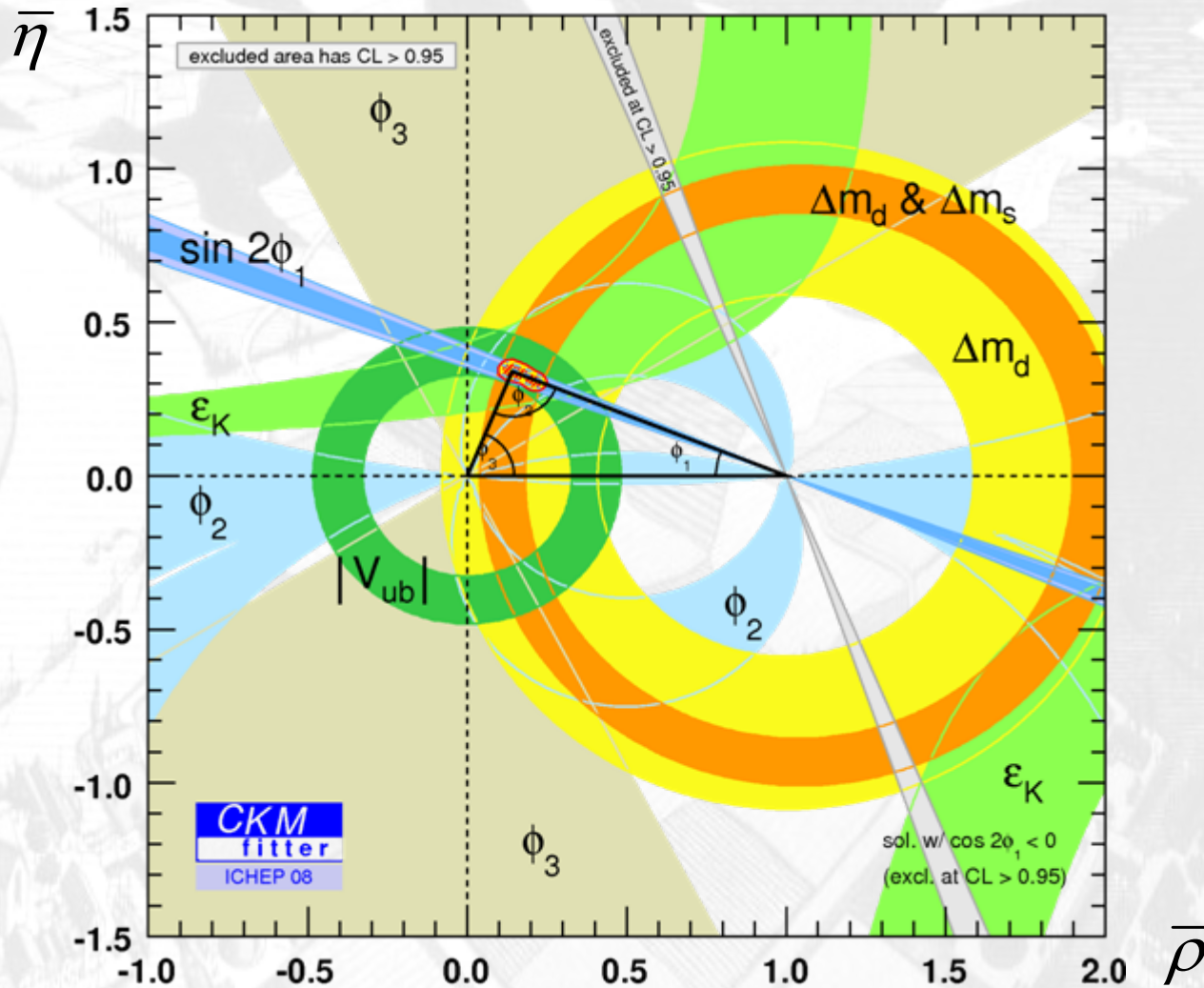
http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2008/kobayashi-slides.pdf



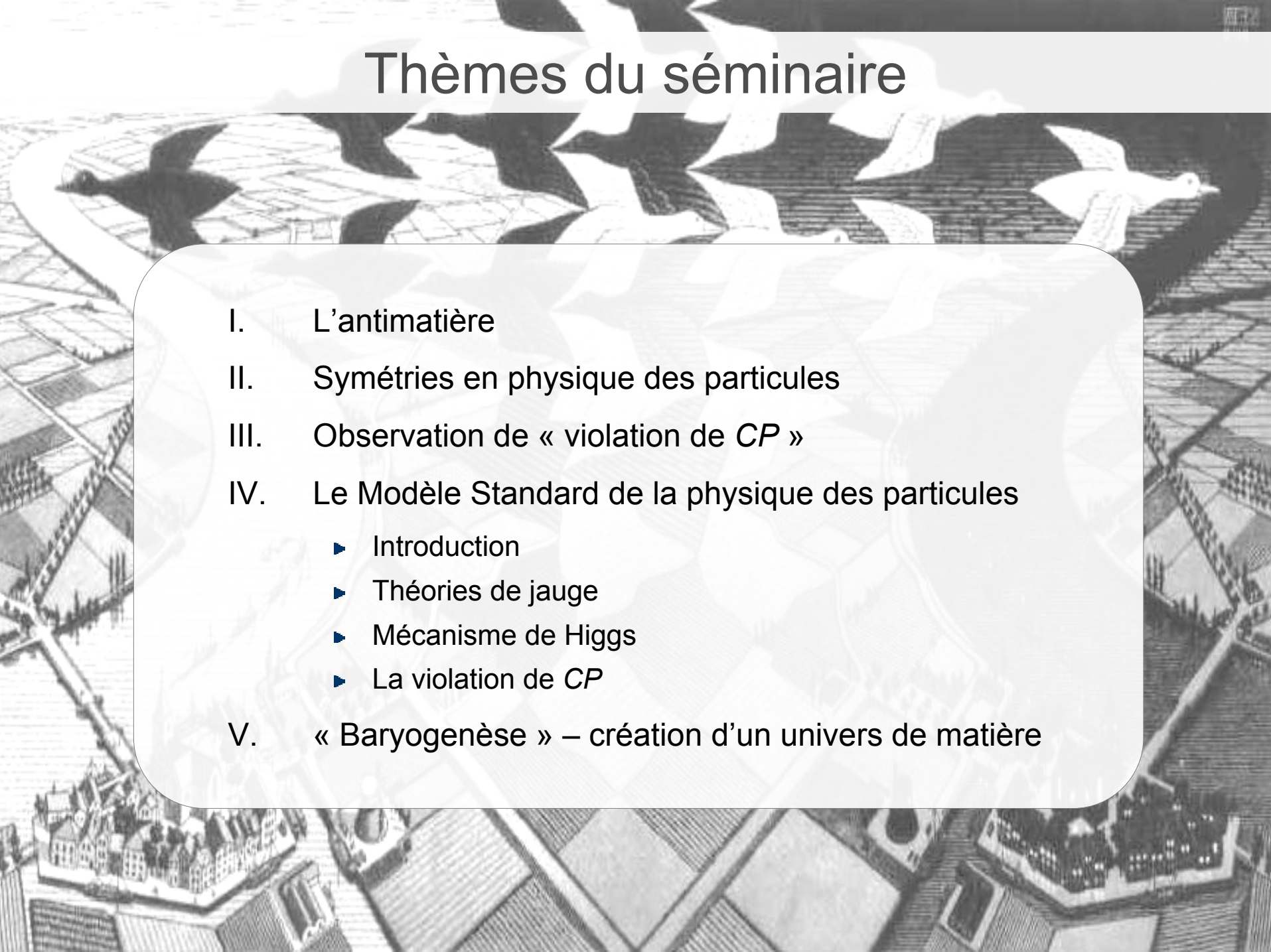
Toshihide Maskawa, Nobel lecture:

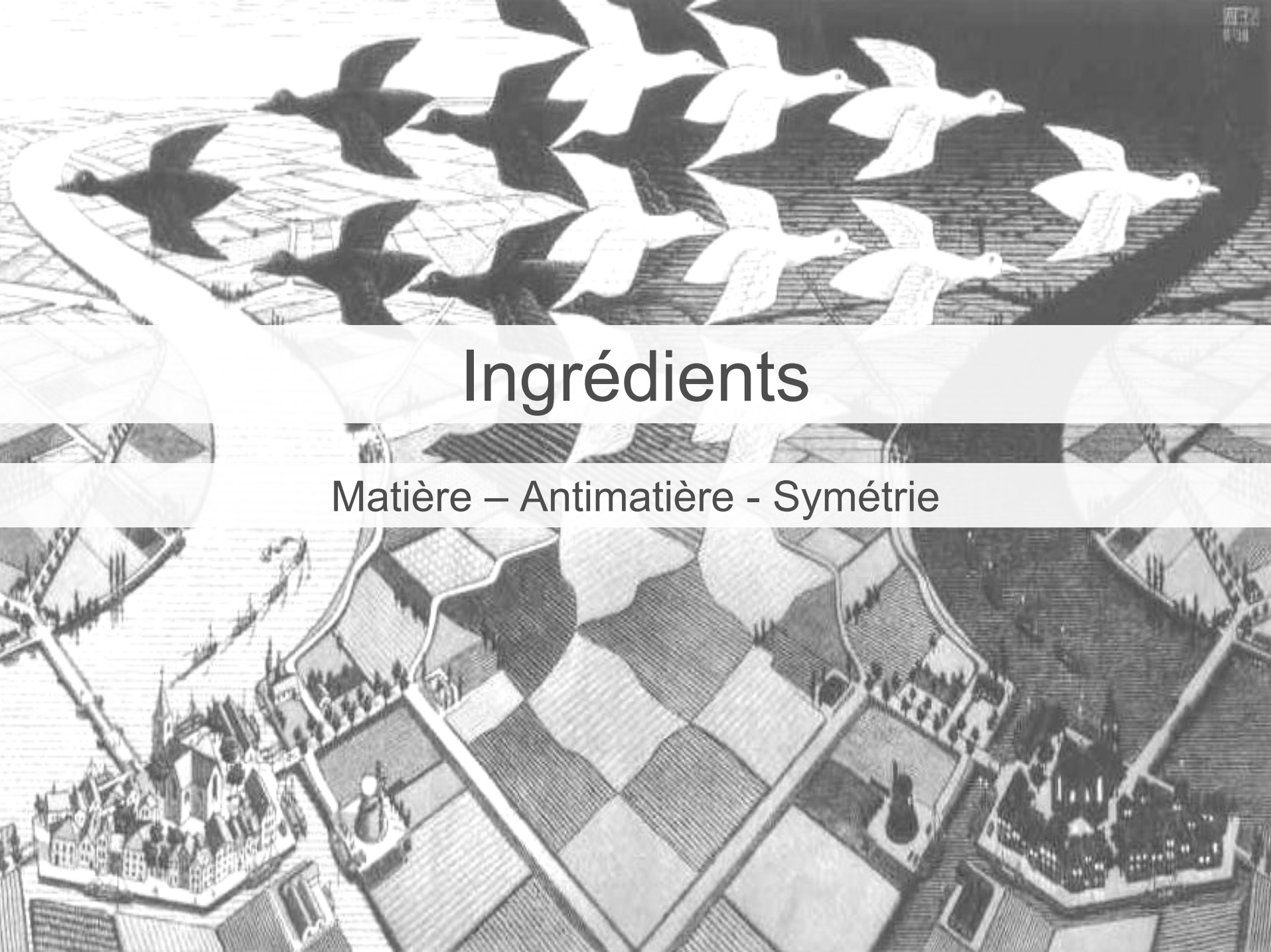
http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2008/maskawa-lecture_en.pdf

“CP Violation” – le prix Nobel en image...



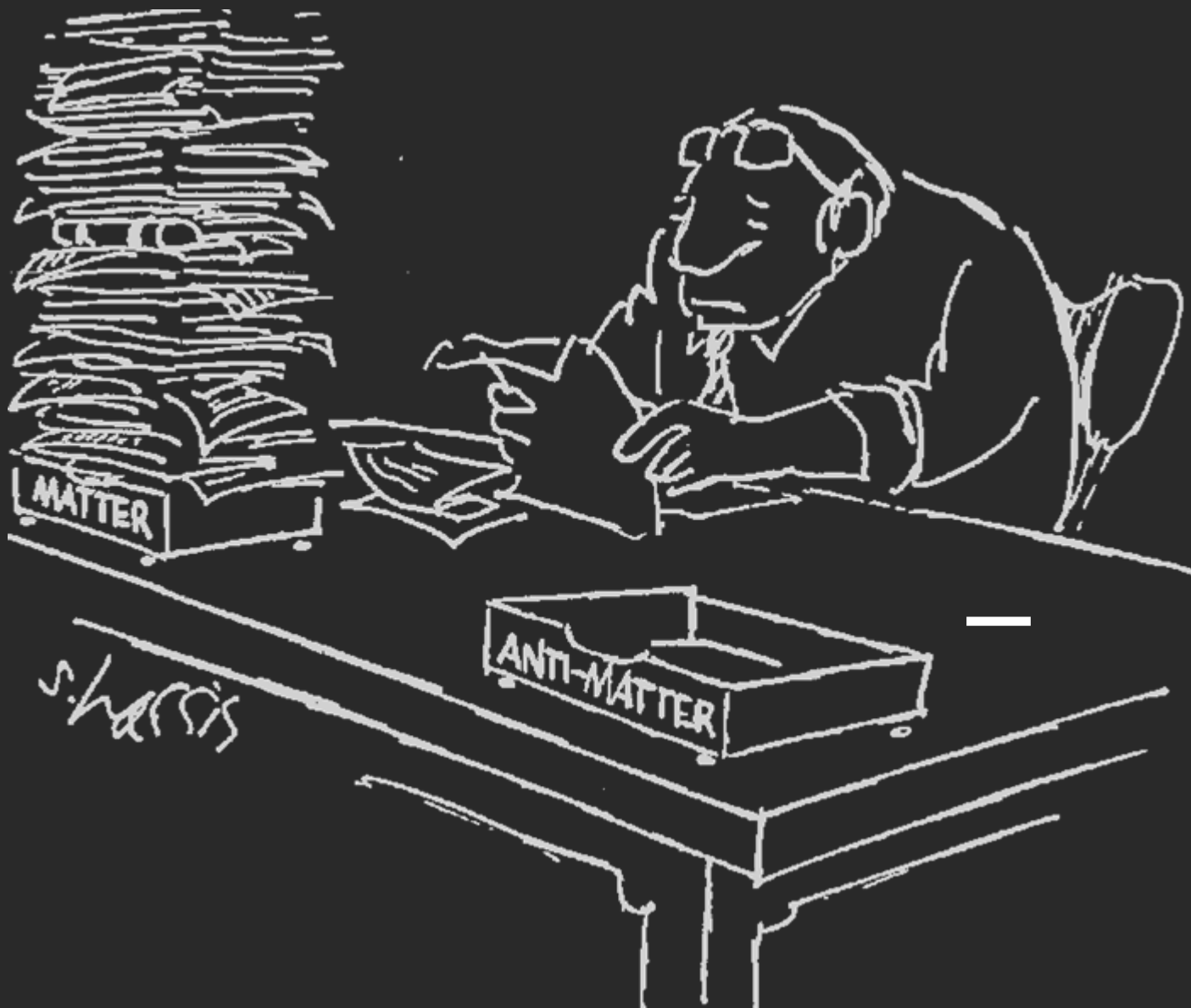
Thèmes du séminaire

- 
- An aerial, black and white illustration of a city with a grid-like street pattern. A large, white dove is shown in flight, its wings spread wide, flying from the left towards the right. The dove's shadow is cast onto the city below. The city features various buildings, including a prominent church with a dome in the lower left. The overall style is that of a detailed woodcut or engraving.
- I. L'antimatière
 - II. Symétries en physique des particules
 - III. Observation de « violation de CP »
 - IV. Le Modèle Standard de la physique des particules
 - ▶ Introduction
 - ▶ Théories de jauge
 - ▶ Mécanisme de Higgs
 - ▶ La violation de CP
 - V. « Baryogenèse » – création d'un univers de matière



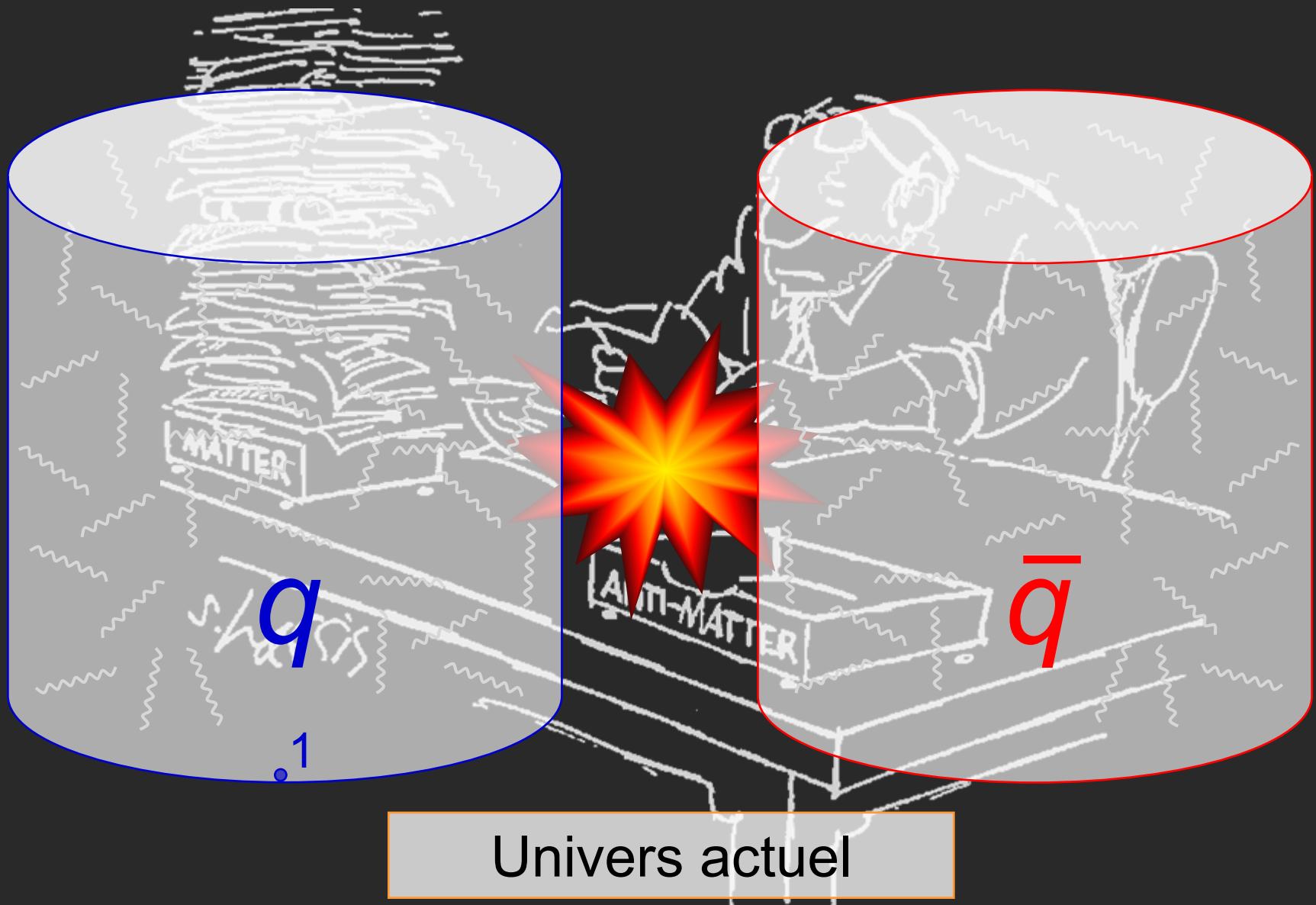
Ingrédients

Matière – Antimatière – Symétrie

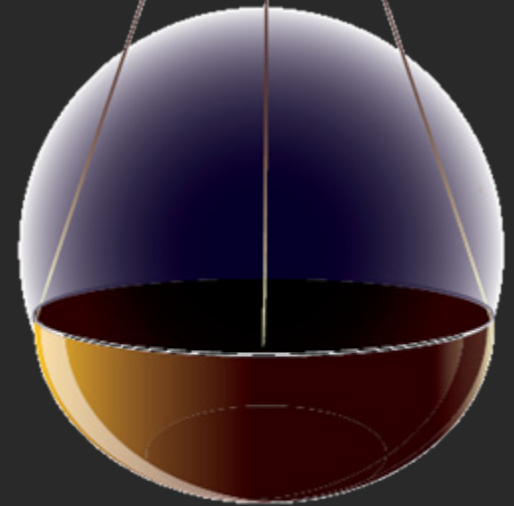




Univers d'origine



Plus de matière que de l'antimatière →
« asymétrie » entre matière et antimatière
due a une « *brisure de symétrie* »



Les Conditions de Sakharov

(*) Bigi-Sanda, *CP Violation*, 2000

- L'univers n'est pas vide* !
- L'univers est presque vide* !

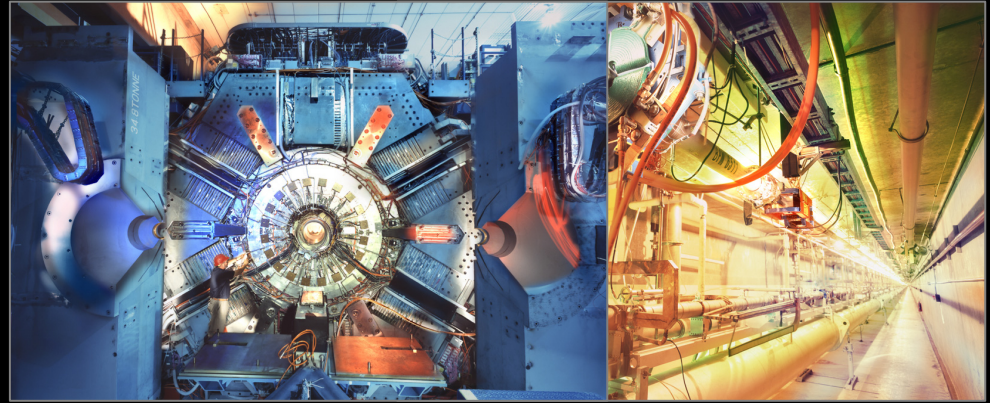
$$\frac{n_{\text{baryon}} - n_{\overline{\text{baryon}}}}{n_{\gamma}} \approx \frac{n_{\text{baryon}}}{n_{\gamma}} \sim \mathcal{O}(10^{-10})$$

Conditions de Sakharov (1967) pour la baryogenèse

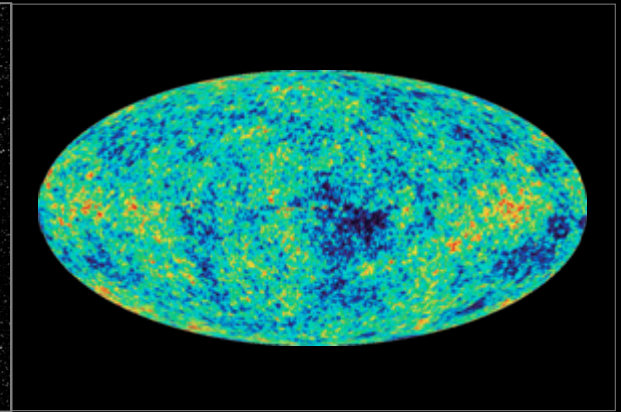
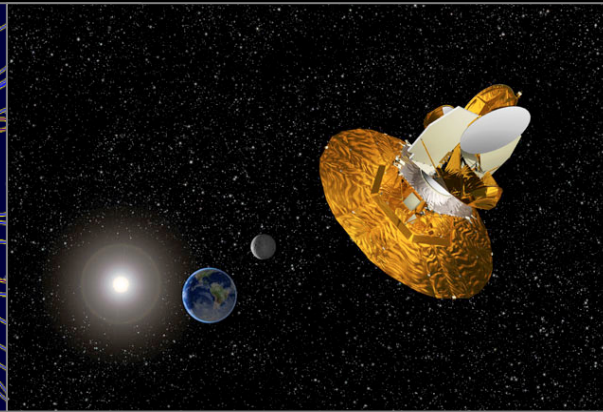
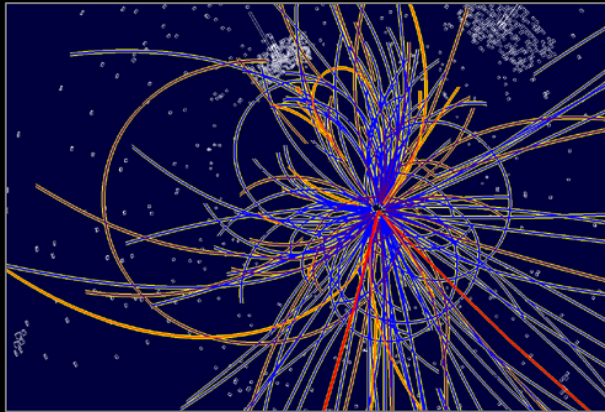
1. Désintégration de baryons
2. Brisure de la symétrie entre matière et antimatière
3. Rupture de l'équilibre thermodynamique



Quelle est l'origine de l'asymétrie entre matière et antimatière observée dans l'univers ?



La réponse à cette question exige des réflexions théoriques et des expériences en physique des particules et en astrophysique

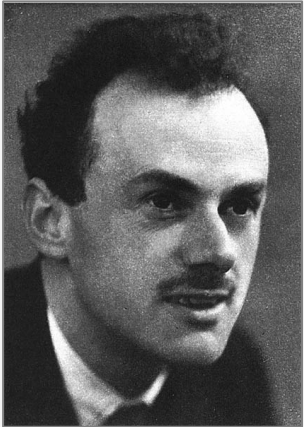


Q'est-ce que l'antimatière ?



Mais avant d'y venir ...

Paul Dirac (1902 – 1984)



Dirac, imaginant des trous et des mers en 1928

- En combinant la mécanique quantique avec la relativité restreinte, Dirac créa l'équation :



$$i\gamma^\mu \partial_\mu \psi(x,t) - m\psi(x,t) = 0$$

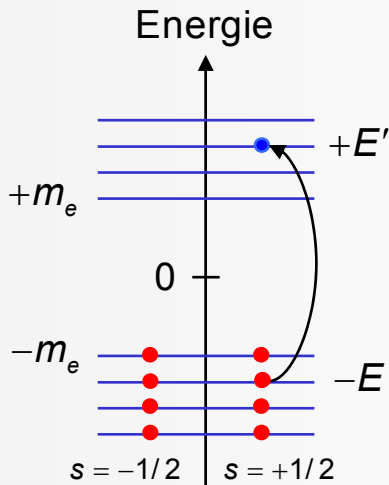
(1928)

ayant des solutions **d'énergie négative** !

- Le « vide » n'était pas vide, mais représentait une mer de particules d'énergie négative ?

- Des « trous » dans la mer seraient alors des « anti-particules » ?

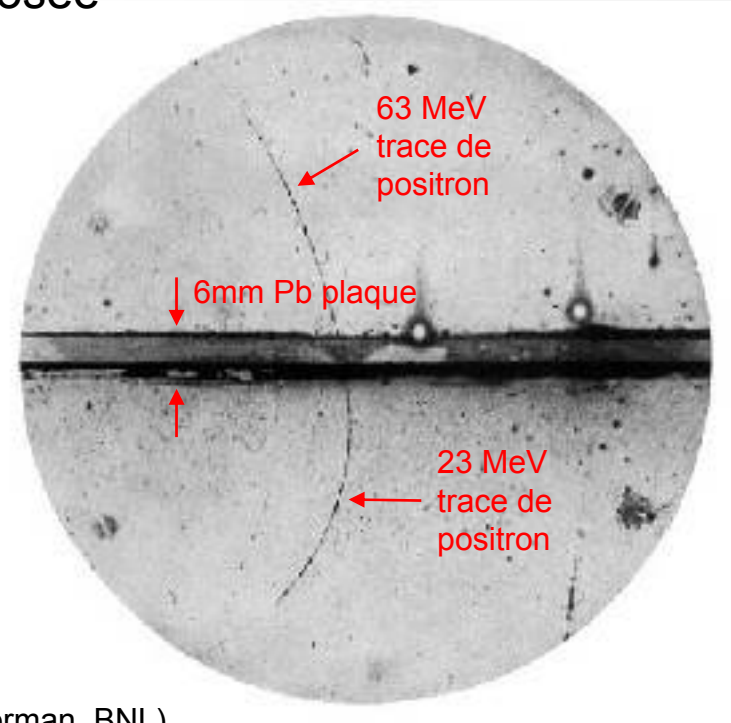
- Un électron avec charge $-e$ et énergie E peut remplir ce trou, émettant une énergie $2E$ et quittant le vide (le trou aurait donc une charge $+e$ et une énergie positive) ?



Le positron – l'antiparticule de l'électron

- ✱ Découvert dans des rayons cosmiques par Carl Anderson en 1932 (Caltech)
- ✱ Même masse que l'électron, mais charge opposée

Anderson observait une trace de « quelque chose avec charge positive et masse de l'électron » dans sa chambre à bulles.



✱ Histoire de découvertes d'antiparticules:

- 1955: antiproton (Chamberlain-Segrè, Berkeley)
- 1956: antineutron (Cork *et al.*, LBNL)
- 1965: antideutérons (Zichichi, CERN and Lederman, BNL)
- 1995: atome d'antihydrogène (CERN, by now millions produced !)
- Chaque particule a son anti-particule
- Quelques particules sont leurs propres antiparticules !

Découverte de l'antiproton 1956

Production de:
 $p + p \rightarrow p + p + \text{anti-}p + p$

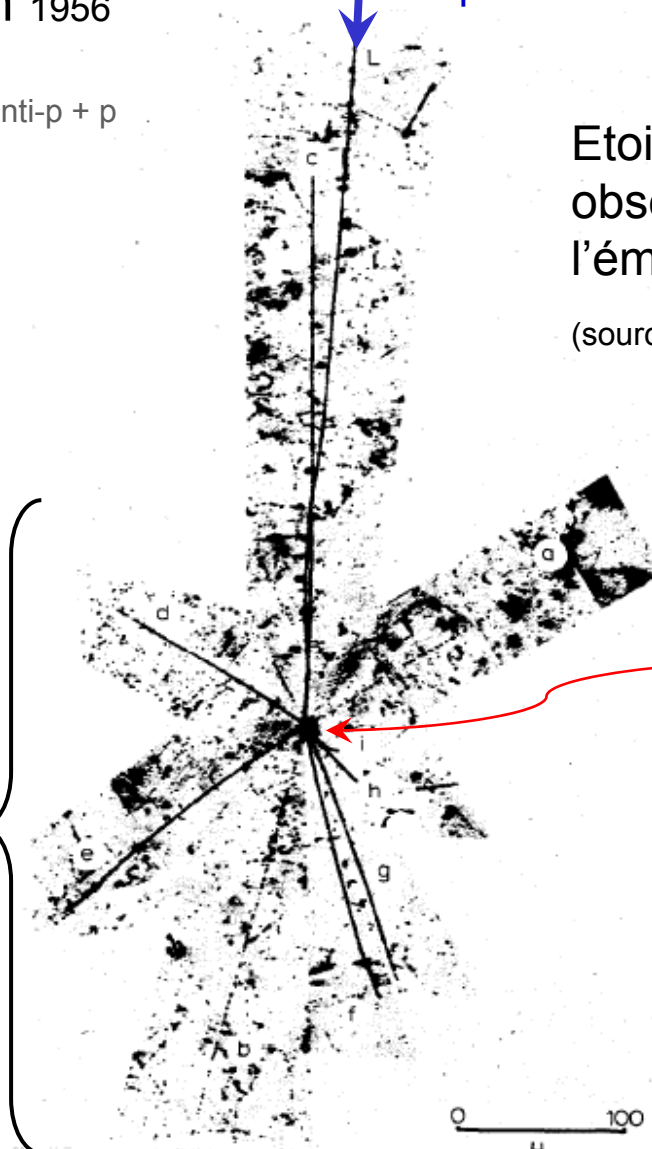
incoming antiproton

Etoile d'annihilation observée dans de l'émulsion nucléaire

(source: O. Chamberlain, Nobel Lecture)

Particules chargées produites

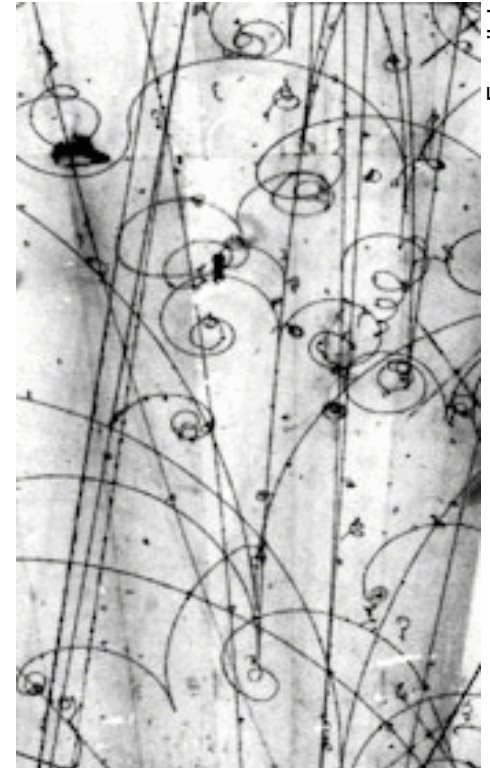
“étoile d'annihilation”
(destruction de l'antiproton)



Particules et antiparticules s'annihilent

Qu'est-ce qui se passe quand particules et antiparticules se rencontrent ?

- ☀ Une particule s'annihile avec son antiparticule en générant de l'énergie
- ☀ Un exemple de transformation de matière en énergie via la formule d'Einstein $E = mc^2$
- ☀ Vice versa, des photons de grande énergie peuvent se convertir en paire de particule-antiparticule



Traces de particules et anti-particules dans chambre à bulle

Particules et antiparticules s'annihilent

Qu'est-ce qui se passe quand particules et antiparticules se rencontrent ?

