

# BELLEZZA E ASIMMETRIA: COME DARE INDICAZIONI STRADALI AD UN MARZIANO?



Un breve percorso nella  
fisica del sapore.



STEFANO LACAPRARA, SEI SPRITZ MENO FACILI, PADOVA, 20 MAGGIO 2019

# SOMMARIO

1. Simmetrie a natura
2. Modello Standard delle interazioni fondamentali
3. Materia e antimateria nell'universo
4. La fabbrica della Bellezza: B-factories
5. Belle II: come distinguere le particelle
6. Interferenza tra mesoni B



# SIMMETRIE E NATURA



STEFANO LACAPRARA, SEI SPRITZ MENO FACILI, PADOVA, 20 MAGGIO 2019

# INDICAZIONI PER IL BAR

- Ci troviamo con gli amici per lo spritz serale, ma il posto e' nuovo.
- Chiamiamo al telefono i nostri amici e gli dobbiamo spiegare la strada, a voce.
  - Prima a destra, poi seconda a sinistra, alla chiesa dritto, alla rotonda a destra e sei arrivato
- Si, ma c'e' un ospite speciale, ET, che ci chiede:
  - **Cosa e' la destra e la sinistra, non capisco.**
    - (si, per il resto parla italiano perfettamente)
    - (e ha il cellulare)
    - (e gli piace lo spritz)
- La domanda di oggi e': come distinguo destra e sinistra?
- Ci portera' lontano: partiamo dalle **simmetrie**



# SIMMETRIE IN NATURA

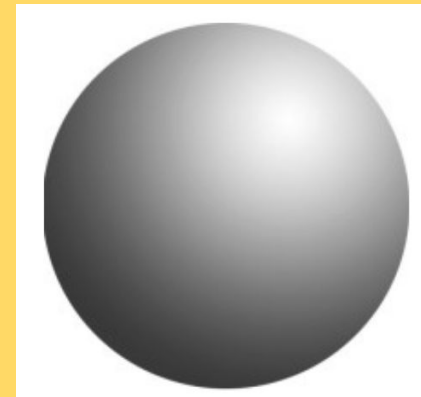
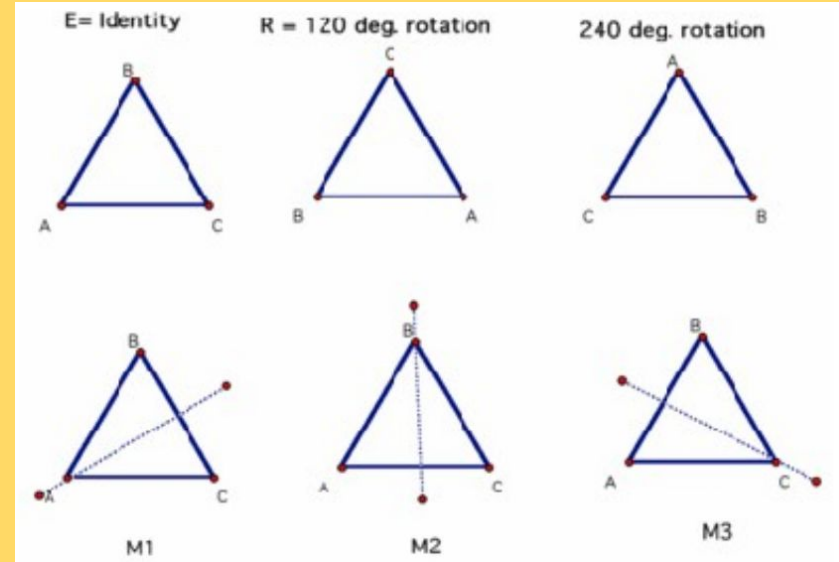
Molti oggetti in natura hanno grandi livelli di simmetria: e' una evidenza della simmetria delle leggi sottostanti.



# SIMMETRIA: COS'E'?

Una trasformazione che lascia un osservabile di un sistema invariato.

- Es: una rotazione non cambia la lunghezza di un oggetto.
  - La lunghezza e' l'invariante
  - La rotazione e' la trasformazione
- Possono essere continue o discrete
  - Esempio un triangolo equilatero e' invariante per rotazioni di 120 gradi
  - Un cerchio per qualsiasi rotazione



# SIMMETRIE E CONSERVAZIONE

Una quantità è conservata quando non cambia durante un processo.

Es: E, p, L, Q...

Nel 1918 Emmy Noether pubblicò la dimostrazione di un teorema fondamentale

**Ad ogni simmetria corrisponde una quantità conservata**

- invarianza temporale  $\leftrightarrow$  conservazione energia
- invarianza spaziale  $\leftrightarrow$  conservazione momento
- invarianza rotazioni  $\leftrightarrow$  conservazione mom. Angolare
- ...



# SIMMETRIE: DESTRA-SINISTRA

Se vi mostro la foto di una mano, voi capite subito se e' la destra o la sinistra.



Ma che succede se  
l'immagine che vi mostro e'  
in realta' la riflessione  
su uno specchio?



In fisica simmetria destra-sinistra si  
chiama **PARITA'**



# LA PARITA' E' UNA SIMMETRIA DELLA NATURA?

In altre parole, se osservassimo la natura riflessa da uno specchio, ci accorgeremmo della differenza?

Ovvero: **c'e' in natura un modo per distinguere la destra dalla sinistra?**

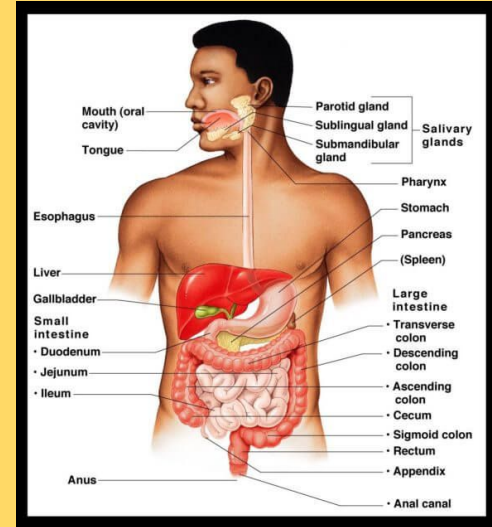
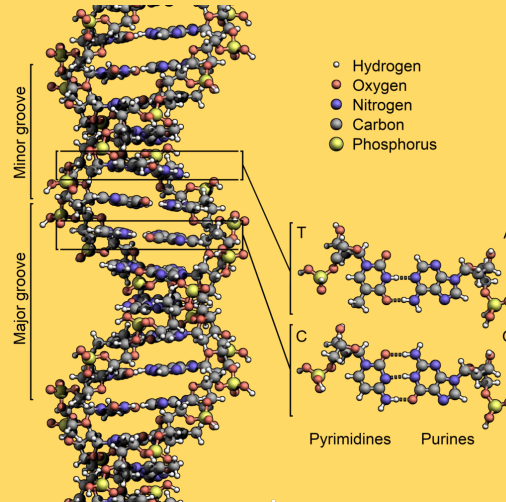
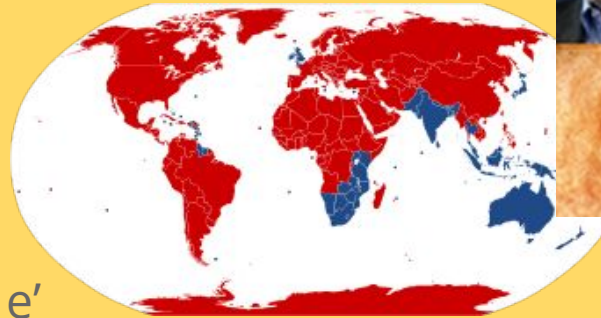
Se si, siamo a posto.

Idee?



# DESTRA ≠ SINISTRA ? SI! (FORSE)

- (Niente politica, grazie!)
- Guidiamo a destra (quasi)
- ~80% della popolazione mondiale e' destra,
- Interno del nostro corpo non e' simmetrico (esterno quasi)
- Viti, bulloni, rubinetti, serrature
- DNA!
- ...





**LEFT SYMMETRY**

**RIGHT SYMMETRY**



# OK, MA SE PARLO CON ET?

Le differenze sono culturali o biologiche

E.T. ha sicuramente una cultura diversa, e ancora piu' sicuramente una biologia diversa, quindi le idee di prima non funzionano.

Come faccio a spiegargli:

“Seconda stella a destra, e poi dritti fino al mattino”

???

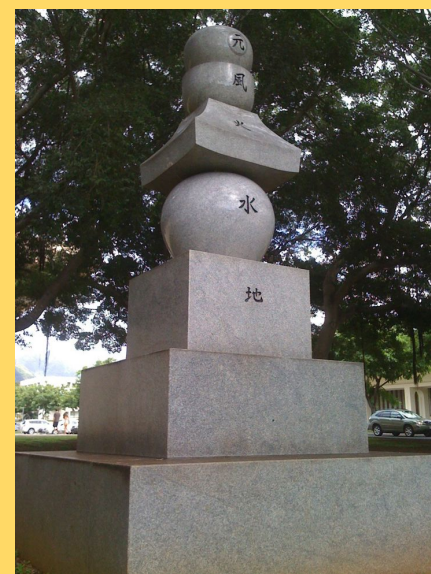
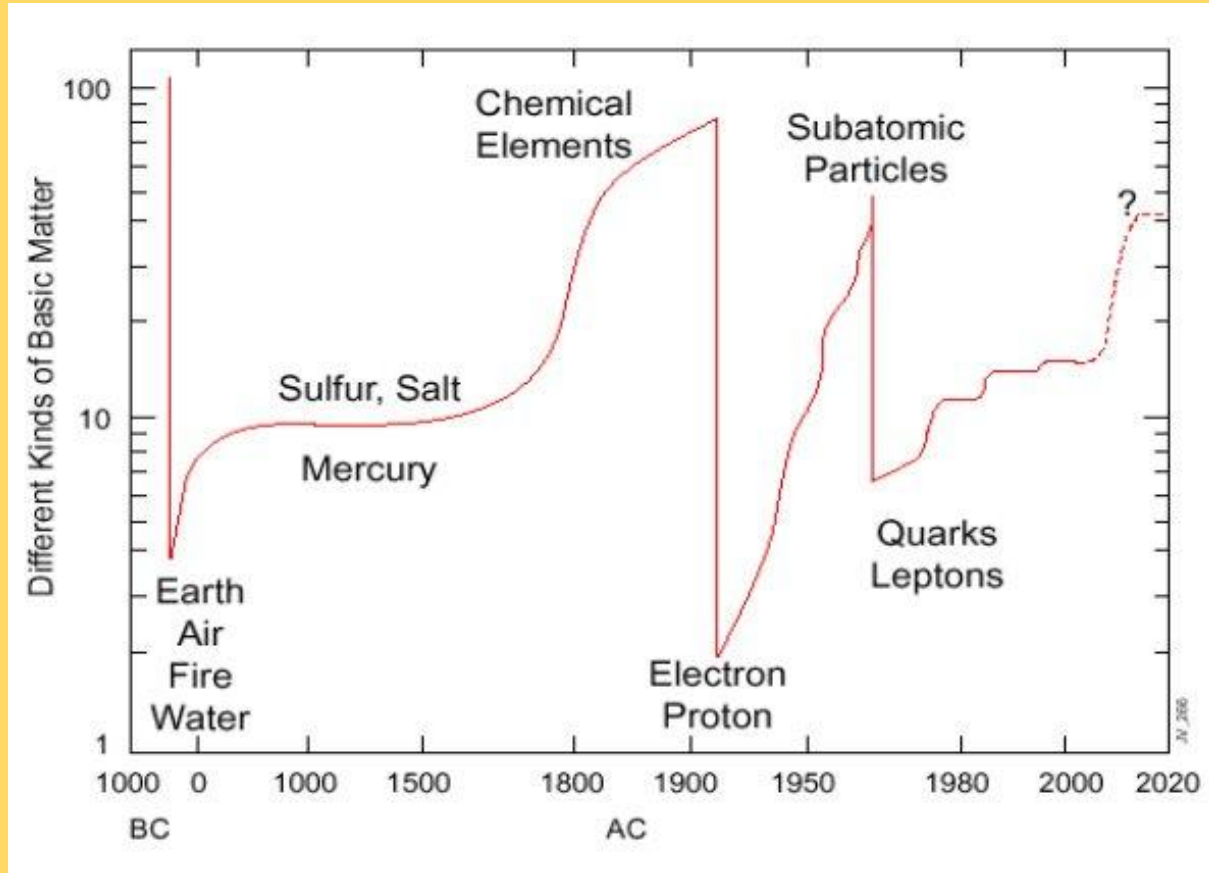
Per fortuna noi siamo fisici, e anche E.T. lo e'.



IL MODELLO STANDARD  
DELLE INTERAZIONI  
FONDAMENTALI



# QUANTI SONO GLI ELEMENTI DELLA MATERIA?



A monument on the University of Hawai'i campus

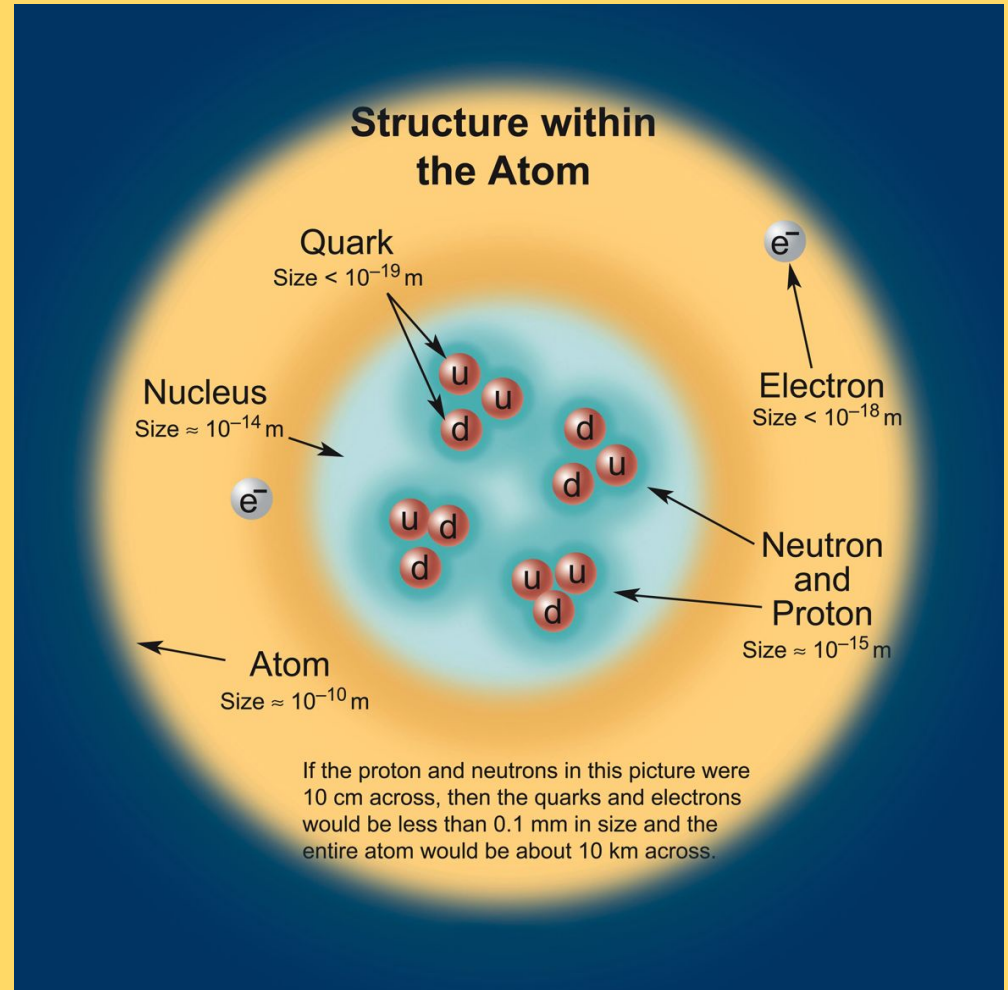
Origin 元  
Wind 風  
Fire 火  
Water 水  
Earth 地

# DI COSA SIAMO FATTI?

















Non in scala!

Nello Standard Model ci sono due tipi di particelle:

1. Fermioni => Materia
  - a. Quarks
  - b. Leptoni
2. Bosoni => Forze
  - a. Fotone
  - b. W/Z
  - c. Gluoni
  - d. Higgs



# ELEMENTI DELLA MATERIA: MODELLO STANDARD

Quarks		Leptons		Bosons
 up	 down	 electron	 neutrino $e$	 photon
 charm	 strange	 muon	 neutrino $\mu$	 gluon
 top	 beauty	 tau	 neutrino $\tau$	 $Z^0 W^\pm$
				 Higgs



# ELEMENTI DELLA MATERIA: MODELLO STANDARD






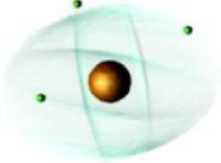


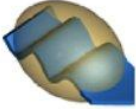
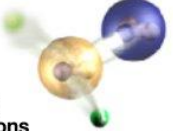
Noi (l'universo)  
siamo fatti da  
quesi tre

Quarks		Leptons		Bosons	
 up	 down	 electron	 neutrino e	 photon	
 charm	 strange	 muon	 neutrino $\mu$	 gluon	
 top	 beauty	 tau	 neutrino $\tau$	 $Z^0 W^\pm$	 Higgs

Tre  
famiglie: a  
cosa serve  
tutto il  
resto?

Tre tipi di  
forze

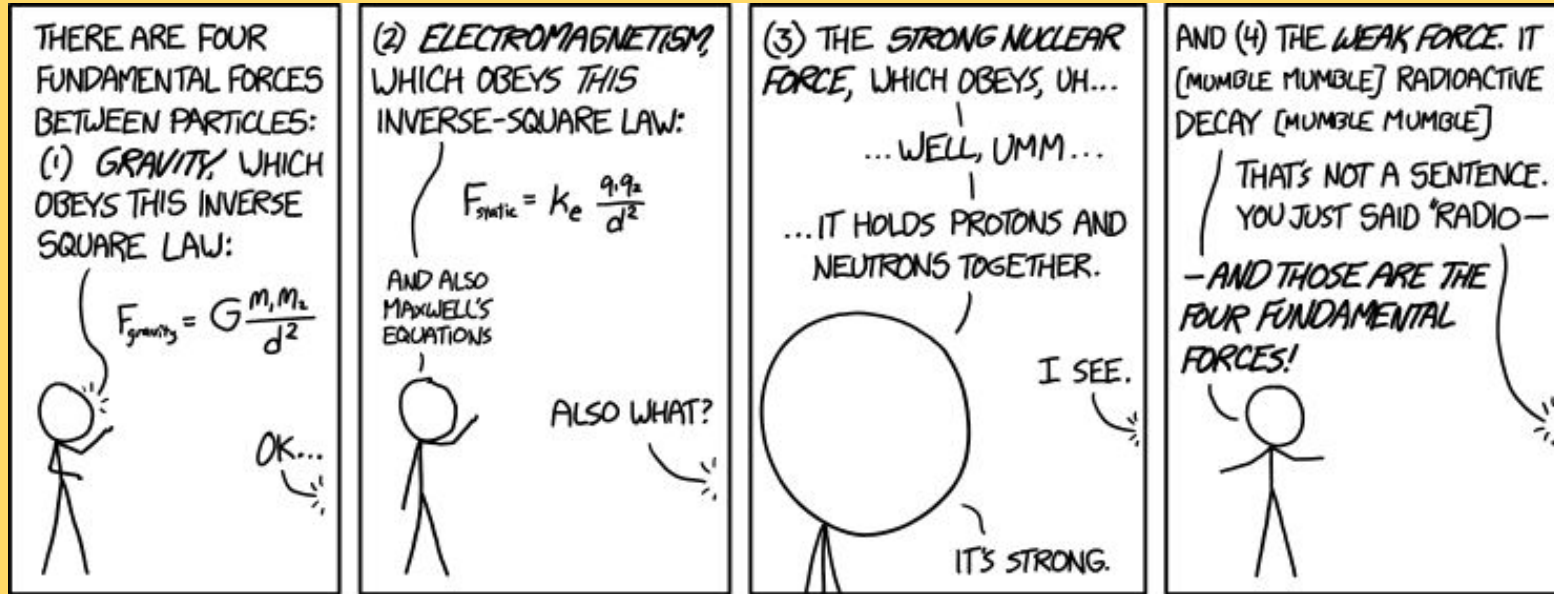
# FORZE

Strong	Electromagnetic
<p data-bbox="575 281 705 306">Gluons (8)</p>  <p data-bbox="595 352 666 412">Quarks</p>  <p data-bbox="585 483 676 532">Mesons Baryons</p>  <p data-bbox="739 369 894 532">Nuclei</p> 	<p data-bbox="981 281 1072 306">Photon</p>  <p data-bbox="981 440 1091 532">Atoms Light Chemistry Electronics</p> 
Gravitational	Weak
<p data-bbox="575 674 705 699">Graviton ?</p>  <p data-bbox="575 849 705 920">Solar system Galaxies Black holes</p> 	<p data-bbox="981 669 1149 694">Bosons (W,Z)</p>  <p data-bbox="981 849 1188 942">Neutron decay Beta radioactivity Neutrino interactions Burning of the sun</p> 

*The particle drawings are simple artistic representations*

# LE QUATTRO FORZE FONDAMENTALI

<https://xkcd.com/1489/>



“Of these forces, there’s one we don’t really understand.”

“Is it the weak force or the strong --”

“It’s gravity.”

# IL MODELLO STANDARD DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{2} \partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4} g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e + \frac{1}{2} i g_s^2 (\bar{q}_i^\sigma \gamma^\mu q_j^\sigma) g_\mu^a + \bar{G}^a \partial^2 G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu \bar{G}^a G^b g_\mu^c - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - M^2 W_\mu^+ W_\mu^- \\
 & \frac{1}{2} \partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2} \partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \frac{1}{2} \partial_\mu H \partial_\mu H - \frac{1}{2} m_h^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2} \partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \frac{1}{2c_w^2} M \phi^0 \phi^0 - \beta_h \left[ \frac{2M^2}{g^2} + \right. \\
 & \quad \left. \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2} (H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \right] + \frac{2M^4}{g^2} \alpha_h - igc_w [\partial_\nu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
 & \quad W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - ig_s w [\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - A_\nu (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)] - \frac{1}{2} g^2 W_\mu^+ W_\mu^- W_\nu^+ W_\nu^- + \\
 & \frac{1}{2} g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\mu^+ Z_\nu^0 W_\nu^- - Z_\mu^0 Z_\nu^0 W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w [A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - \\
 & 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-] - g\alpha [H^3 + H\phi^0 \phi^0 + 2H\phi^+ \phi^-] - \frac{1}{8} g^2 \alpha_h [H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 H^2] - gM W_\mu^+ W_\mu^- H - \\
 & \frac{1}{2} g \frac{M}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2} ig [W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0)] + \frac{1}{2} g [W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) - W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu H)] + \\
 & \frac{1}{2} g \frac{1}{c_w} (Z_\mu^0 (H \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) - ig \frac{s_w^2}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + ig_s w M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - ig \frac{1 - 2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + \\
 & ig_s w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \frac{1}{4} g^2 W_\mu^+ W_\mu^- [H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-] - \frac{1}{4} g^2 \frac{1}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 [H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-] - \frac{1}{2} g^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
 & W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2} ig^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2} g^2 s_w A_\mu \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2} ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - g^2 \frac{s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - \\
 & g^1 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - \bar{e}^\lambda (\gamma \partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda \gamma \partial \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma \partial + m_u^\lambda) u_j^\lambda - \bar{d}_j^\lambda (\gamma \partial + m_d^\lambda) d_j^\lambda + ig_s w A_\mu [- (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{2}{3} (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3} (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda)] + \\
 & \frac{ig}{4c_w} Z_\mu^0 [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{4}{3} s_w^2 - 1 - \gamma^5) u_j^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3} s_w^2 - \gamma^5) d_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda) + \\
 & (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\kappa C_{\lambda\kappa}^\dagger \gamma^\mu (1 + \gamma^5) u_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} \frac{m_e^\lambda}{M} [-\phi^+ (\bar{\nu}^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \phi^- (\bar{e}^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda)] - \\
 & \frac{g}{2} \frac{m_e^\lambda}{M} [H (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + i\phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda)] + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ [-m_d^\kappa (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\kappa) + m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\kappa) + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- [m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\kappa) - \\
 & m_u^\kappa (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \gamma^5) u_j^\kappa) - \frac{g}{2} \frac{m_u^\lambda}{M} H (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_d^\lambda}{M} H (\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{ig}{2} \frac{m_u^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{m_d^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda) + \bar{X}^+ (\partial^2 - M^2) X^+ + \bar{X}^- (\partial^2 - \\
 & M^2) X^- + \bar{X}^0 (\partial^2 - \frac{M^2}{c_w^2}) X^0 + \bar{Y} \partial^2 Y + igc_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + ig_s w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + igc_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + \\
 & ig_s w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- Y - \partial_\mu \bar{Y} X^+) + igc_w Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \partial_\mu \bar{X}^- X^-) + ig_s w A_\mu (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \partial_\mu \bar{X}^- X^-) - \frac{1}{2} gM [\bar{X}^+ X^+ H + \bar{X}^- X^- H + \frac{1}{c_w^2} \bar{X}^0 X^0 H] + \\
 & \frac{1 - 2c_w^2}{2c_w} igM [\bar{X}^+ X^0 \phi^+ - \bar{X}^- X^0 \phi^-] + \frac{1}{2c_w} igM [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + igM s_w [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \frac{1}{2} igM [\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0]
 \end{aligned}$$

# LAGRANGIANA MODELLO STANDARD (COMPATTA)

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} \mathbf{W}_{\mu\nu} \cdot \mathbf{W}^{\mu\nu} - \frac{1}{4} B_{\mu\nu} B^{\mu\nu}$$

{  $W^\pm, Z, \gamma$  kinetic energies and self-interactions

$$+\bar{L}\gamma^\mu \left( i\partial_\mu - g\frac{1}{2}\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{W}_\mu - g'\frac{Y}{2}B_\mu \right) L$$

$$+\bar{R}\gamma^\mu \left( i\partial_\mu - g'\frac{Y}{2}B_\mu \right) R$$

{ lepton and quark kinetic energies and interactions with  $W^\pm, Z, \gamma$

$$+ \left| \left( i\partial_\mu - g\frac{1}{2}\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{W}_\mu - g'\frac{Y}{2}B_\mu \right) \phi \right|^2 - V(\phi)$$

{  $W^\pm, Z, \gamma$ , and Higgs masses and couplings

$$-G_i(\bar{L}\phi R + \bar{R}\phi^{*\dagger}L).$$

{ lepton and quark masses and coupling to Higgs

gauge fermions Higgs Yukawa

(flavour physics in  $L$  and  $R$  via CKM ( $q$ ) and PMNS  $\nu$  in *fermions* part)

# PARITA' NEL MODELLO STANDARD

Si pensava (fino al '50) che fosse conservata. Poi arrivo' il puzzle **T- $\Theta$** : due particelle con la stessa massa e vita media, ma modi di decadimento diversi

- **T** ->3 pioni       $P=(-1)(-1)(-1)=-1$
- **$\Theta$**  ->2 pioni       $P=(-1)(-1)= +1$

Il pione ha parita' intrinseca -1, quindi tau ha  $P=-1$  e theta  $P=+1$

Quindi sembravano particelle del tutto identiche, tranne che per la parita'.

## Puzzle T- $\Theta$

(oggi la particella - che e' una sola - si chiama  $K^+$ , T e' una particella tutta diversa - leptone)

Nel 1956 **Feynman** fa una domanda per conto di **Marty Block**. **“Ma c'e' evidenza sperimentale che P si conserva oppure e' un nostro preconcetto”?**

**Lee e Yang** (1956) fanno uno studio dettagliato e concludono che P si conserva in interazioni forti e EM, ma non sappiamo se vale anche per quelle deboli.

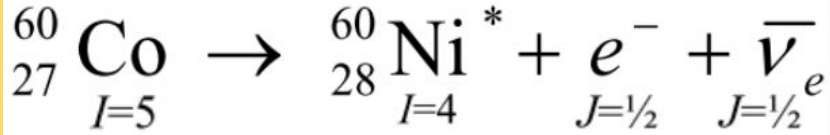


Propongono 2 esperimenti:

- Beta-decay di  $Co^{60}$
- Decadimento di pioni e muone

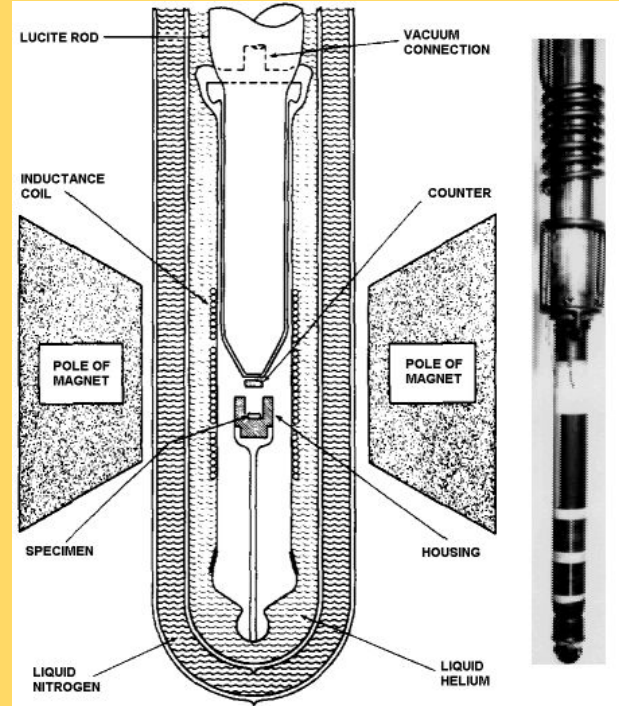
# DECADIMENTO DEL CO60 WU ET AL. (1957)

Prendo Co60, lo raffreddo fino a  $\sim 0.003$  K, lo metto in campo magnetico (per orientare lo spin)



Osservo la direzione degli elettroni emessi rispetto alla direzione dello spin

Inverto la direzione del campo magnetico e ripeto



# CHE COSA HA A CHE FARE CON LA PARITA'?

Se inverte tutte le coordinate spaziali (parita')

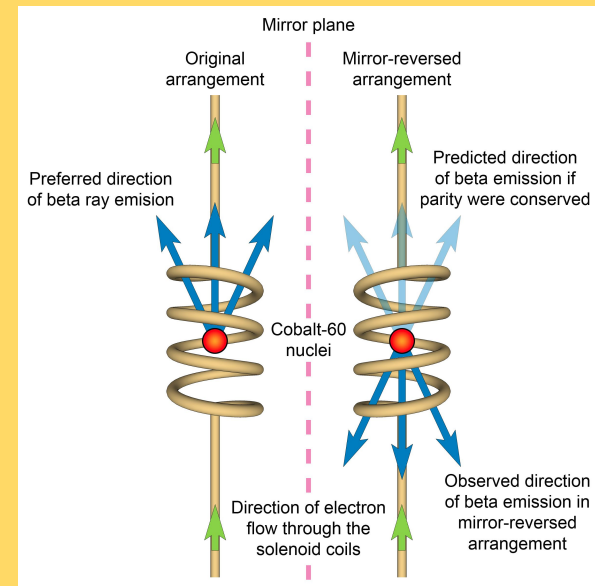
$$\vec{r} \xrightarrow{\hat{P}} -\vec{r}$$
$$\vec{p} = m \frac{d\vec{r}}{dt} \xrightarrow{\hat{P}} -\vec{p}$$

Momento angolare (spin) [pseudo-vettore]

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \xrightarrow{\hat{P}} \vec{L}$$

Quindi:  $\vec{L} \cdot \vec{p} \xrightarrow{\hat{P}} -\vec{L} \cdot \vec{p}$

Ovvero:  $\langle \vec{L} \cdot \vec{p} \rangle = 0$

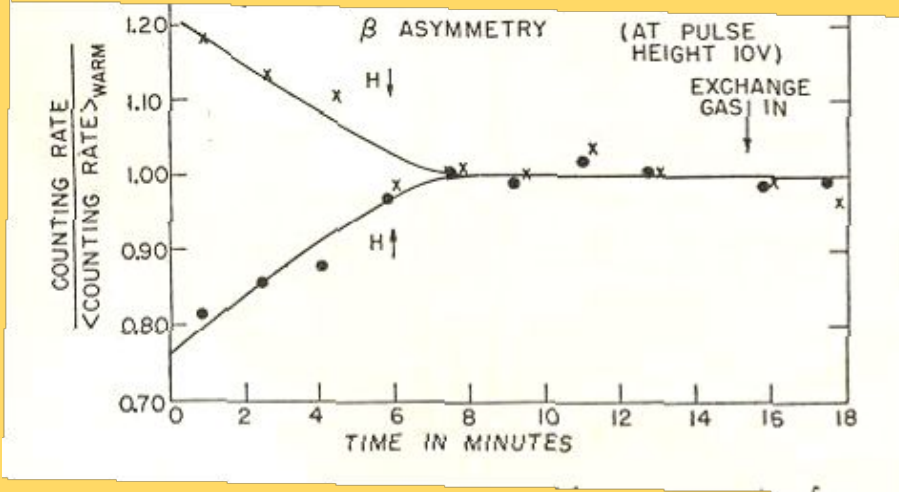


Se vale la parita', la direzione degli elettroni emessi nel decadimento **non dipende dall'orientamento dello spin**.

$$\langle \vec{p}_{e^-} \cdot \vec{s}_{60_{27}Co} \rangle = 0$$



# RISULTATO SPERIMENTALE (1957)



## Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay\*

C. S. WU, *Columbia University, New York, New York*

AND

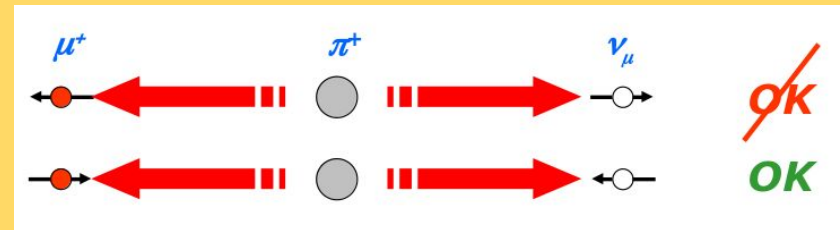
E. AMBLER, R. W. HAYWARD, D. D. HOPPES, AND R. P. HUDSON,  
*National Bureau of Standards, Washington, D. C.*

(Received January 15, 1957)

**La parità è violata nelle interazioni deboli.**

Risultato confermato da altri esperimenti.

Lederman et al at BNL and Telegdi et al at  
Chicago con decadimento  $\pi^- \rightarrow \mu^- \rightarrow e$



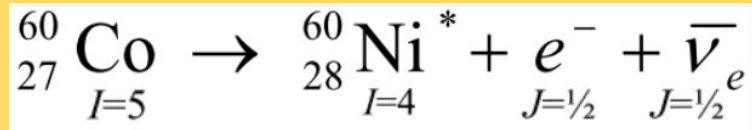
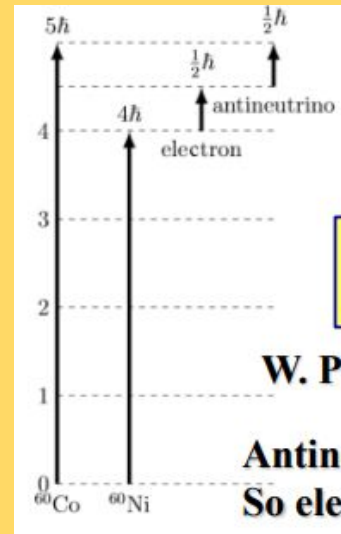
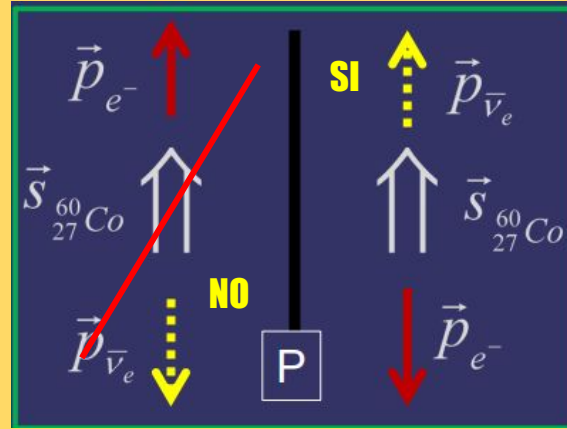
# PARITA' E INTERAZIONE DEBOLI

L'evidenza sperimentale e' che le interazioni deboli violano la parita' al 100%

**TUTTI i neutrini sono left-handed** (spin nella direzione del momento)

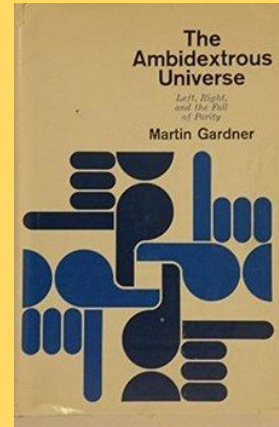
**TUTTI gli anti-neutrini sono right-handed** (spin nella direzione opposta al momento)

L'anti-neutrino viaggia in direzione opposta allo spin del Co60 e quindi l'elettrone viaggia dalla parte opposta.



W. Pauli: „Cannot believe that God is left-handed!”

Lo posso usare per definire la destra e la sinistra!



# TORNANDO ALLE INDICAZIONE PER IL BAR.

Allora, caro ET, e' facile.

Prendi un anti-neutrino. Come sarebbe cos'e' un antineutrino?

Prendi un neutrone, aspetti che decada e quello che salta fuori e' un anti-neutrino, facile.

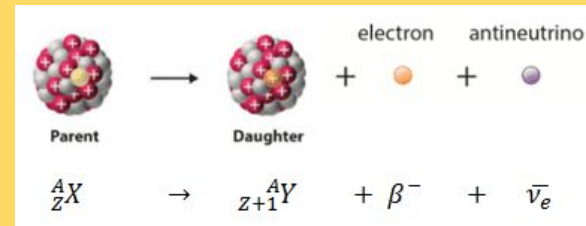
Si, un neutrone! Ma insomma, prendi un atomo qualsiasi, guardi il nucleo, hai protoni carichi e neutroni neutri. Un neutrone, insomma!

Ok, guardi come e' orientato lo spin dell'anti-neutrino rispetto alla direzione del moto. Fatto?

Bene, lo spin gira sempre da una parte rispetto alla direzione del moto. Ok?

Quella e' la DESTRA, la SINISTRA e' dall'altra parte.

Ci vediamo al bar tra poco!



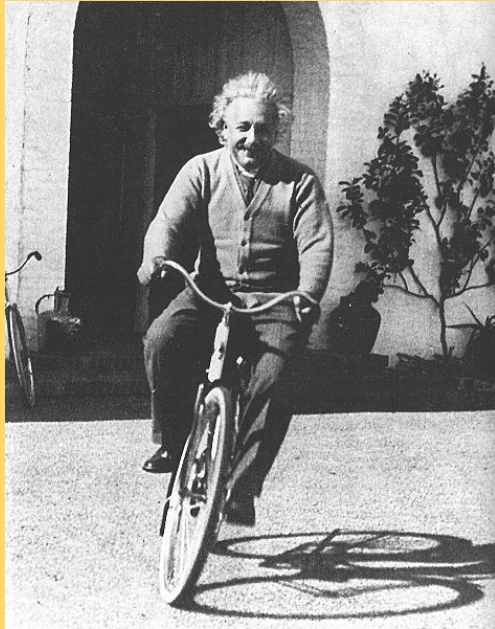
Sembra fatta, grazie alle interazioni deboli, possiamo distinguere destra/sinistra in modo univoco!

in realta' non e' del tutto vero.

**E se ET vivesse in un mondo di antimateria?**

# ANTIMATERIA?

Quale e' l'equazione piu' famosa della fisica moderna?



$$\del{E = mc^2}$$

**E' sbagliata!**

$$E^2 = (mc^2)^2$$

$$E = mc^2 \quad \text{or} \quad E = -mc^2$$



Dirac: la soluzione a energia negativa e' fisica. Antimateria!

# ANTIMATERIA

- Per ogni particella, c'è una corrispondente antiparticella
  - Protone -> antiprotone; elettrone -> anti-elettrone (positrone); neutrino -> anti-neutrino
- Le caratteristiche di particella e anti-particella (massa, vita media, interazioni, etc) sono identiche,
  - mentre la carica elettrica di particelle e antiparticelle è opposta
  - elettrone e-, positrone e+
- Se materia e anti-materia si incontrano, si annichilano e producono fotoni.
- **Antimateria è rara nell'universo AntiMateria/Materia ~ 1E-10**
  - Lo vediamo direttamente nei raggi cosmici
  - Lontano dalla terra/sistema solare, se ce ne fosse molta, vedremmo i fotoni emessi da annichilazione nelle regioni di confine. Non li vediamo.

# ANTIMATERIA

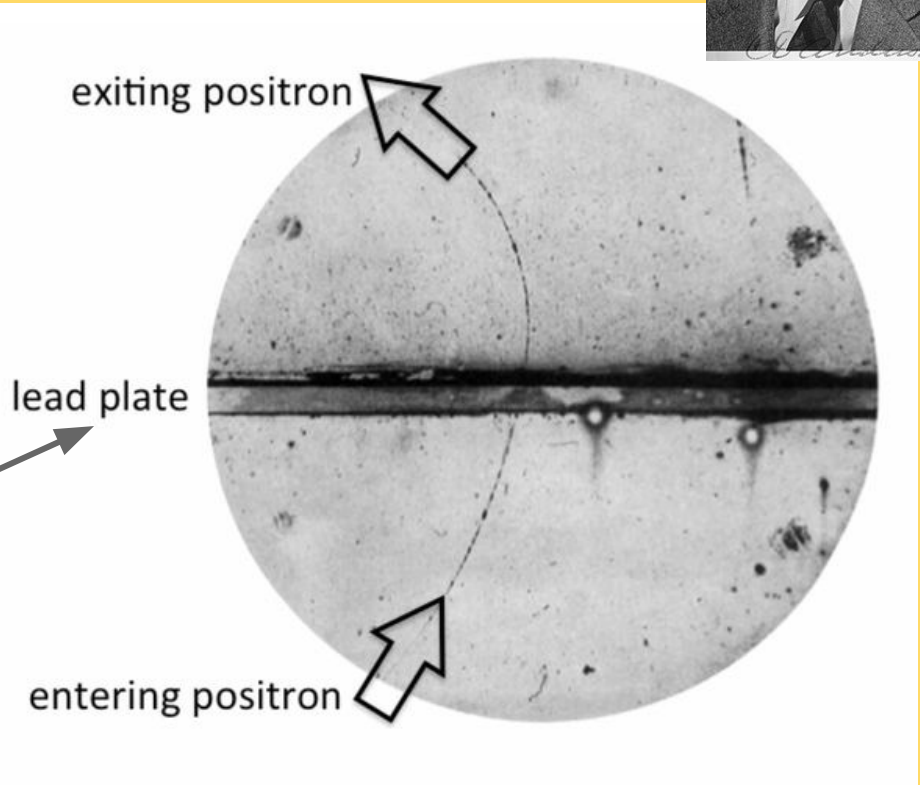
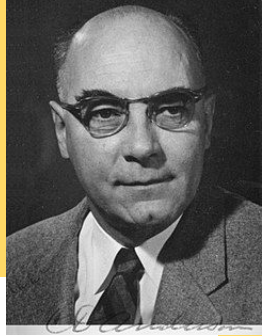
Carl Anderson 1932 scopre il positrone: Nobel 1936.

Raggi cosmici (Mt Wilson, California), usa una camera a nebbia (cloud chamber) in campo magnetico.

Camera con gas sovrassaturo: particella carica deposita energia (ionizza) e fa condensare il gas in bollicine lungo la traiettoria, che viene fotografata.

Per capire se e' un e- dall'alto o un e+ dal basso, mette un assorbitore (piombo): la curvatura diminuisce attraversandolo.

Quando bastava una foto e non 100 pagine di analisi statistica...



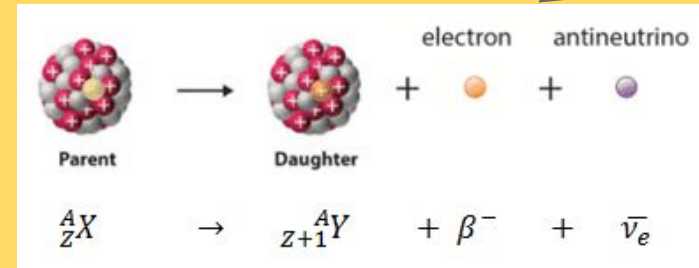
# Che cambia se ET vive in un mondo di antimateria?

Il decadimento beta che abbiamo usato per definire destra e' identico, ma tutte le particelle diventano antiparticelle e viceversa.

Quindi lui vede un **neutrino**, e non un **antineutrino**.

E i neutrini girano a **SINISTRA**

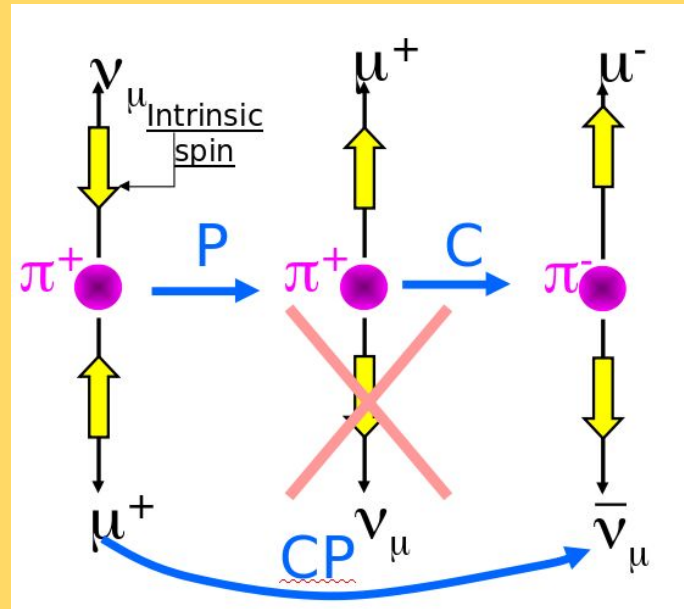
**Non trovera' mai il bar!**





# E ALLORA?

- Destra  $\leftrightarrow$  Sinistra: **Parita'**
  - **Neutrini (sinistri) vengono trasformati in Neutrini (destri)**
    - Che non esistono.
    - **P e' violata**
- Materia  $\leftrightarrow$  Antimateria: **Coniugazione di carica**
  - **Neutrini (sinistri) vengono trasformati in antineutrini (sinistri)**
    - Che non esistono
    - **C e' violata**
- **Se io applico entrambe CP che succede?**
  - **Neutrini (Dx) diventano anti-neutrini (Sx)**
  - **Che esistono!**
    - **CP e' una buona simmetria anche per le interazioni deboli**
  - **Oppure no?**



# VIOLAZIONE CP NEL MODELLO STANDARD

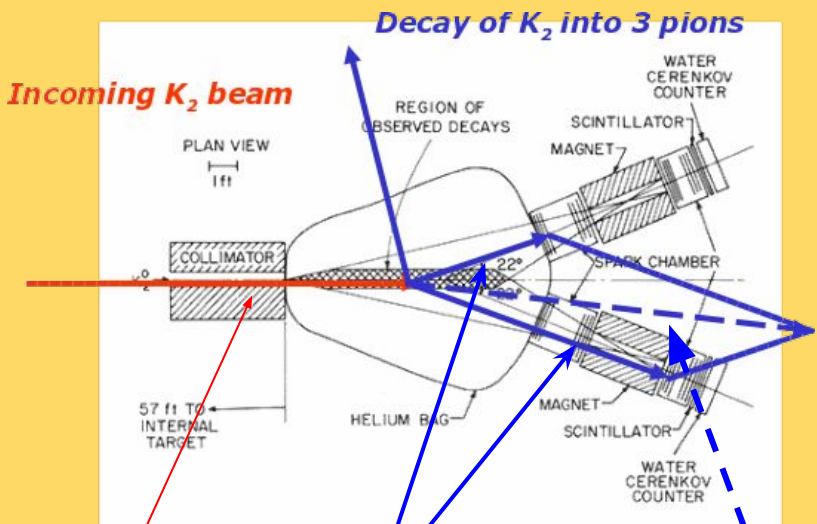
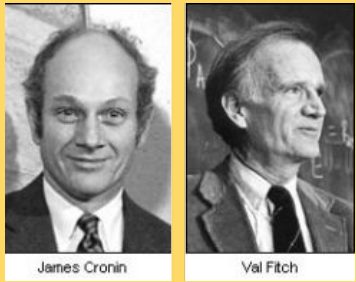
- Ricordate  $\tau - \Theta$  aka  $K^+$  ?
- C'e' la compagna neutra  $K^0$ .
  - E' una sovrapposizione di due stati  $K_1$  e  $K_2$ , con vite medie molto diverse.
- $K_1 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  ( $c\tau \sim 2.6$  cm) **CP=(-1)(-1)=+1**
- $K_2 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  ( $c\tau \sim 15.3$  m) **CP=(-1)(-1)(-1)=-1**

**Se esistono decadimenti di  $K_2$  in  $\pi^+ \pi^-$ , allora le interazioni deboli NON conservano nemmeno CP.** (NB per  $T-\Theta$  era solo P!)

**Produco tanti  $K^0$ , aspetto che i  $K_1$  siano decaduti tutti (basta mettermi a distanza di qualche m) e rimangono solo i  $K_2$**

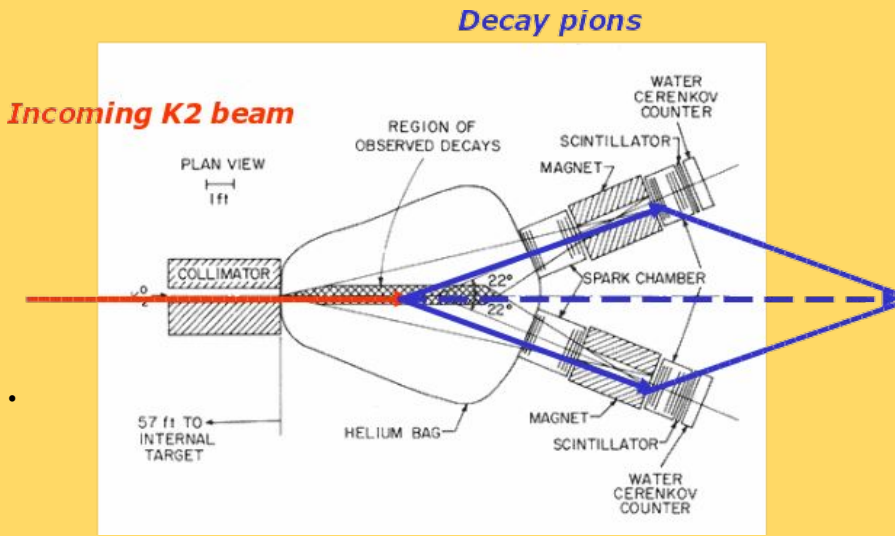


# THE CRONIN & FITCH EXPERIMENT (1964 - NOBEL 1980)



- Cerco decadimenti  $K_2 \rightarrow \pi\pi$
- A 20 metri dalla produzione di  $K^0$
- I  $K_1$  sono già decaduti tutti.

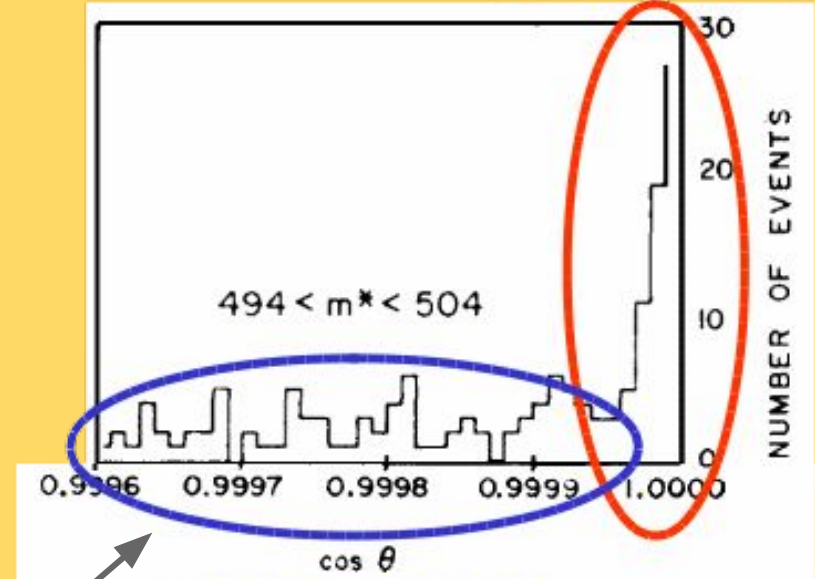
- Osservo il momento di due  $\pi$ .
- Sommo i loro momenti e ho il momento del K.
- La confronto con la direzione del fascio.
- **Se mi sono perso un  $\pi$  ( $K \rightarrow \pi\pi\pi$ ) allora non coincidono ( $\cos\theta < 1$ )**
  - **Se invece  $K \rightarrow \pi\pi$  allora ( $\cos\theta = 1$ )**



# RISULTATO: CP E' VIOLATO DALLE INTERAZIONI DEBOLI

- La violazione c'e', anche se piccola (0.05%)
  - NB P e' violata al 100%
- La possiamo usare per definire in modo univoco cosa e' la materia e cosa l'antimateria

$K_2 \rightarrow \pi\pi$  decays  
(CP Violation!)



$K_2 \rightarrow \pi\pi\pi$  decays

- Notate la scala: parte da  $\cos\theta = 0.9996$

# MATERIA VS ANTIMATERIA

- Così' come violazione CP rende possibile il decadimento  $K_2 \rightarrow \pi\pi$ , fa si' che questi due decadimenti siano leggermetne diversi:
- 1.  $K_2 \rightarrow \pi^+ e^- \nu_e$
- 2.  $K_2 \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e$
- **(2.) accade un po' piu' spesso di (1.)**
  - Il che mi permette di definire in modo univoco la carica positiva:
- Prendi un po' di  $K_2$  falli decadere in  $(\pi$  e  $\nu_e)$ , conta quante volte l'elettrone ha una carica o quella opposta. La carica **POSITIVA** e' quella dell'elettrone piu' frequente.
  - A questo punto siamo veramente a posto. Posso finalmente dare indicazioni univoche per il bar al mio amico ET.
- Che fatica! Ma ne valeva la pena, per uno spritz?

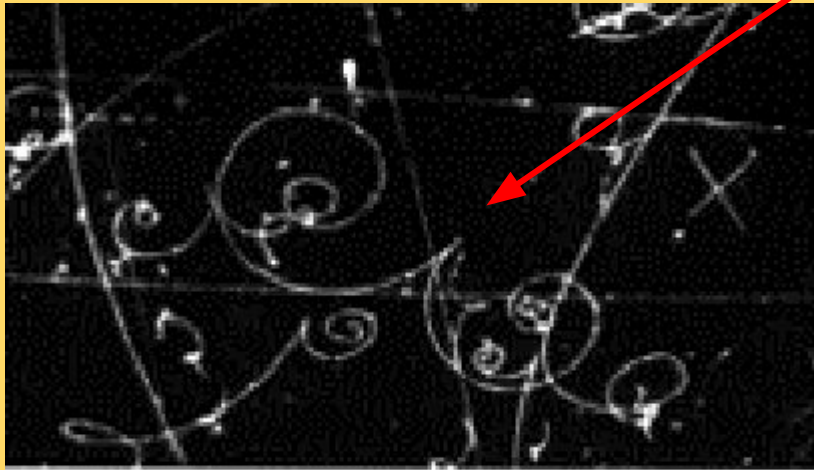
# MATERIA VS ANTIMATERIA NELL'UNIVERSO



STEFANO LACAPRARA, SEI SPRITZ MENO FACILI, PADOVA, 20 MAGGIO 2019

# ENERGIA SI PUO' CONVERTIRE IN MATERIA

Conversione  $\gamma \rightarrow e^+e^-$  in camera a bolle



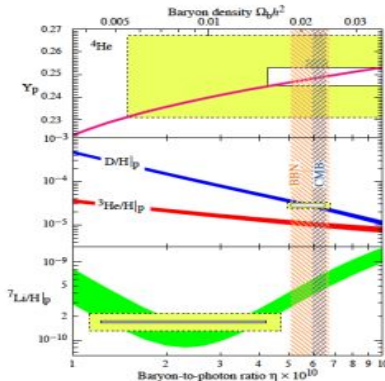
- Parto con un fotone e produco una coppia di elettrone-positrone
  - Vedete che la curvatura e' opposta
- Produco SEMPRE materia e antimateria, qualunque sia il processo.
- E' quello che e' successo dopo il Big Bang
  - L'energia si e' trasformata in materia e antimateria.

Dove e' andata a finire tutta l'antimateria?  
Perche' l'universo e' fatto (quasi) solo di materia

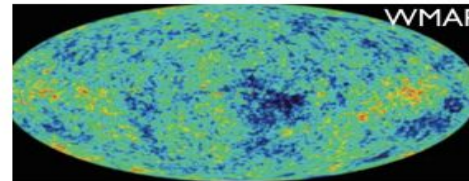
# QUANTO E' ASIMMETRICO L'UNIVERSO? TANTO.

- What happened to the antimatter?
- Can we understand the origin and size of the baryon asymmetry of the Universe?

$$\eta \equiv \frac{n_b - n_{\bar{b}}}{n_\gamma} = (6.3 \pm 0.3) \times 10^{-10}$$

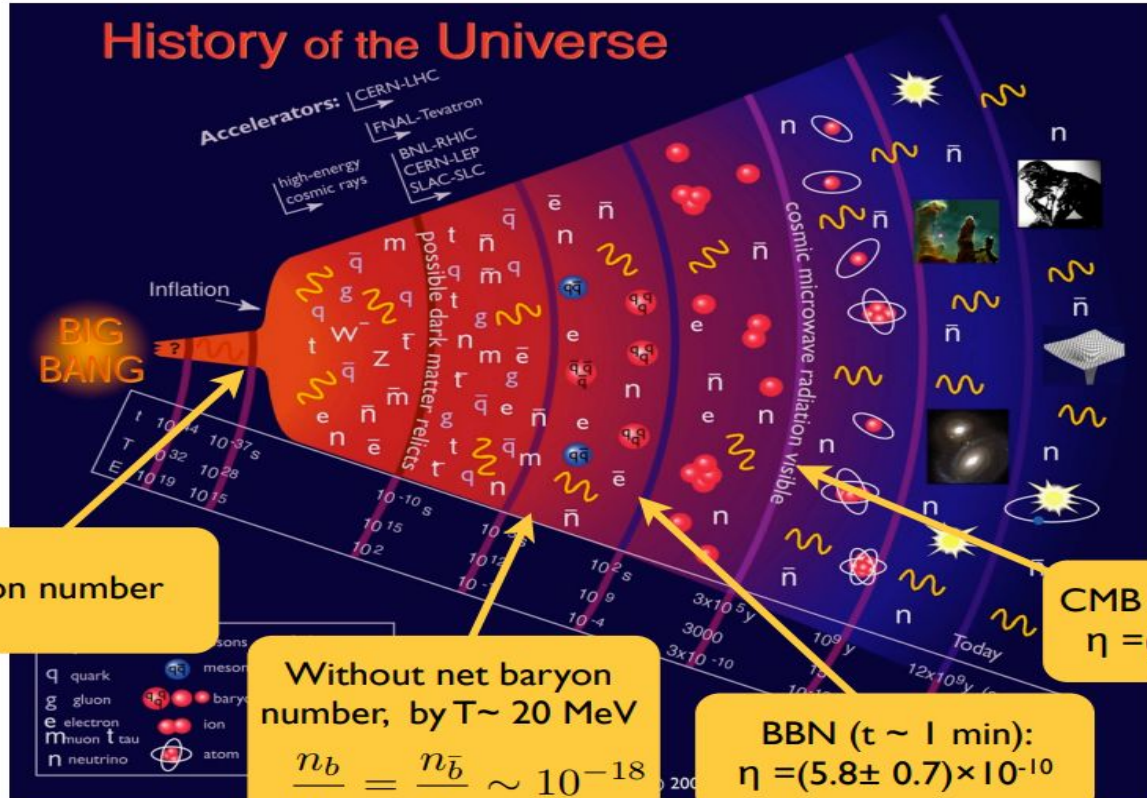


From Big Bang Nucleosynthesis  
and  
CMB anisotropies





# BARIOGENESI



No baryon number

Without net baryon number, by  $T \sim 20$  MeV

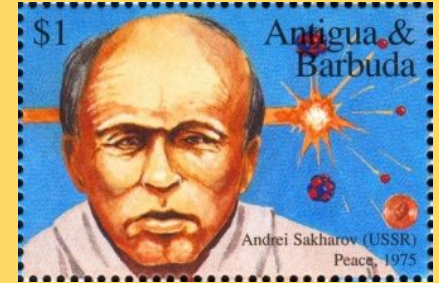
$$\frac{n_b}{n_\gamma} = \frac{n_{\bar{b}}}{n_\gamma} \sim 10^{-18}$$

BBN ( $t \sim 1$  min):  
 $\eta = (5.8 \pm 0.7) \times 10^{-10}$

CMB ( $t \sim 300,000$  yr):  
 $\eta = (6.1 \pm 0.3) \times 10^{-10}$

# SAKAROV CONDITIONS (1967)

- All'inizio (BigBang) l'universo e' simmetrico materia/antimateria
    - Come fa a diventare completamente asimmetrico (oggi)?
  - Sakarov ipotizza un modello che richiede tre ingredienti:
    - Attivista per il disarmo, esilio 1980-86: nemico interno #1
    - Nobel 1975
1. Violazione numero Barionico (Ok)
    - a. (barioni == materia) per creare materia/antimateria
  2. Violazione C e CP (Ok!)
    - a. Per distinguere Materia da anti-Materia
  3. Situazione di non equilibrio (Ok!)
    - a. Se sono in equilibrio, il processo che crea antimateria e' in equilibrio con quello che crea materia, e quindi non posso creare asimmetria.



# UN ESEMPIO

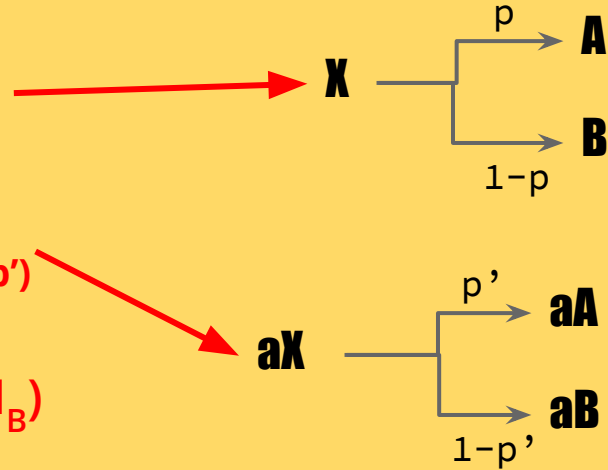
- Parto da stessa quantita' di materia (**X**) e antimateria (**aX**)

- **X** decade in:

- **A** (numero barionico  $N_A$ ) con probabilita'  $p$
- **B** (numero barionico  $N_B$ ) con probabilita'  $(1-p)$

- **aX** decade in:

- **aA** (numero barionico  $-N_A$ ) con probabilita'  $p'$
- **aB** (numero barionico  $-N_B$ ) con probabilita'  $(1-p')$



- $$\Delta N_{\text{tot}} = N_A p + N_B (1-p) - N_A p' - N_B (1-p') = (p-p')(N_A - N_B)$$

- Perche'  $\Delta N_{\text{tot}} \neq 0$  serve che:

- $p \neq p'$  : Violazione CP
- $N_A \neq N_B$  : Violazione numero barionico

- Cosa c'entra con la Bellezza?

# DA DOVE VIENE CPV NELLO STANDARD MODEL?

- Nello SM (oggi) ci sono 3 famiglie di quark (e di leptoni)
- Quark uds erano noti da tempo: p, n, e K
- Glashow, Iliopoulos, Maiani (1970) postulano il 4o quark charm
  - GIM mechanism per spiegare la rarita' del decadimento  $K^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$  ( $<9E-9$ ) rispetto al  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$  (63%)
  - Scoperto sperimentalmente nel 1974 (J/psi) Richter, Ting
- Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa (1972) ipotizzano una terza generazione per introdurre la violazione di CP nello SM
  - 1977 Lederman scopre la Y : 3a generazione Quark b (beauty o bottom)



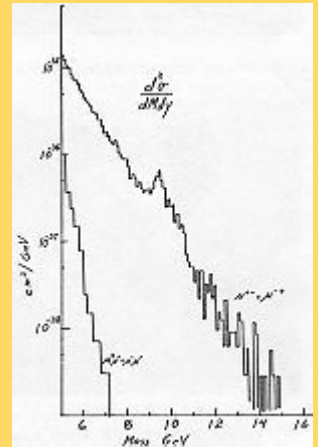
Progress of Theoretical Physics, Vol. 49, No. 2, February 1973

## **CP-Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction**

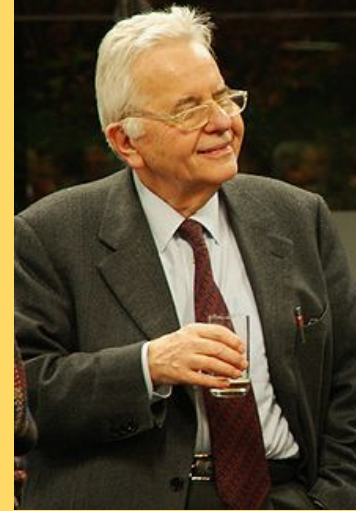
Makoto KOBAYASHI and Toshihide MASKAWA

*Department of Physics, Kyoto University, Kyoto*

(Received September 1, 1972)



# MESCOLAMENTO DEI QUARK CON 2 GENERAZIONI



$$d' = \cos(\theta_c)d + \sin(\theta_c)s$$



$$s' = -\sin(\theta_c)d + \cos(\theta_c)s$$

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & \sin \theta_c \\ -\sin \theta_c & \cos \theta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$$

Angolo di Cabibbo

$$\begin{bmatrix} \cos 90^\circ & \sin 90^\circ \\ -\sin 90^\circ & \cos 90^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a_1 \\ a_2 & 0 \end{bmatrix}$$

E' una rotazione nello spazio dei quark

# CON 3 GENERAZIONI

KM: se le generazioni sono 3, allora la matrice di rotazione non e' reale, ma complessa.

Se la parte immaginaria e' diversa da 0, allora ho violazione di CP.

Matrice CKM:  
Cabibbo-Kobayashi-Maskawa

K-M nobel (2008)

- 2 generations:  $d' = 0.97 d + 0.22 s$  ( $\theta_c = 13^\circ$ )

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & \sin \theta_c \\ -\sin \theta_c & \cos \theta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$$


- 3 generations:  $d' = 0.97 d + 0.22 s + 0.003 b$

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

- NB: probabilities have to add up to 1:  $0.97^2 + 0.22^2 + 0.003^2 = 1$   
-  $\rightarrow$  "Unitarity" !

# MATRICE CKM E' UNITARIA

La somma delle probabilita' totale deve essere 1, il che implica:

$$V^+V = \begin{pmatrix} V_{ud}^* & V_{cd}^* & V_{td}^* \\ V_{us}^* & V_{cs}^* & V_{ts}^* \\ V_{ub}^* & V_{cb}^* & V_{tb}^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$


Per esempio:

$$V_{ub}^* V_{ud} + V_{cb}^* V_{cd} + V_{tb}^* V_{td} = 0$$

Sono numeri complessi, li posso pensare come vettori nel piano complesso.

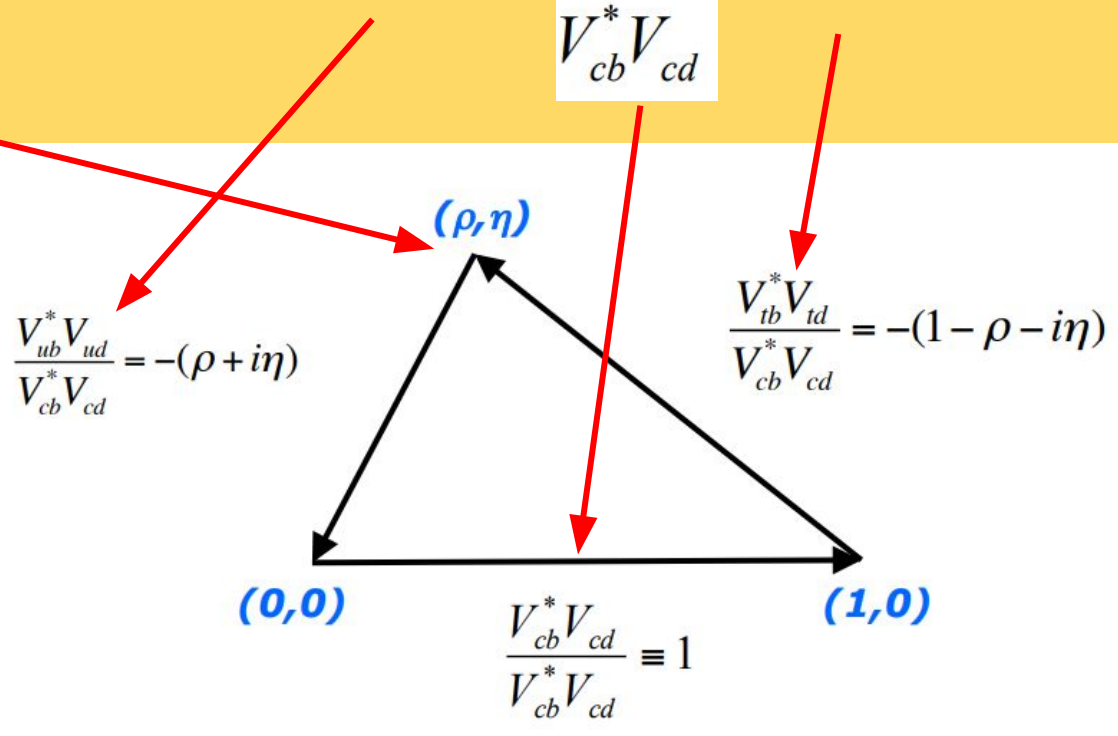
# TRIANGOLO DI UNITARIETA'

Se parte immaginaria non e' nulla, allora il triangolo non e' degenere.

Ci sono molti triangoli, quello piu' grande e' quello relativo ai quark b

Massima CPV nei quark b

$$V_{ub}^* V_{ud} + V_{cb}^* V_{cd} + V_{tb}^* V_{td} = 0$$



Mi serve una fabbrica di quark b



LA FABBRICA DELLE  
BELLEZZA:  
B FACTORY

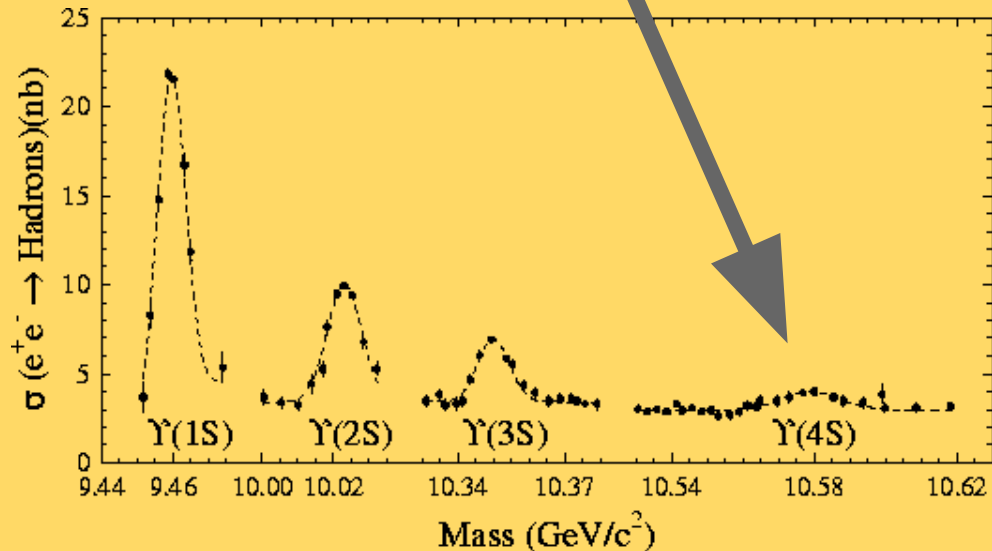
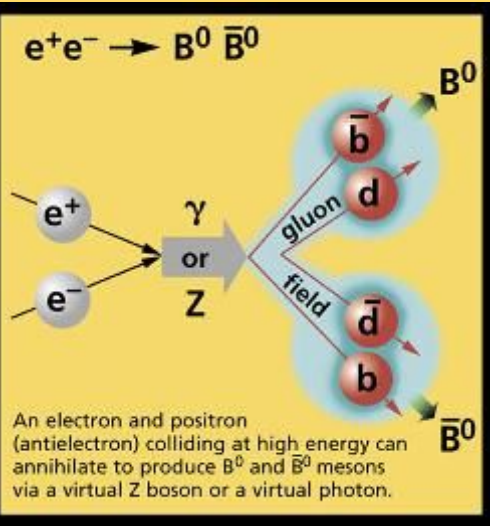


STEFANO LACAPRARA, SEI SPRITZ MENO FACILI, PADOVA, 20 MAGGIO 2019

# FABBRICA DI BELLEZZA: B(EAUTY)-FACTORY

Quark b scoperto con produzione  $p+Be \rightarrow Y \rightarrow \mu^+ \mu^-$   
(Lederman 1977)

Ci sono molte Y. La Y(4S) ha massa sufficiente per decadere in una coppia di  $B\bar{B}$



# Belle II At SuperKEKB

A New Generation “Super Flavor Factory”

@ World’s Highest-Luminosity Electron Positron Collider

Successor to Belle at  
KEKB (1999-2010)



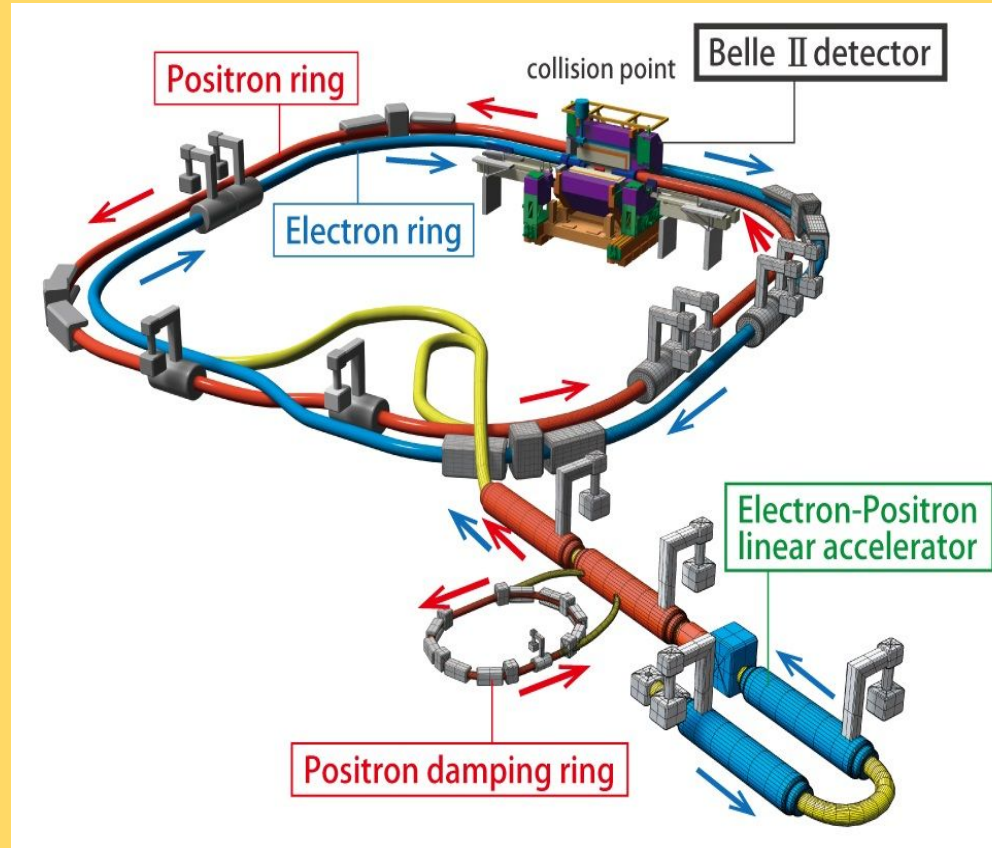
1 km



KEK  
Tsukuba  
Campus

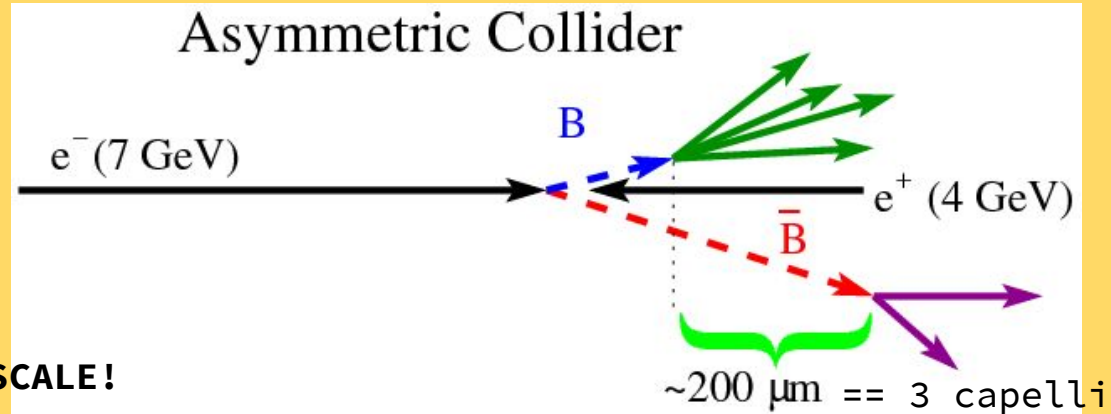
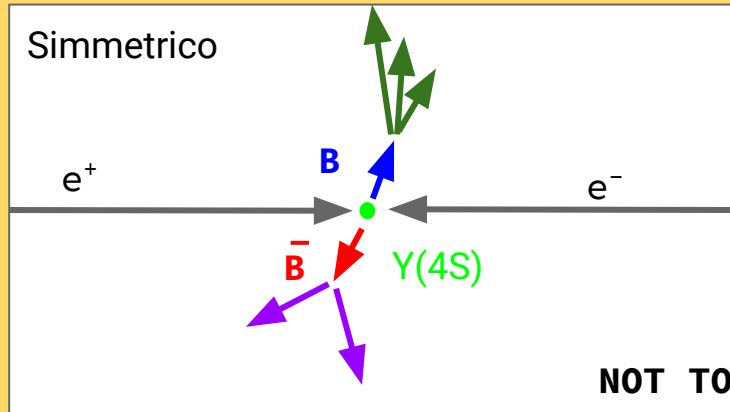
# SUPERKEKB

- Collisore circolare  $e^- e^+$
- Produco  $Y(4S)$  che decadono in coppie  $B\bar{B}$
- Energia non elevata ( $E_{CM}=10.58$  GeV - LHC  $E_{CM}=13$ TeV)
  - Ma ambiente pulito: c'è solo la coppia di B e niente altro
  - Inoltre lo stato iniziale  $e^- e^+ e'$  perfettamente noto
    - Non è così a LHC
- Collisore asimmetrico (4+7 GeV)
- Altissima luminosità



# UN COLLISORE ASIMMETRICO

- Perche'?
- Produco  $Y(4S)$  che decadono subito in  $B\bar{B}$ 
  - B ha una vita media  $1.5E-12$  s, quindi  $c\tau \sim 0.5$ mm
- Se fasci simmetrici,  $Y(4S)$  a riposo, anche B quasi a riposo
  - Viaggiano poco, difficile distinguere i vertici di decadimento di B e  $\bar{B}$
- Se asimmetrici, e' piu' facile!
  - Distanza di decadimento aumenta di un fattore  $\sim 7$



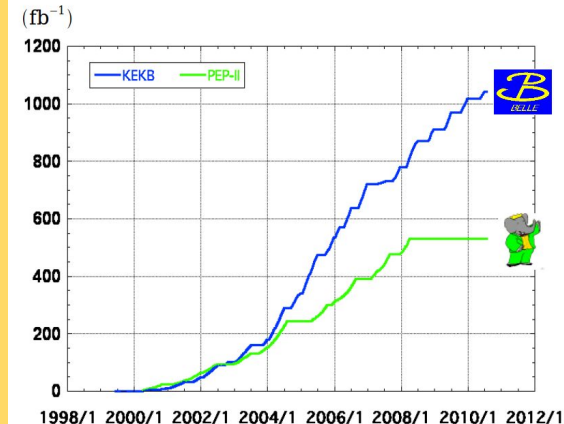
# LUMINOSITA'

barn e' unita' di misura inventata durante il progetto Manhattan: "couldn't hit the broad side of a barn"

## Master formula:

- $N$  (eventi/secondo) =  $L * \sigma$
- $N$  (eventi) =  $\int L dt * \sigma$  (Luminosita' integrata)
- $\sigma$  (sezione d'urto) e' la probabilita' di produrre una particella
  - $\sigma(e^+e^- \rightarrow Y(4S))$  circa  $1.1 \text{ nb} = 10^{-33} \text{ cm}^2$
  - KEKB (generazione precedente)  $L(\text{max}) = 2.1 \text{ E}34 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
  - Quindi KEKB produceva  $N = L * \sigma = 23 \text{ Y}(4S)$  al secondo
    - Ovvero  $N = 23 \text{ E}6 \text{ Y}(4S)$  all'anno.
    - $\int L dt = 1 \text{ E}9 \text{ nb}^{-1}$
  - $N_{\text{tot}}(Y(4S)) \sim 1 \text{ E}9$
- Noi ne vogliamo di piu': **50E9**
  - devo aumentare L! Come faccio?

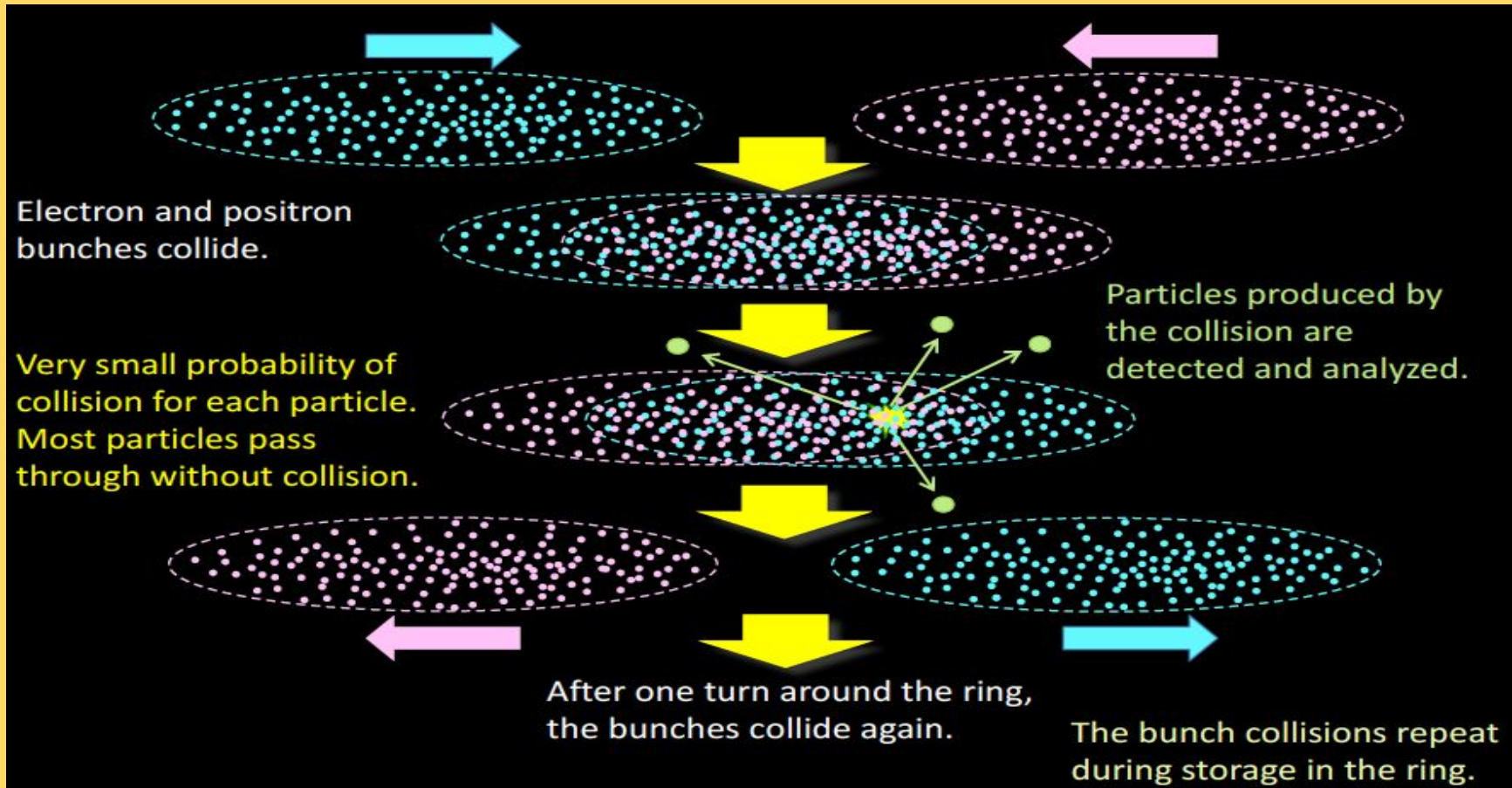
## Integrated luminosity of B factories



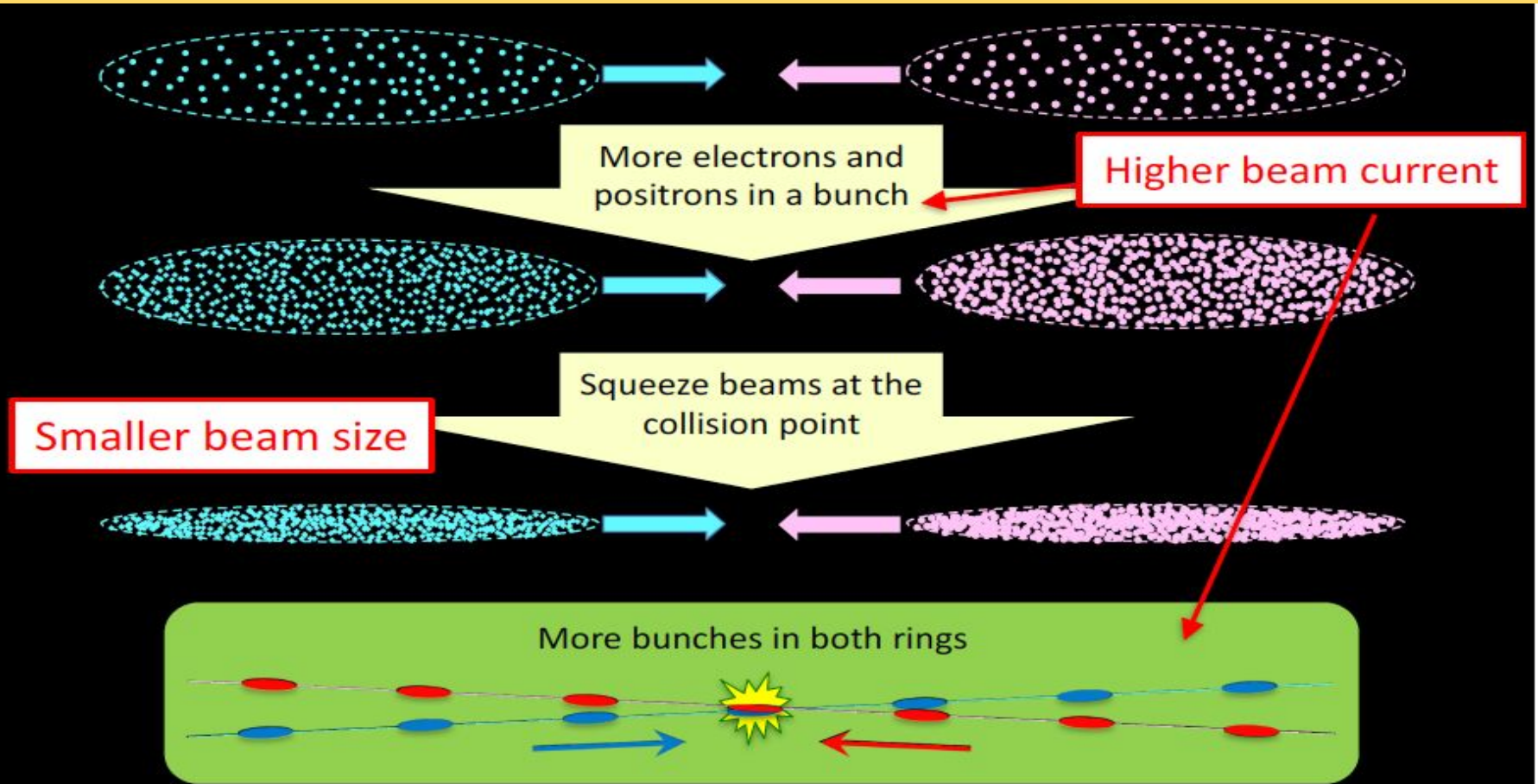
**> 1 ab<sup>-1</sup>**  
On resonance:  
Y(5S): 121 fb<sup>-1</sup>  
Y(4S): 711 fb<sup>-1</sup>  
Y(3S): 3 fb<sup>-1</sup>  
Y(2S): 25 fb<sup>-1</sup>  
Y(1S): 6 fb<sup>-1</sup>  
Off reson./scan:  
~ 100 fb<sup>-1</sup>

**~ 550 fb<sup>-1</sup>**  
On resonance:  
Y(4S): 433 fb<sup>-1</sup>  
Y(3S): 30 fb<sup>-1</sup>  
Y(2S): 14 fb<sup>-1</sup>  
Off resonance:  
~ 54 fb<sup>-1</sup>

# COLLISORE DI BUNCHES DI PARTICELLE

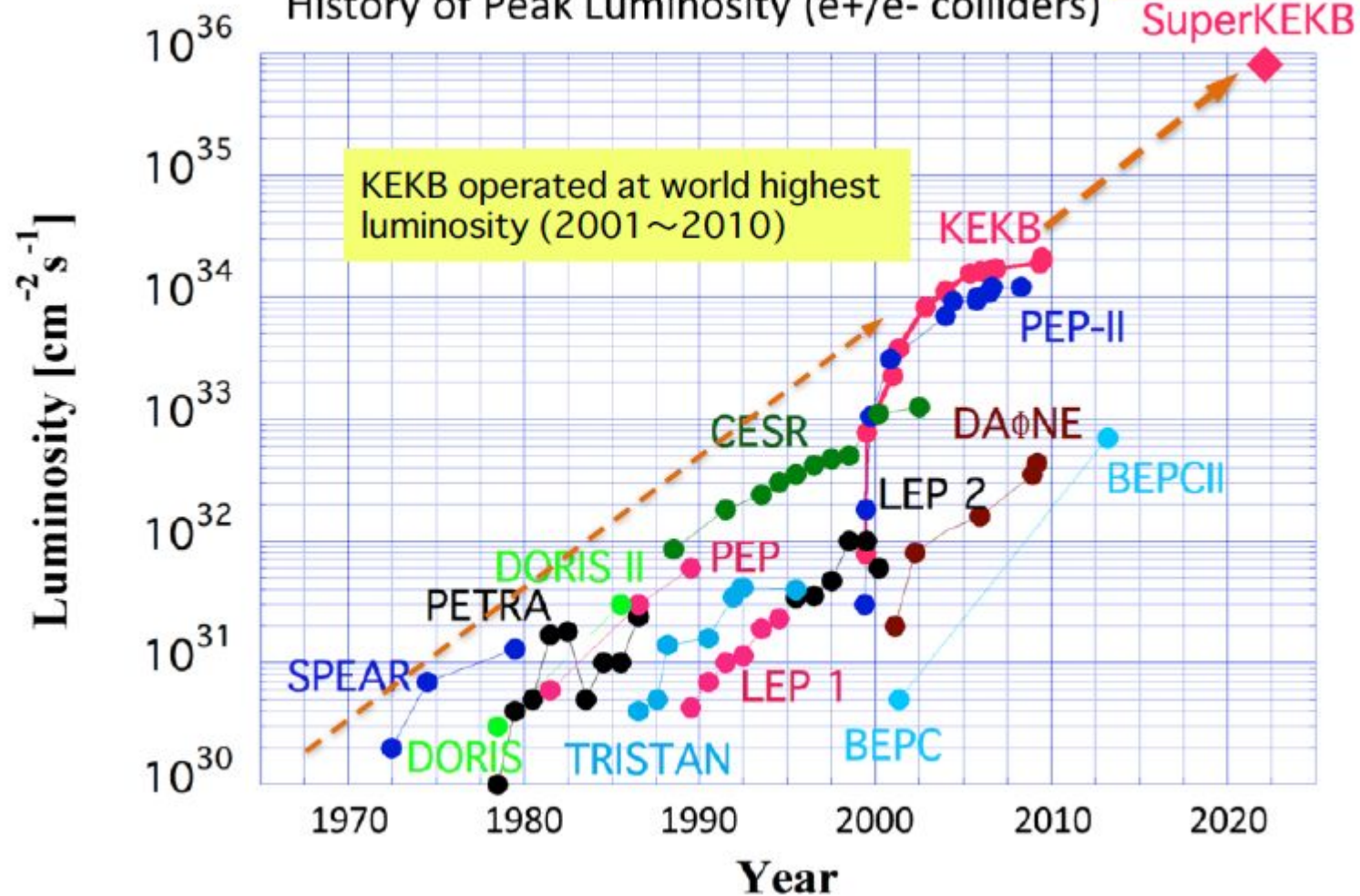


# AUMENTARE LA LUMINOSITA'



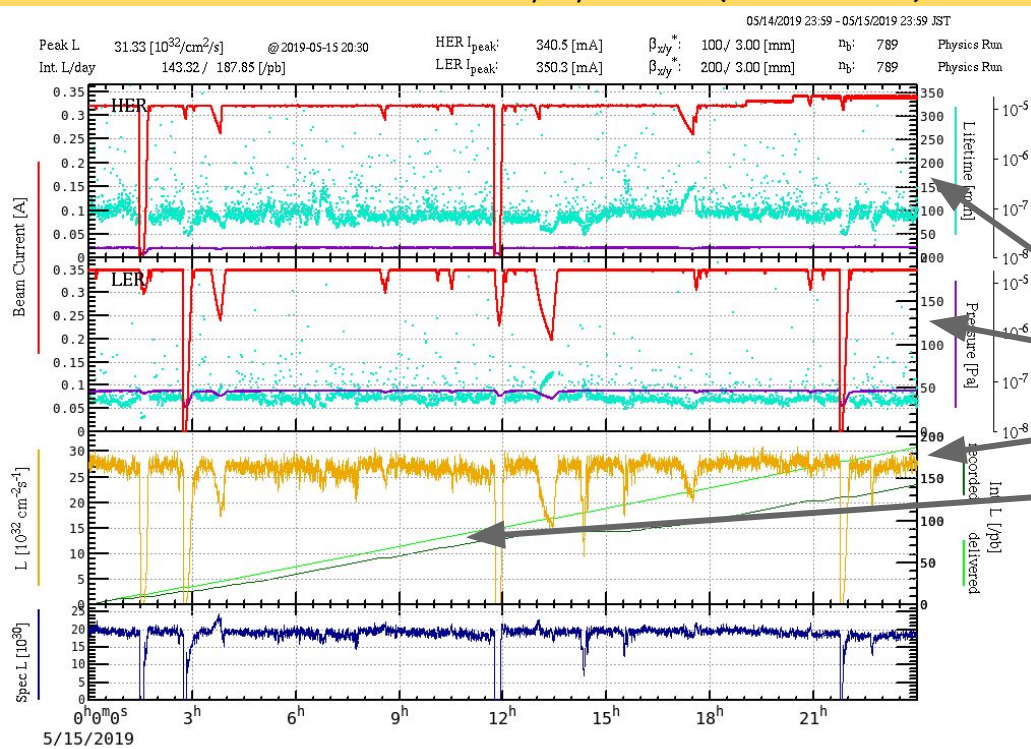


# History of Peak Luminosity (e+/e- colliders)



# IT'S ALIVE!

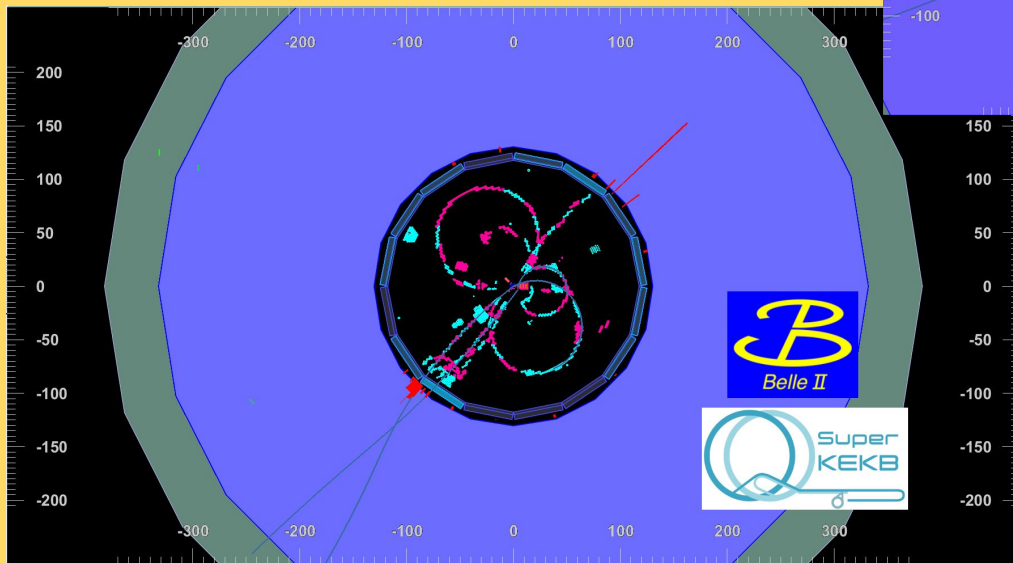
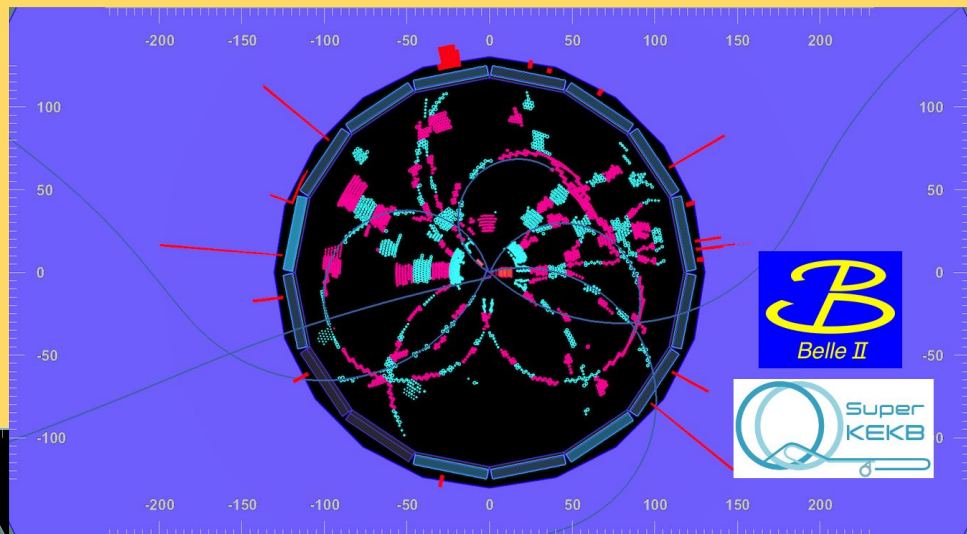
14/5/2019 (venerdì)



- Fascio e<sup>-</sup> (corrente)
- Fascio e<sup>+</sup> (corrente)
- Luminosita'
- Luminosita' integrata

# EVENTI

$$e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow q\bar{q}$$

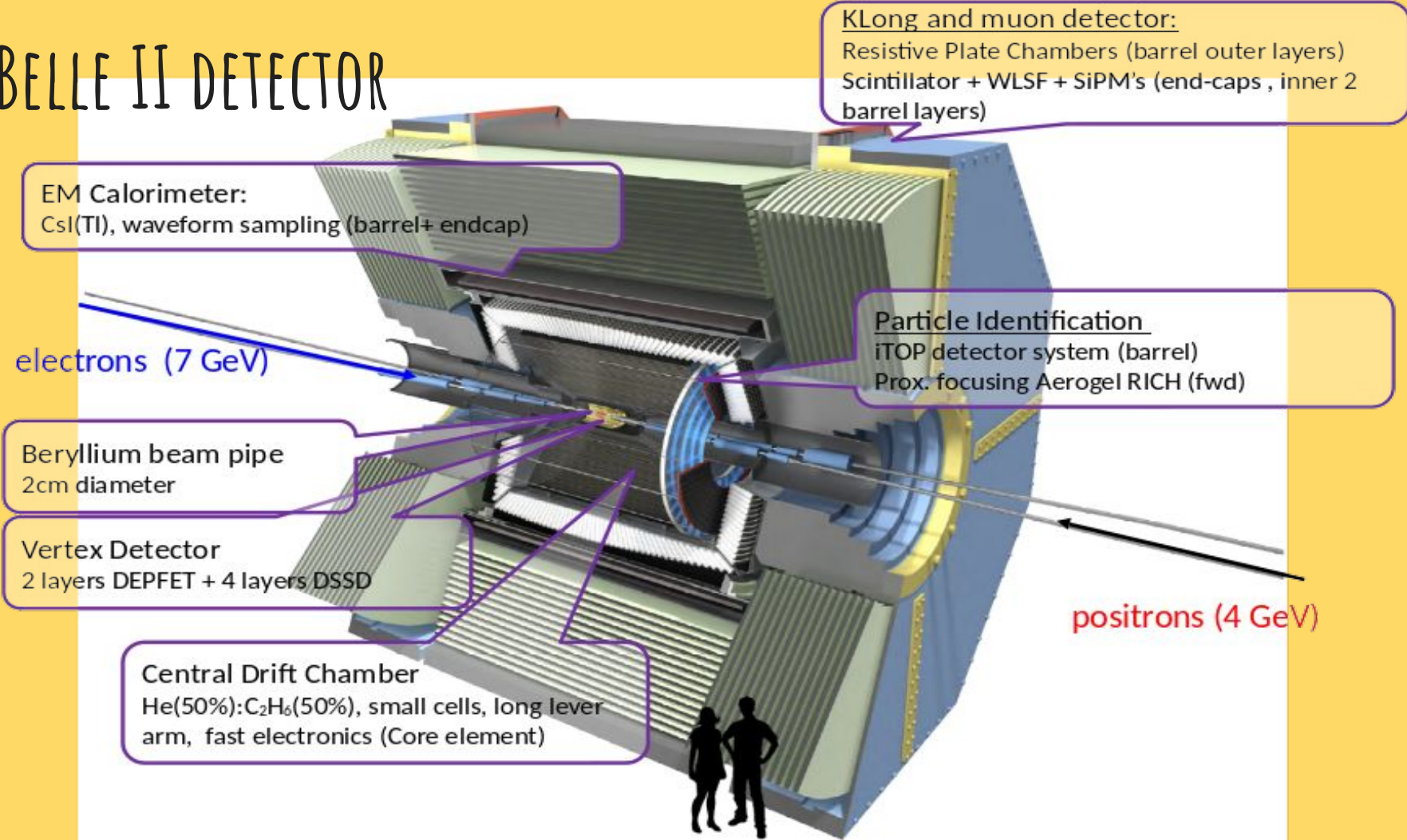


$$e^+e^- \rightarrow \gamma^* \rightarrow B\bar{B}$$

BELLE II:  
DISTINGUIRE LE  
PARTICELLE  
ITOP



# BELLE II DETECTOR



KLong and muon detector:  
Resistive Plate Chambers (barrel outer layers)  
Scintillator + WLSF + SiPM's (end-caps , inner 2 barrel layers)

EM Calorimeter:  
CsI(Tl), waveform sampling (barrel+ endcap)

electrons (7 GeV)

Beryllium beam pipe  
2cm diameter

Vertex Detector  
2 layers DEPFET + 4 layers DSSD

Central Drift Chamber  
He(50%):C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(50%), small cells, long lever arm, fast electronics (Core element)

Particle Identification  
iTOP detector system (barrel)  
Prox. focusing Aerogel RICH (fwd)

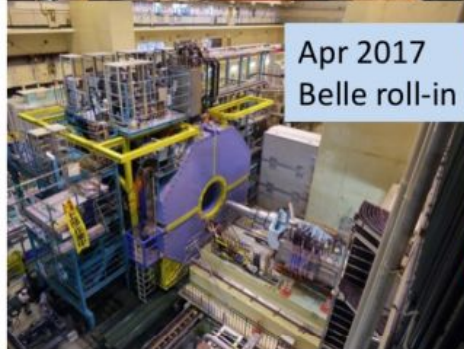
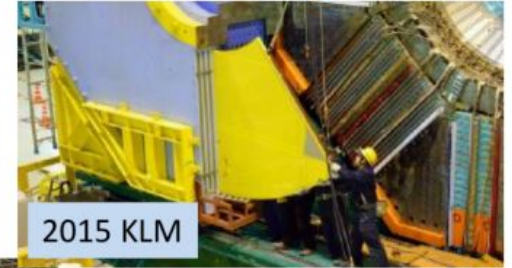
positrons (4 GeV)

# BELLE II

## Belle II and SuperKEKB Upgrade History

- 2010, Belle and KEKB operation completed
- Started upgrade to Belle II and SuperKEKB

### Sub-detector installation

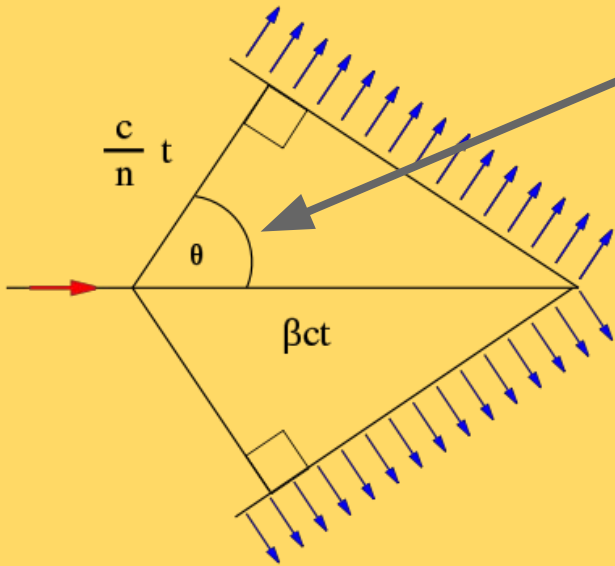


# DISTINGUERE LE PARTICELLE (PID): K E $\pi$

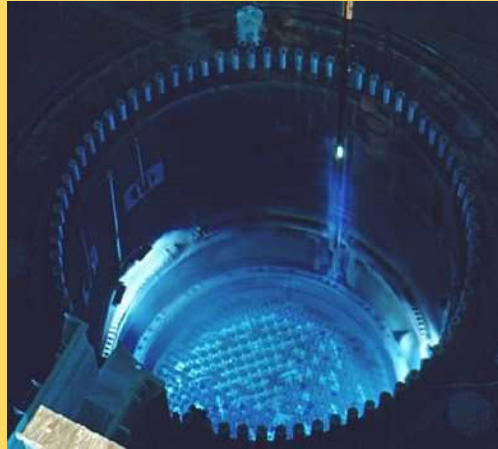
- $\pi$ :  $m=139$  MeV       $\tau=2.6E-8$  s
- K:  $m=493$  MeV       $\tau=1.2 E-8$  s
  - $c\tau\sim 8$  (4) m!
  - Sono quasi stabili vista la dimensione del mio rivelatore
- Come le distingo?
  - lo vedo tracce cariche che curvano nel campo magnetico
  - $p[\text{GeV}] = 0.3 B[\text{T}] R[\text{m}]$
- $p=mv$ : se voglio misurare  $m$ , posso misurare la  $v$ .
- **Effetto Cherenkov**

# EFFETTO CHERENKOV

- Nel vuoto, la luce viaggia a velocità:  $c$ .
- Nella materia, viaggia a velocità:  $c/n$  (indice di rifrazione)  $< c$
- Se io ho una particella carica che viaggia in un mezzo con velocità superiore a  $c/n$ , ho l'analogo ottico del bang supersonico



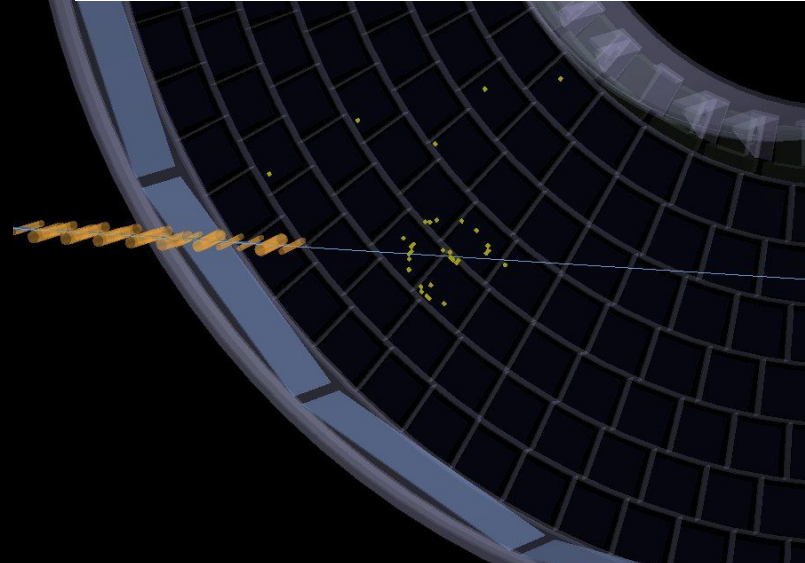
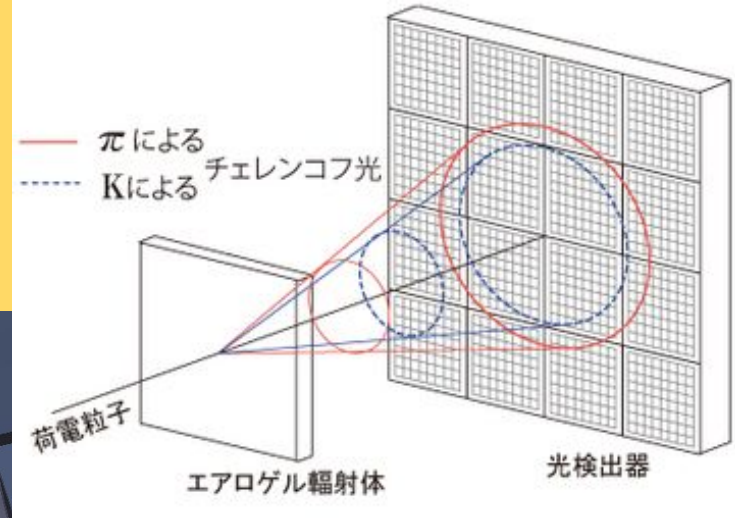
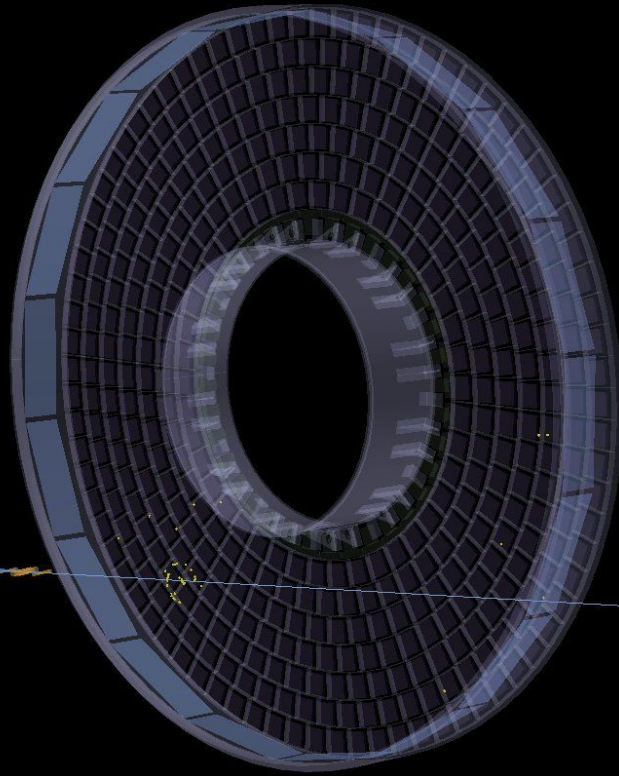
- L'angolo  $\theta$  dipende dalla velocità  $\beta$  della particella carica.



Produce una bellissima (e inquietante) luce blu nella vasca di raffreddamento delle centrali nucleari

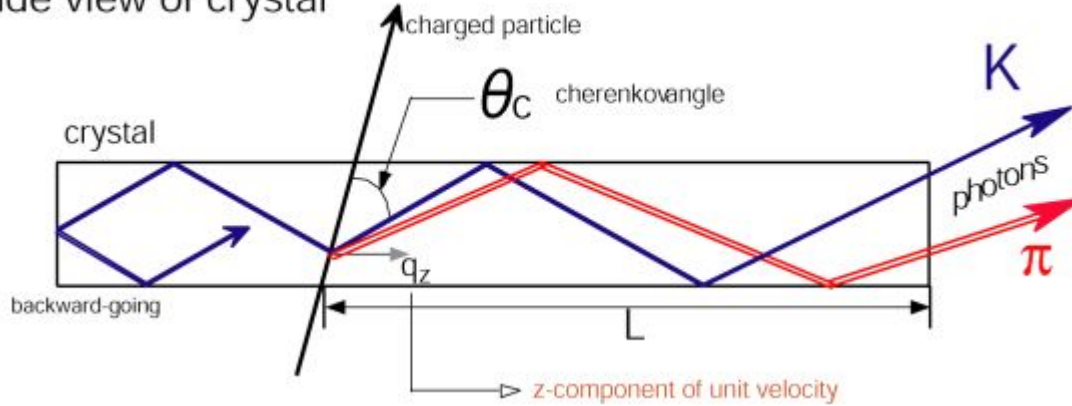


# COME MISURO L'ANGOLO CHERENKOV?

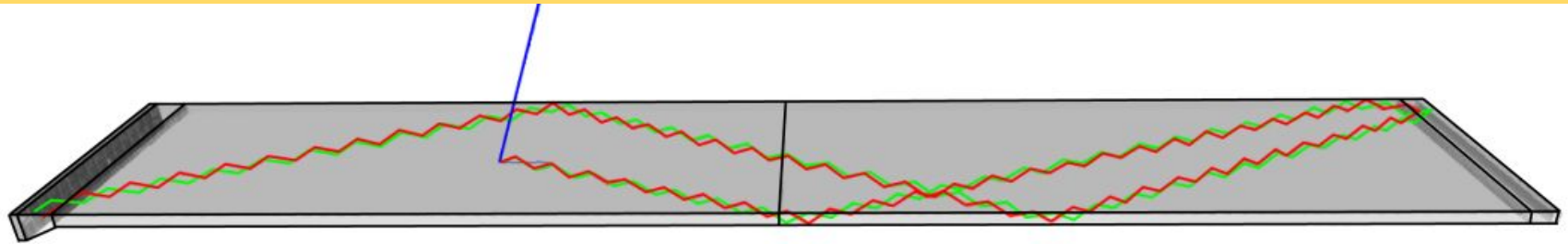


# OPPURE MISURANDO IL TEMPO

Side view of crystal



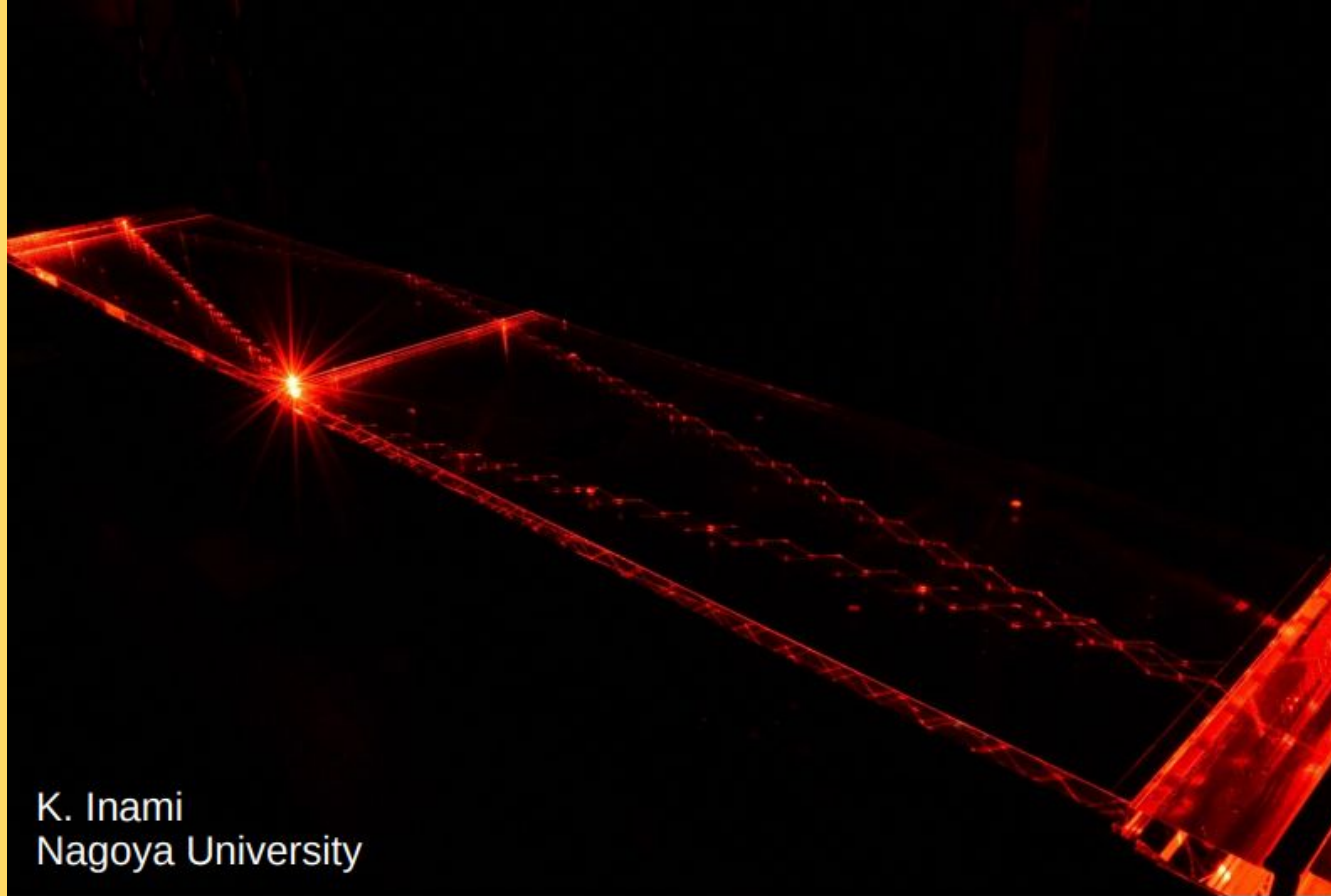
***A seconda dell'angolo cherekov, la luce prodotta da  $\pi$  e un  $K$  che entrano nello stesso punto escono dalla lastra in punti e tempi diversi. Posso distinguerli***



MCP-PMTs

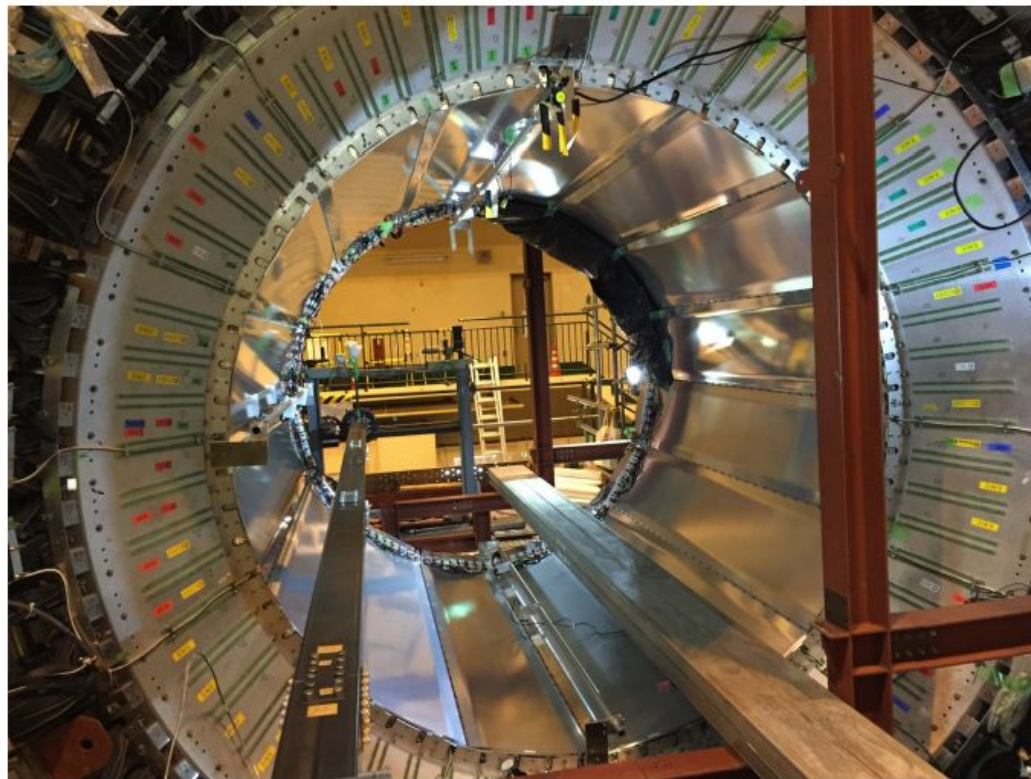
Quartz radiator

Mirror



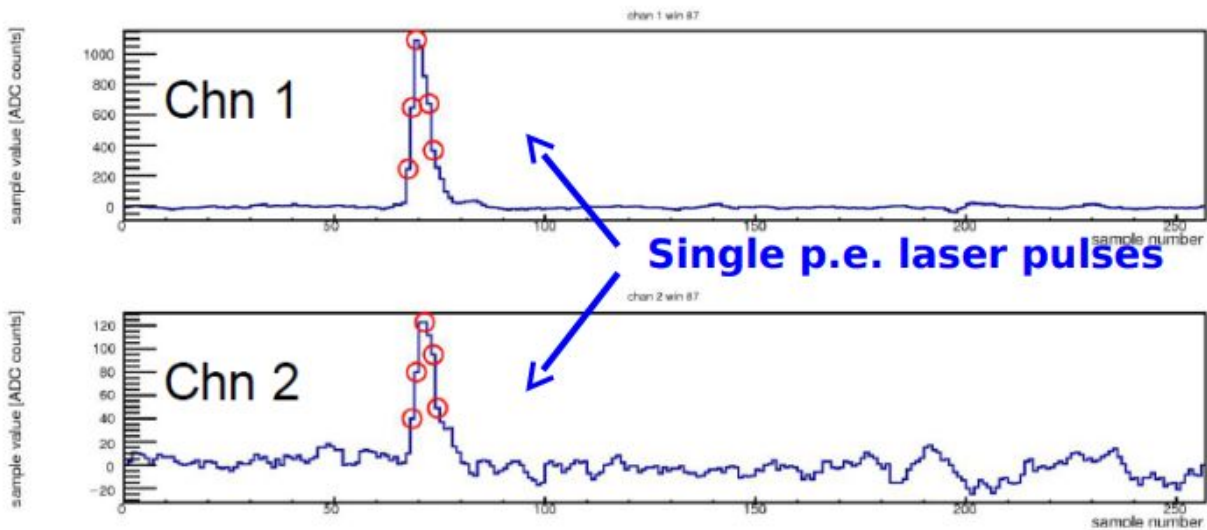
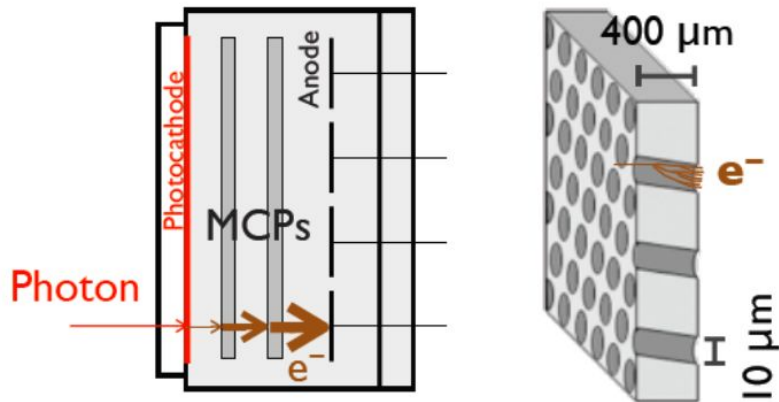
La luce cherenkov prodotta dentro il cristallo rimane dentro per riflessione totale.

# FASE DI INSTALLAZIONE

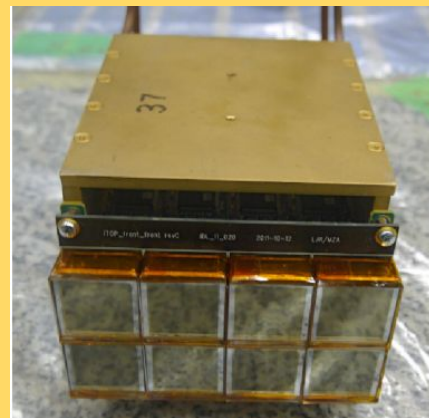


# COME E' FATTO UN FOTONE?

Il segnale elettronico di un fotone su due canali del MCP-PMT

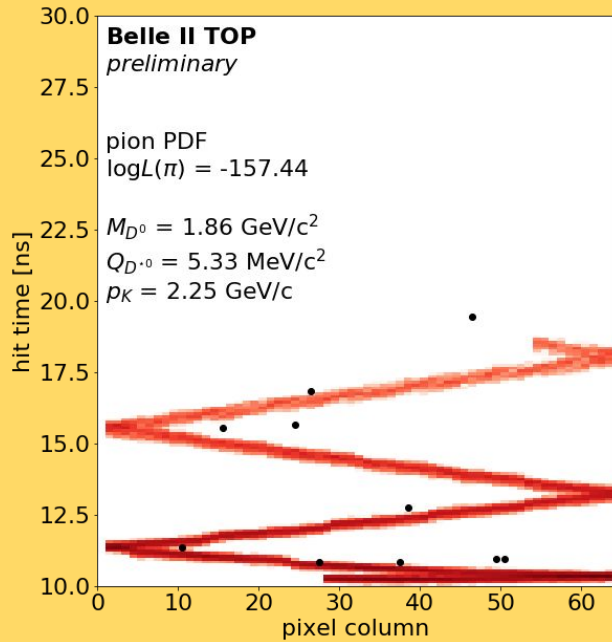


Micro-Channel-Plate  
PhotoMultiplier Tube

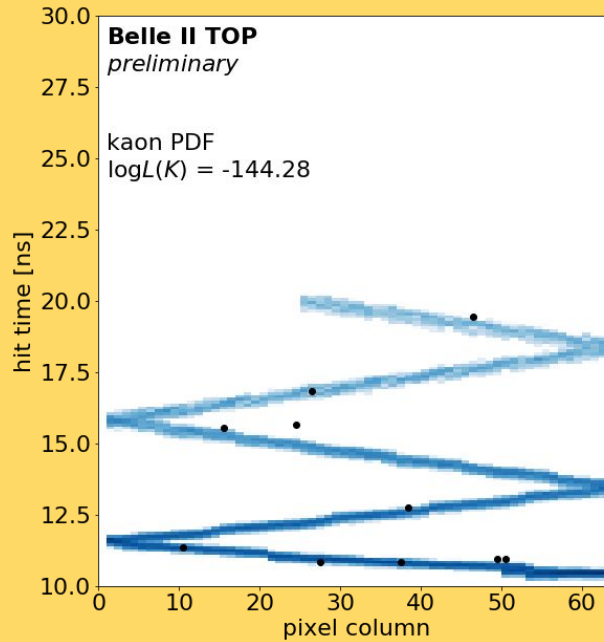


# UN ESEMPIO: PARTICELLA DI MOMENTO 2.25 GeV/c

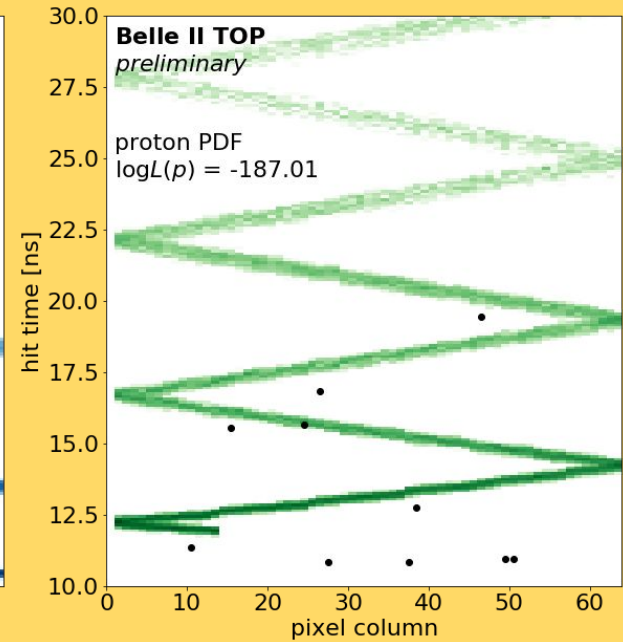
Ipotesi Pione: NO



Ipotesi Kaone: SI



Ipotesi Protone: NO



- Pallotti: fotoni cherenkov rivelati
- Righe colorate: pattern previsto per Pione/K/protone

# TIME DEPENDENT CP VIOLATION



STEFANO LACAPRARA, SEI SPRITZ MENO FACILI, PADOVA, 20 MAGGIO 2019

# INTERFERENZA DELLA LUCE

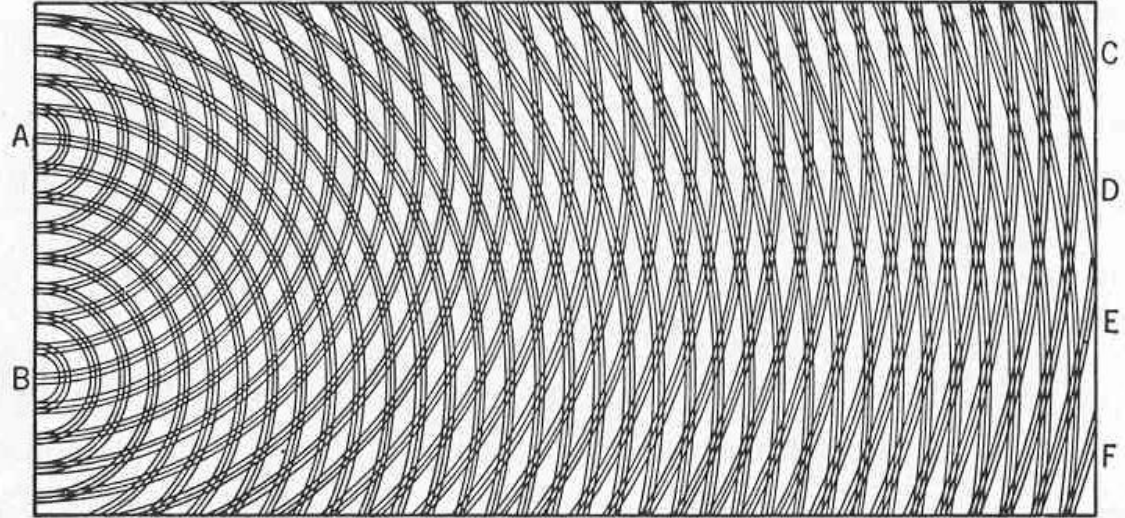
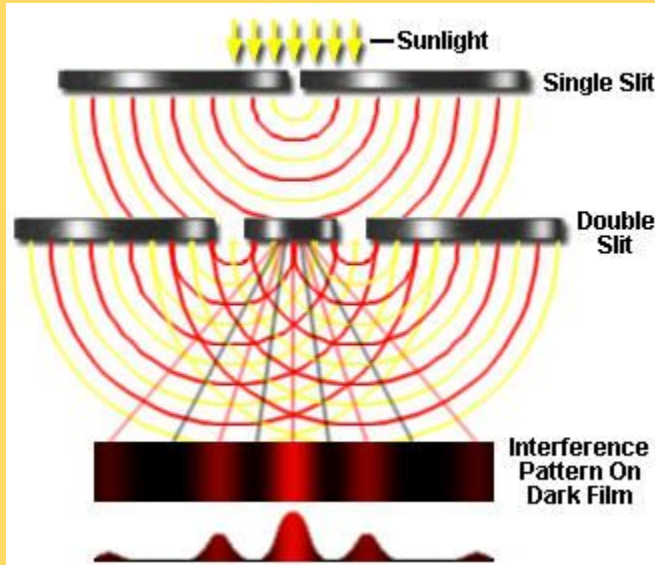


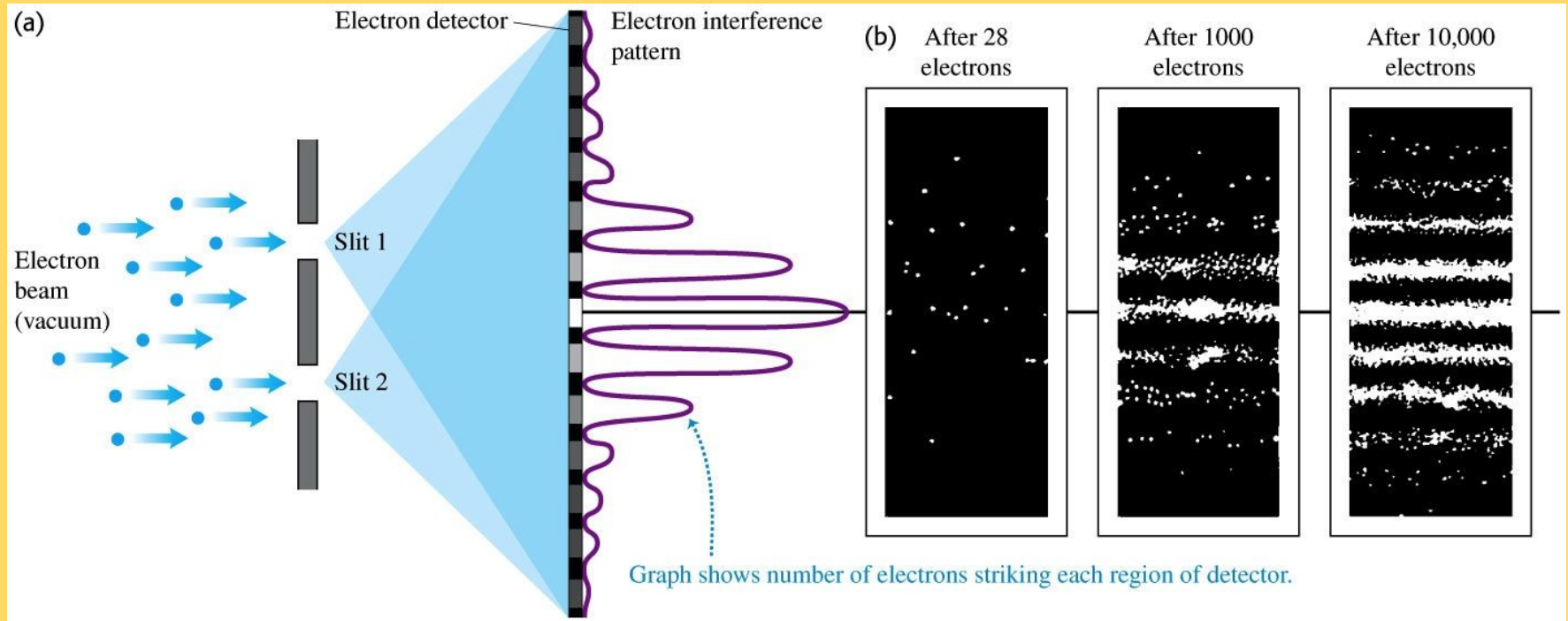
FIG. 1



# INTERFERENZA QUANTISTICA

Figura di interferenza per due fenditure per elettroni singoli.

Non c'è modo di spiegarlo classicamente, sono con mecc. quantistica.

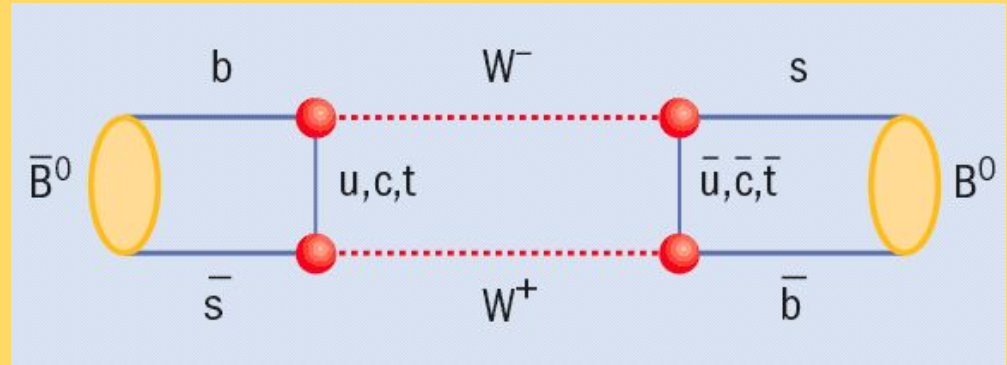
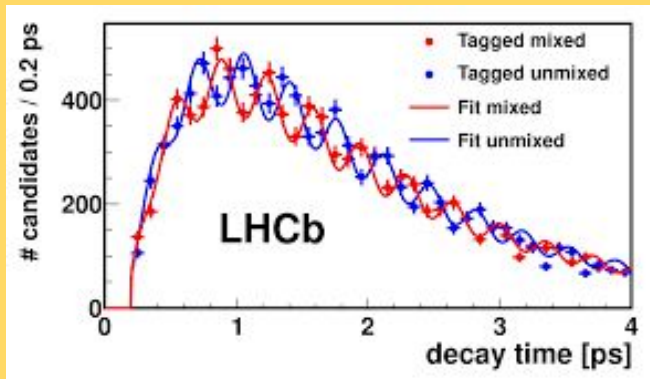


# OSCILLAZIONI DI SAPORE (MESONI B)

- Un notevole e utile fenomeno

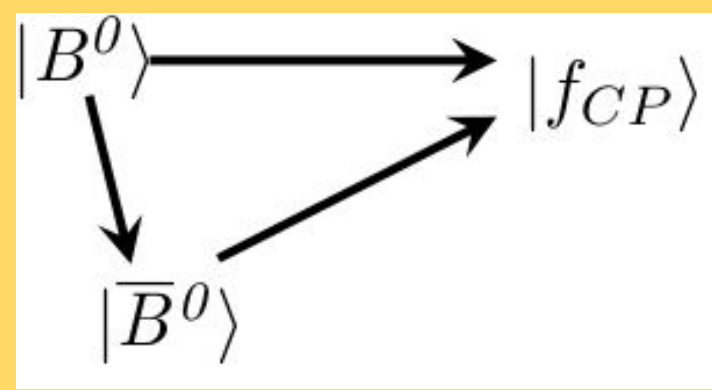
Quando produco un  $B^0$ , se aspetto un po' (qualche ps) c'è una grande probabilità che il  $B^0$  sia diventato un anti  $B^0$

- E' un tipico effetto quantistico
- Succede anche con i  $K^0$  e i  $D^0$  (effetto piccolo)
- Anche con i neutrini!



# INTERFERENZA TRA $B^0$ E ANTI- $B^0$

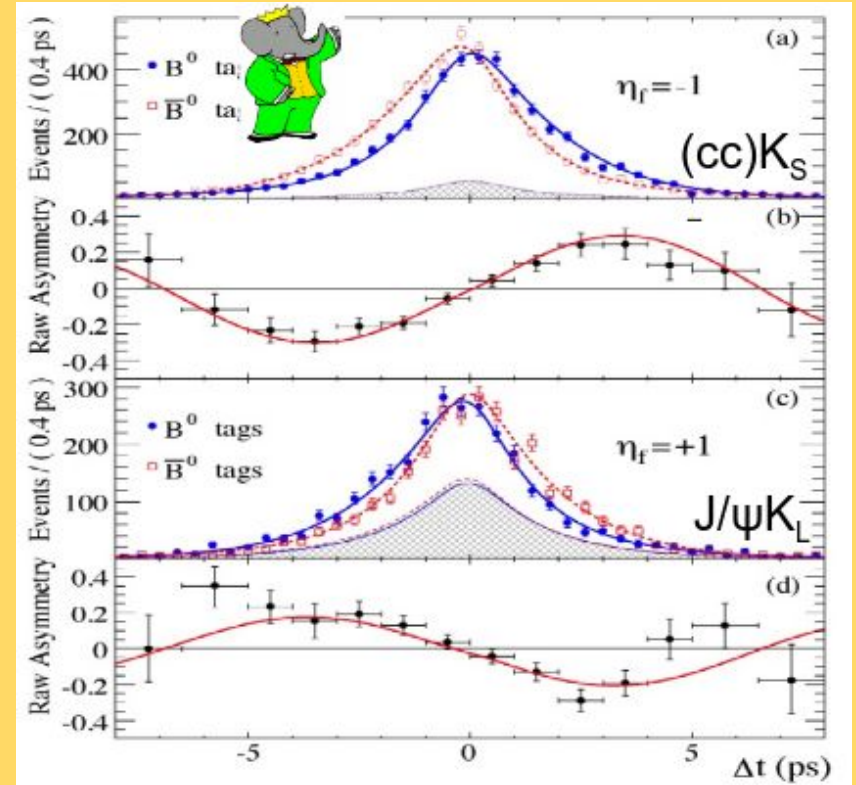
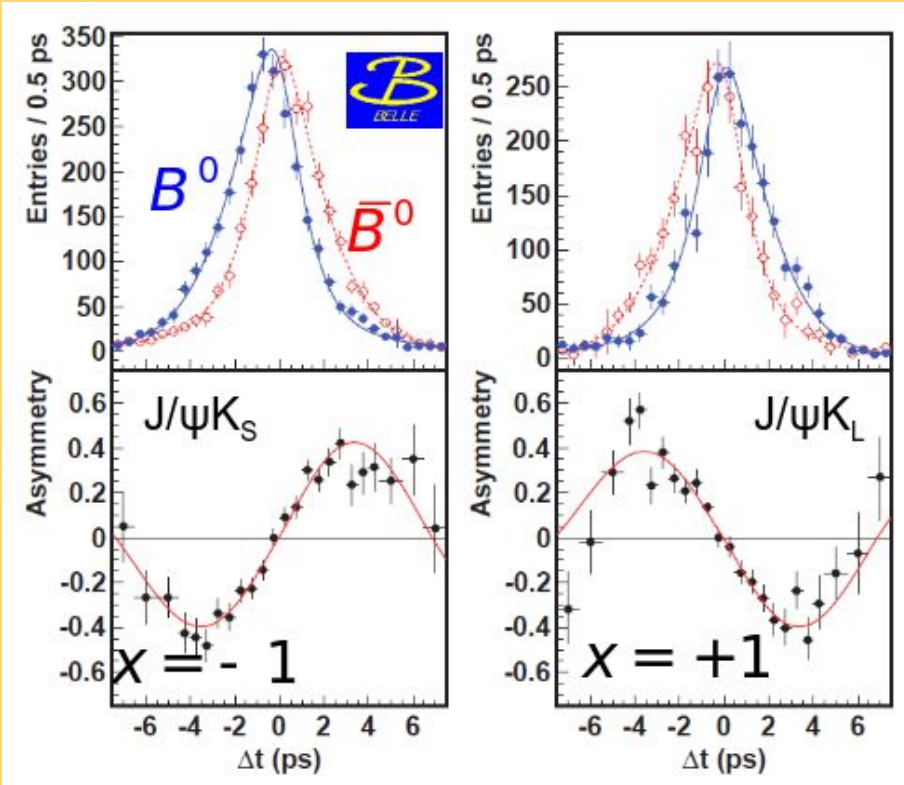
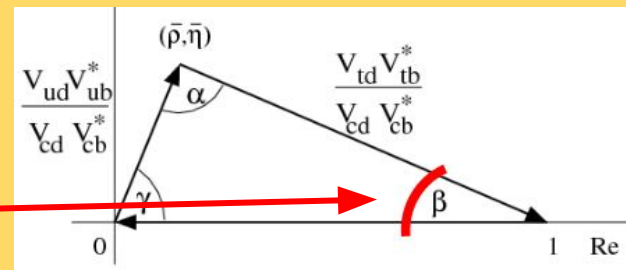
- Osservo il decadimento di  $B^0$ (anti- $B^0$ ) in stato finale  $X$
- 
- Lo stato finale lo posso raggiungere tramite:
  - $B^0 \rightarrow X$
  -
- Oppure prima avere una oscillazione  $B^0 \rightarrow$  anti- $B^0$ 
  - E poi anti- $B^0 \rightarrow X$
  -



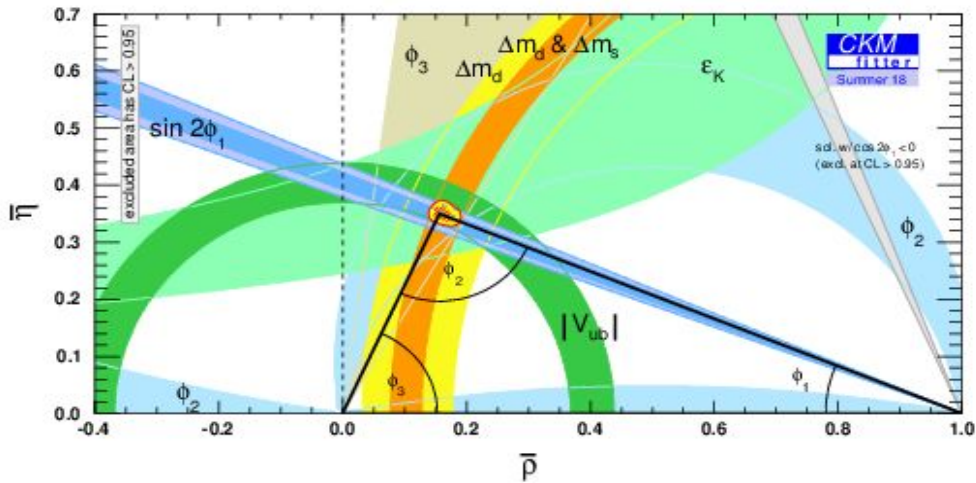
- **Ho interferenza tra i due processi, come nel caso delle due fenditure**
  - **Se CP e' violata, allora la fase e' diversa, e vedo una figura di interferenza.**

# EVIDENZA VIOLAZIONE CP NEI MESONI B

Misura di un angolo del triangolo CKM



# TRIANGOLO DI UNITARIETA': MISURE ATTUALI



Tante misure, indipendenti, tutte in accordo.

Tutta la violazione di CP nello SM viene dalla matrice CKM.



MA ALLORA ABBIAMO SPIEGATO PERCHE' L'UNIVERSO E'  
DOMINATO DALLA MATERIA? **No.**

$$\eta \equiv \frac{n_b - n_{\bar{b}}}{n_\gamma} = (6.21 \pm 0.16) \times 10^{-10}$$

$$\left(\frac{n_b}{n_\gamma}\right)^{\text{SM}} \propto \frac{J_{CP}}{T_c^{12}} \sim 10^{-20}$$

**Misura sperimentale da WMAP**

**Previsione teorica KM**

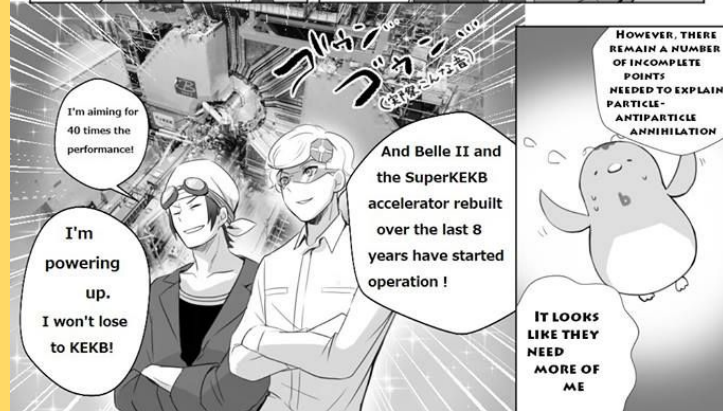
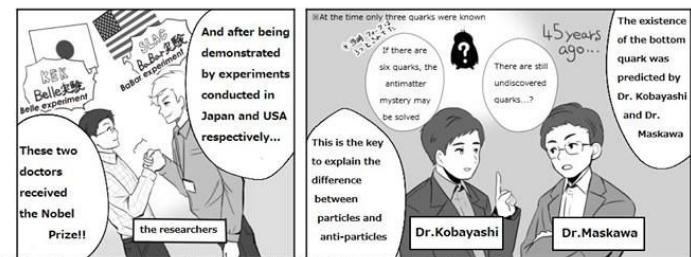
La violazione di CP nella matrice CKM dello SM, fornisce una asimmetria materia-antimateria nell'universo attuale che e'  $10^{10}$  piu' piccola di quella osservata.

CI DEVE ESSERE QUALCOS'ALTRO.

FORSE LO SCOPRIRA' BELLE II



# OVVIO CHE C'E' UN MANGA: E' IN GIAPPONE!





# DIAGRAMMI A PINGUINO

## THE PHENOMENOLOGY OF THE NEXT LEFT - HANDED QUARKS

J. Ellis, M.K. Gaillard <sup>\*</sup>), D.V. Nanopoulos <sup>+</sup>) and S. Rudaz <sup>''</sup>)

CERN - Geneva

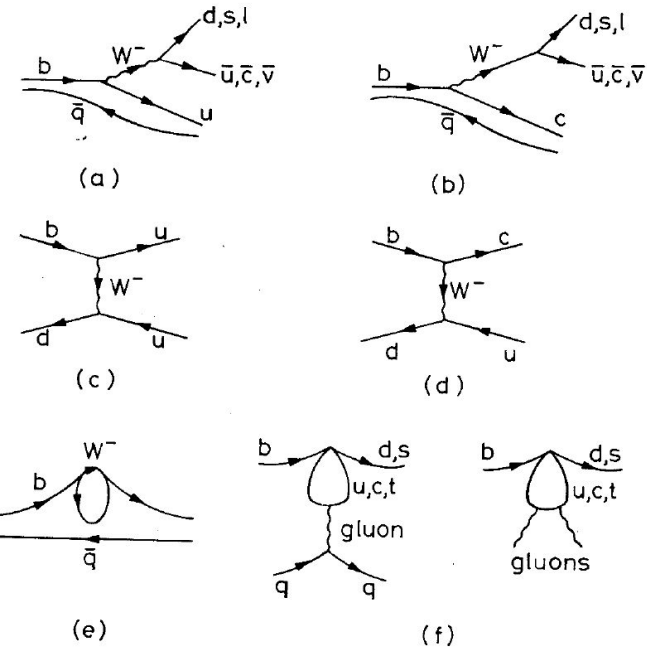


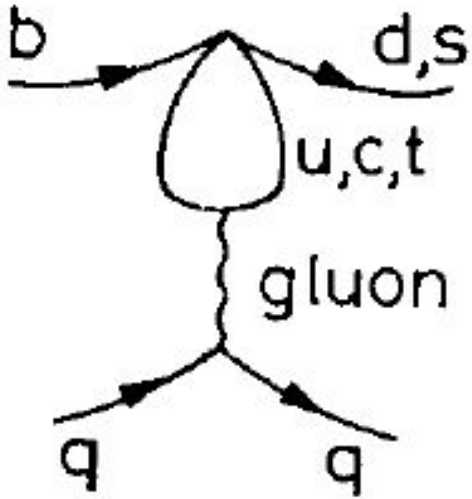
Fig. 2

### 1.1 History of Penguins

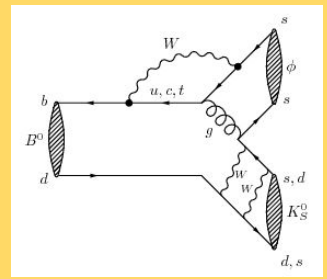
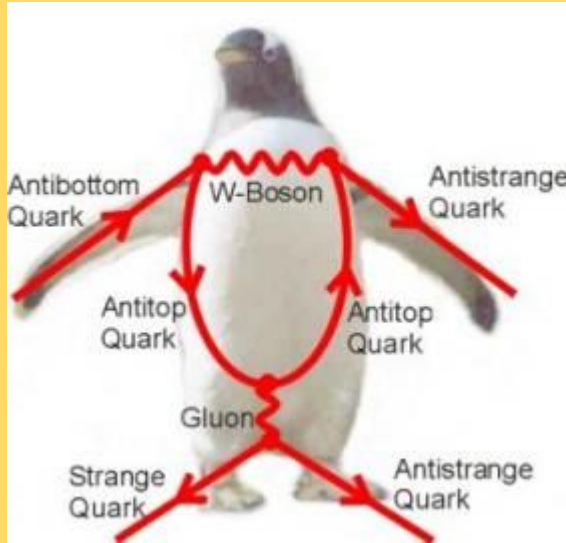
The curious name penguin goes back to a game of darts in a Geneva pub in the summer of 1977, involving theorists John Ellis, Mary K. Gaillard, Dimitri Nanopoulos and Serge Rudaz (all then at CERN) and experimentalist Melissa Franklin (then a Stanford student, now a Harvard professor). Somehow the telling of a joke about penguins evolved to the resolution that the loser of the dart game would use the word penguin in their next paper. It seems that Rudaz spelled Franklin at some point, beating Ellis (otherwise we might now have a detector named penguin); sure enough the seminal 1977 paper on loop diagrams in  $B$  decays [3] refers to such diagrams as penguins. This paper contains a whimsical acknowledgment to Franklin for "useful discussions" [4].

# PINGUINI??

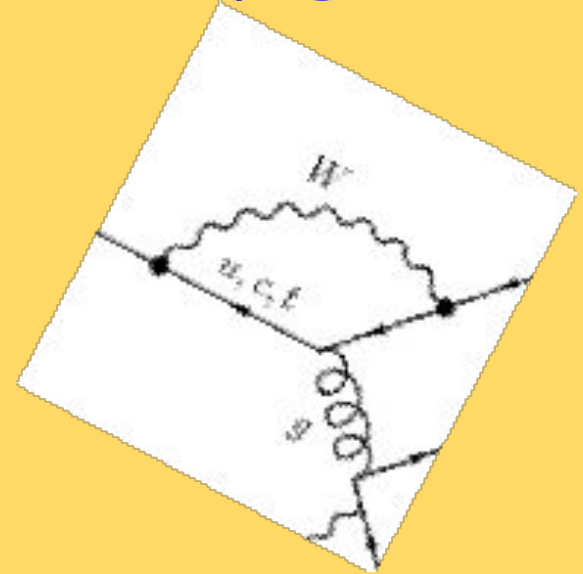
The original penguin:



A real penguin:



Our penguin:



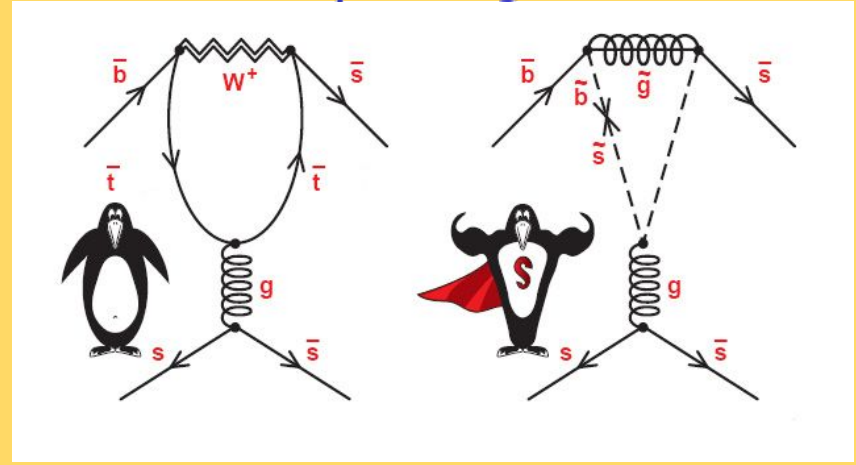


*Dead Penguin*



*Flying Penguin*

*Super Penguin:*



*Penguin T-shirt:*