A detailed woodcut-style illustration of a landscape. In the foreground, a river flows through a patchwork of fields with various textures and patterns. Several birds, including swans and ducks, are shown in flight across the sky. In the background, there are buildings, a church, and a windmill, suggesting a village or town. The overall style is intricate and detailed, typical of 19th-century woodcut art.

Asimmetria materia antimateria

dall'Universo alle interazioni tra quarks

Diego Tonelli – INFN Trieste

Le forze della Natura, Trieste, Salone degli Incanti, 18 ottobre 2020

“Perchè nell’Universo
c’è qualcosa invece di
niente?”

“Perchè nell’Universo
c’è qualcosa invece di
~~niente?~~”
luce

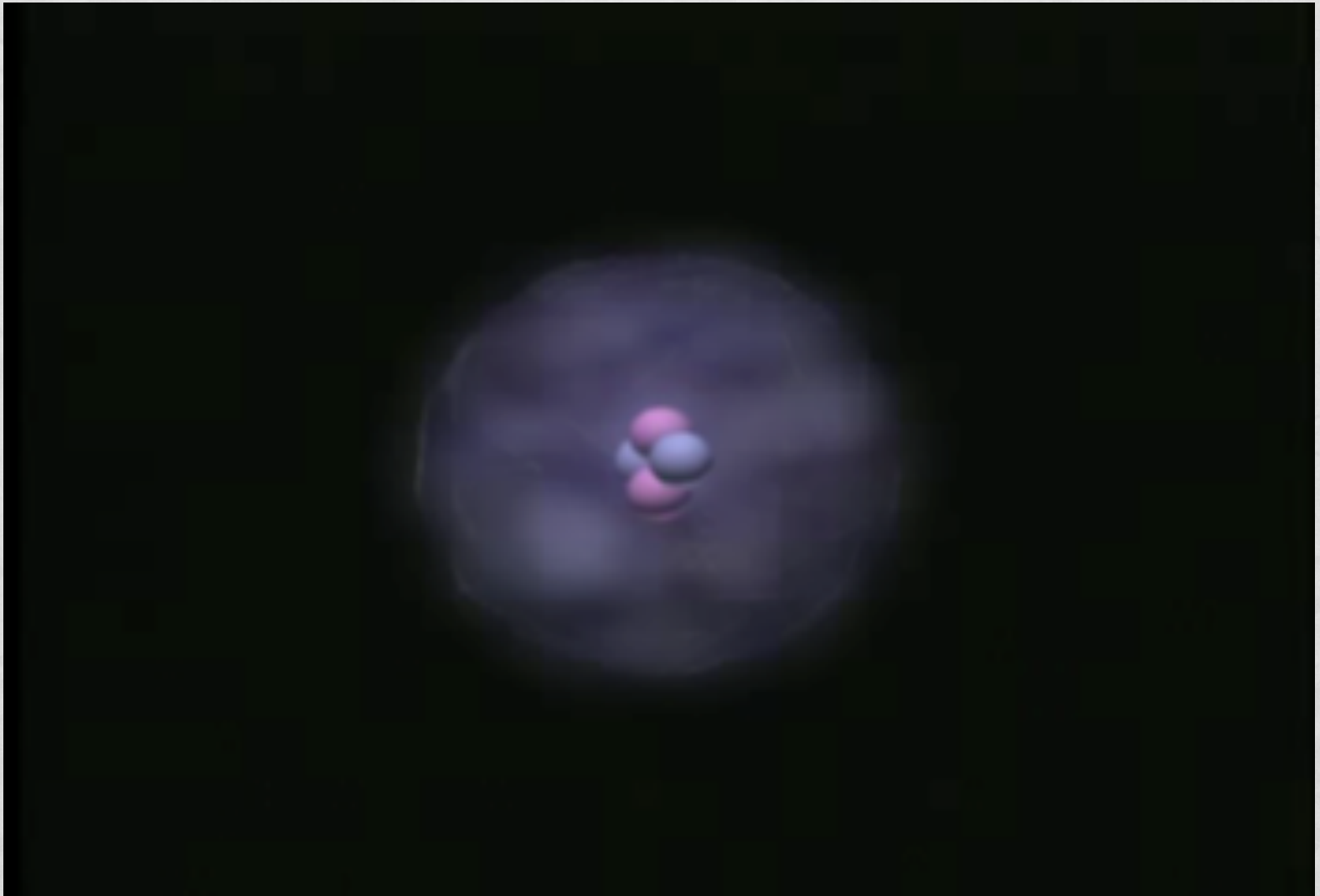
“Perchè nell’Universo
c’è qualcosa invece di
~~niente?”~~”

~~luce~~

radiazione

La materia

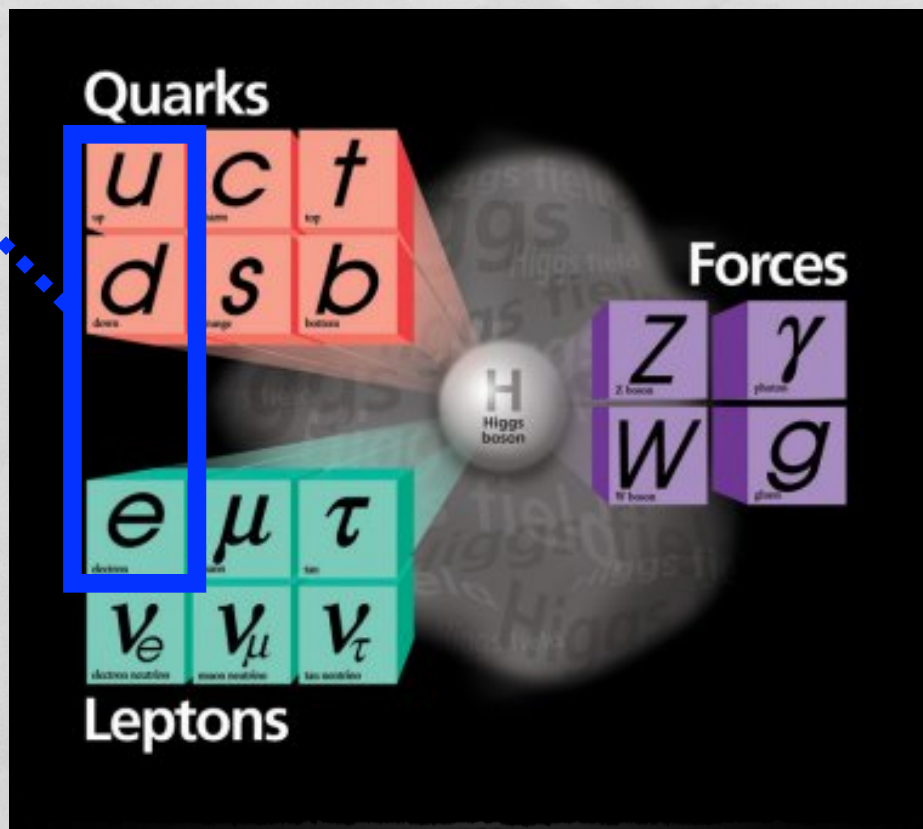
Costituenti fondamentali



Atomo di elio: 2 elettroni, 2, protoni e 2 neutroni. Dimensioni relative *non* in scala

La materia come la conosciamo

Bastano queste tre,
e le loro interazioni a
formare la materia
conosciuta



Seminario di L.Ubaldi
- 15 ottobre

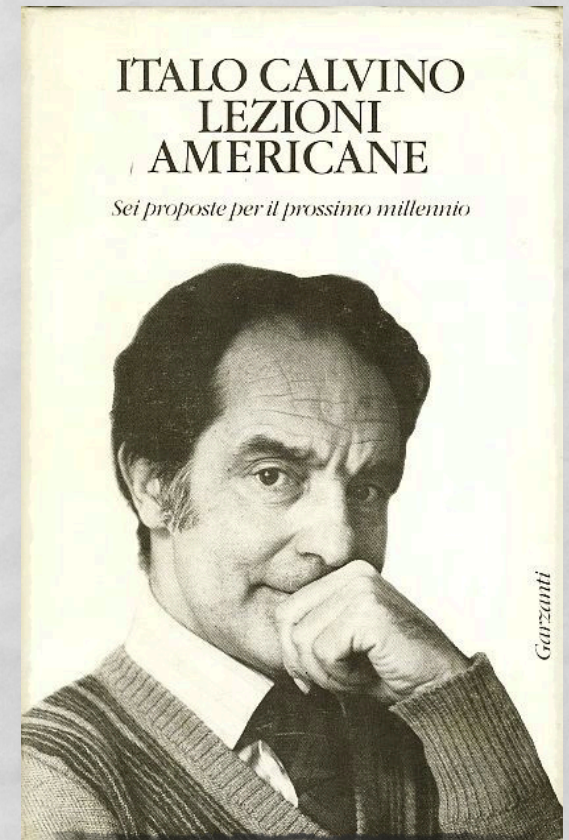
Stiamo parlando di dimensioni straordinariamente piccole.

Qualcuno ha detto che sulla punta di un ago ci possono stare 5 000 000 000 000 atomi di idrogeno. I quark sono stimati essere miliardi di volte più piccoli...

Date un'occhiata qui: <https://htwins.net/scale2/>

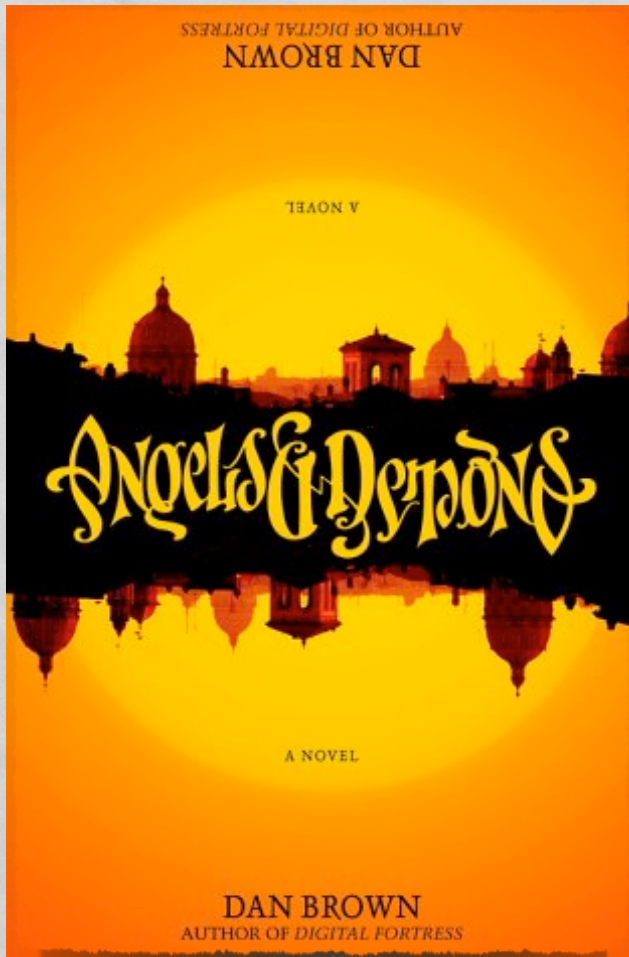
Oggi ogni ramo della scienza sembra ci voglia dimostrare che il mondo si regge su entità sottilissime: come i messaggi del DNA, gli impulsi dei neuroni, i quarks, i neutrino vaganti nello spazio dall'inizio dei tempi [...]

Non è una melanconia compatta e opaca, dunque, ma un velo di particelle minutissime d'umori e sensazioni, un pulviscolo d'atomi come tutto ciò che costituisce l'ultima sostanza della molteplicità delle cose



L'antimateria

Antimateria



Nel momento stesso in cui materia e antimateria vengono in contatto, tutta la loro massa si trasforma in energia: questo significa che è possibile liberare una quantità enorme di energia senza produrre inquinanti chimici o radioattivi. Basterebbero quantità minime di antimateria per rifornire di energia una città come New York.

Dal contatto fra un grammo di antimateria e un grammo di materia si sprigiona la stessa quantità di energia di una bomba atomica da 20 chiloton, come quella sganciata su Hiroshima.

Impossibile fare a meno di chiedersi se questa sostanza altamente volatile salverà il mondo o verrà usata per creare l'arma più letale che sia mai esistita.

La visione – A. Schuster 1898

AUGUST 18, 1898]

NATURE

367

LETTERS TO THE EDITOR

[The Editor does not hold himself responsible for opinions expressed by his correspondents. Neither can he undertake to return, or to correspond with the writers of, rejected manuscripts intended for this or any other part of NATURE. No notice is taken of anonymous communications.]

Potential Matter.—A Holiday Dream.

WHEN the year's work is over and all sense of responsibility has left us, who has not occasionally set his fancy free to dream

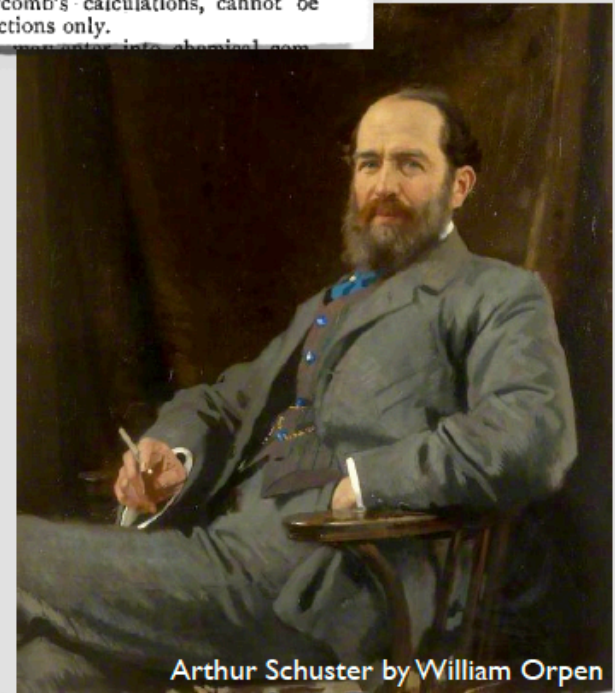
tional velocity of our solar and of many stellar systems, which cannot be self-generated. Unless we threw our laws of dynamics overboard, or imagine the rotation to have been impressed by creation, we must conclude that some outside body or system of bodies is endowed with an equal and opposite angular momentum. What has become of that outside body, and how could it have parted company with our solar system, if attractive forces only were acting? Another unexplained fact is found in the large velocities of some of the fixed stars, which, according to Prof. Newcomb's calculations, cannot be explained by gravitational attractions only.

undistinguishable in fact from them until they are brought into each other's vicinity. If there is negative electricity, why not negative gold, as yellow and valuable as our own, with the same boiling point and identical spectral lines; different only in so far that if brought down to us it would rise up into space with an acceleration of 981 . The fact that we are not acquainted with such matter does not prove its non-existence; for if it ever

incipient worlds which our telescopes have revealed to us. Astronomy, the oldest and yet most juvenile of sciences, may still have some surprises in store. May anti-matter be commended to its care! But I must stop—the holidays are nearing their end—the British Association is looming in the distance; we must return to sober science, and dreams must go to sleep till next year.

Do dreams ever come true?

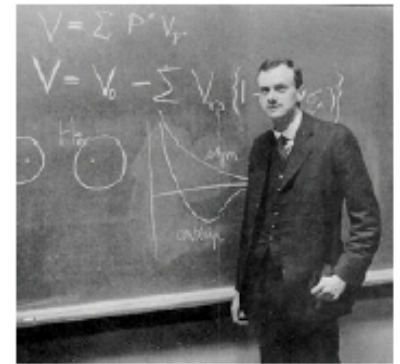
ARTHUR SCHUSTER.



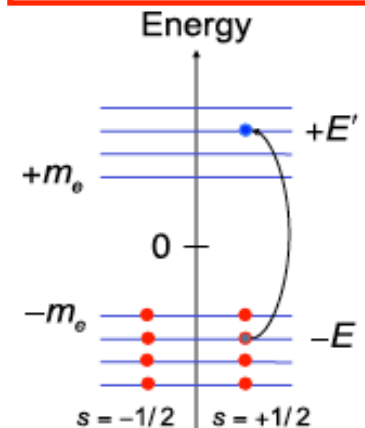
Arthur Schuster by William Orpen

La razionalità – P. Dirac 1928

- Meccanica quantistica e relatività (speciale), le due rivoluzioni della fisica del '900, erano fresche
- Trovare l'equazione del comportamento degli elettroni richiedeva di combinarle in una descrizione coerente
- Dirac ci riesce. Ma la matematica dice che metà delle soluzioni danno all'elettrone **energia E negativa** (tabù! Energia, o capacità di fare lavoro, è sempre positiva o zero)
- (Situazione analoga a vecchi ricordi di scuola: $x^2 = 4$. Ha due soluzioni, $x = 2$ e $x = -2$)
- Dirac ha fiducia nella sua matematica*: immagina le soluzioni ad energia negativa come una rappresentazione del vuoto: un mare di particelle ad energia negativa.
- **Quando una di queste fluttua diventando un elettrone, si crea una particella di carica opposta ma energia positiva (antiparticella)**



$$E = \pm \sqrt{\vec{p}^2 + m^2}$$

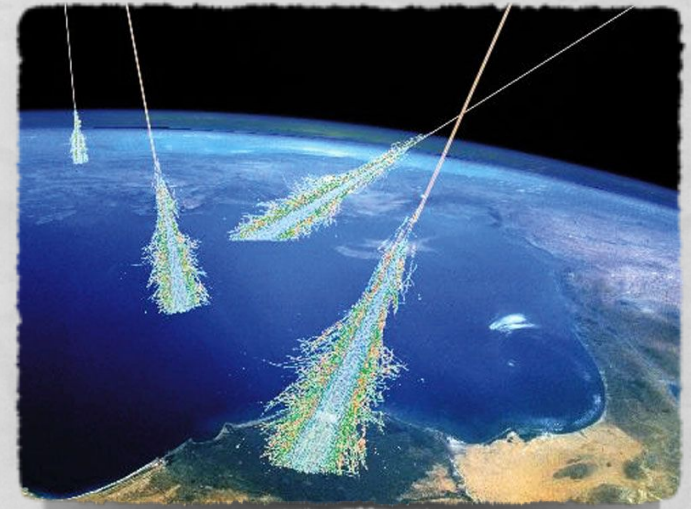


* "L'irragionevole efficacia della matematica nelle scienze naturali", E. Wigner 1960.

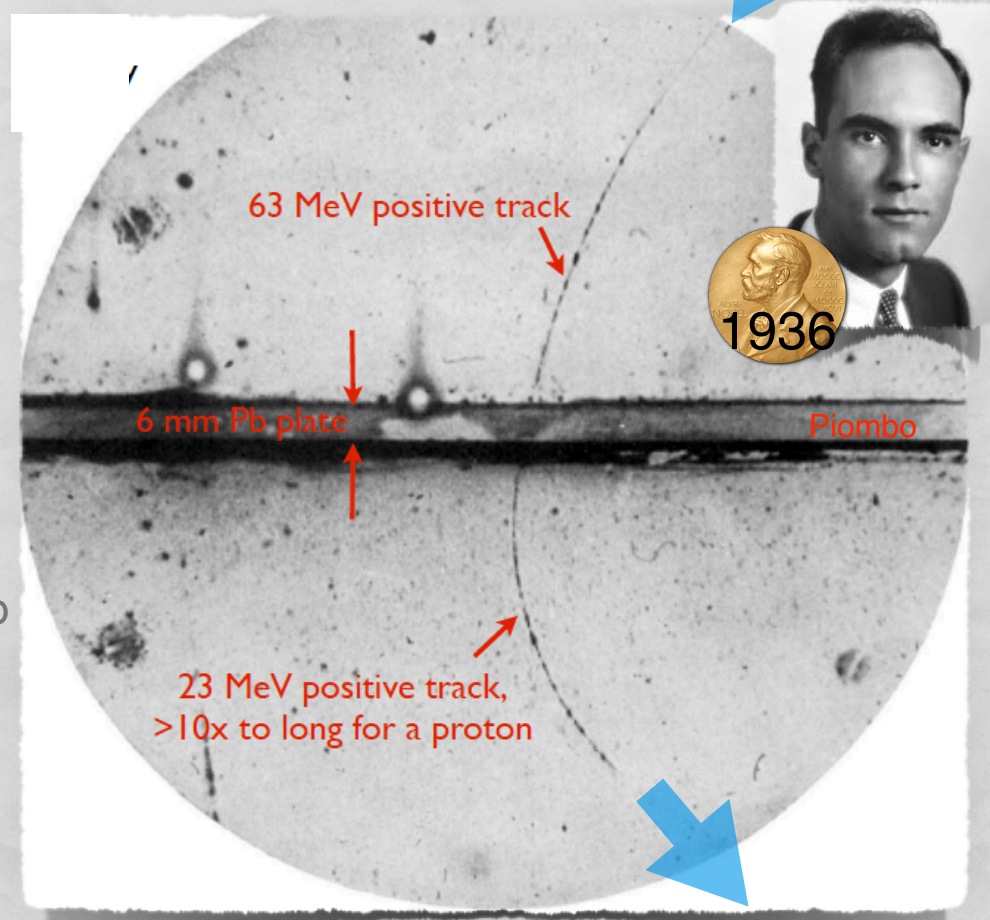


L'ingegno – C. Anderson 1932

- Carl Anderson studia i raggi cosmici sul Monte Pikes con una camera a nebbia.
- **Raggi cosmici:** particelle dallo spazio. La sorgente principale di particelle prima degli acceleratori.
- **Camera a nebbia:** contenitore di vapore supersaturo. Quando una particella carica lo attraversa eccita scie di condensazione nel vapore (come quelle degli aerei) che ne indicano la traiettoria e la massa.
- Se applico un campo magnetico al volume della camera, la traiettoria curva indicando il segno della carica e l'energia.



La scoperta



- Unica particella nota di carica + era il protone
- Però il protone sarebbe stato quasi completamente assorbito nel piombo, invece traccia continua dopo il piombo
- Scoperta del positrone (antielettrone).
- La prima particella di antimateria mai osservata.
- Solo 50 anni dopo la scoperta della prima particella di materia (protone, Goldstein)

PS: P. Blackett e G. Occhialini osservarono il positrone simultaneamente ad Anderson, ma ritardarono la pubblicazione dei risultati perdendo il Nobel (Blackett lo ricevette comunque nel 1948).

Cosa è? Entrano le simmetrie

L'antimateria è il simmetrico della materia rispetto ad un'operazione di inversione di carica.

Le simmetrie sono forse il congegno concettuale più profondo che sottende la nostra descrizione dei costituenti fondamentali e delle loro interazioni.

Ricorrono in Natura perchè sono `economiche' e ridondanti. Sono adatte ad una descrizione riduzionistica, perchè permettono di conoscere un fenomeno descrivendone solo una parte.



Materia ed antimateria sono collegate dalla simmetria di coniugazione di carica C, che scambia le cariche + con -. Però le interazioni nucleari deboli violano la simmetria C.

Una generalizzazione che vale per tutte le interazioni è la simmetria per trasformazioni CPT: coniugazione di carica, inversione delle posizioni delle particelle, e inversione della direzione del tempo.

Particelle sottoposte ad una trasformazione di simmetria CPT diventano antiparticelle con massa e vita media identiche, ma carica opposta.

Quando particelle ed antiparticelle interagiscono si `annichilano' in energia $E = mc^2$

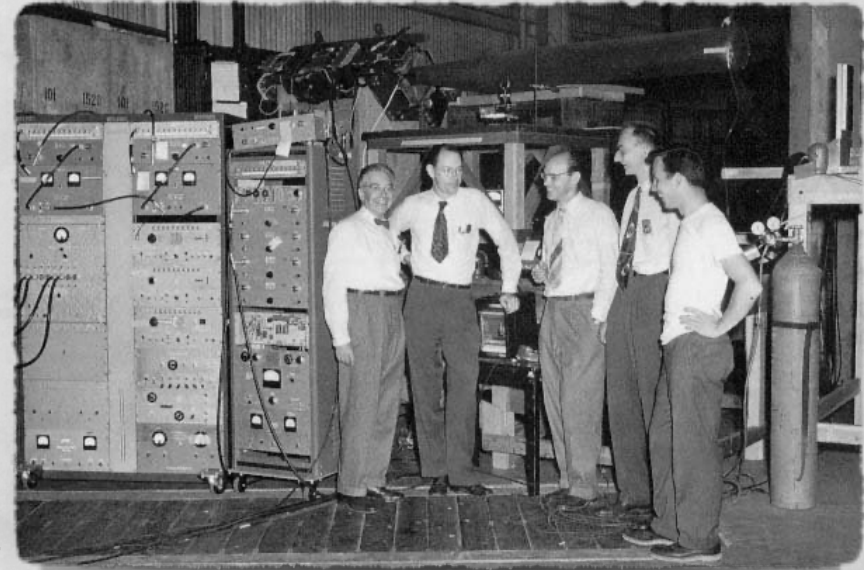
La fabbricazione – O. Chamberlain e E. Segrè

Scatta la caccia alle altre particelle di antimateria: antiprotone.

Molto più massivo del positrone. Difficile venga prodotto e rivelato nei raggi cosmici.

Bisogna aspettare 20 anni, e l'avvento della fisica degli acceleratori generosamente finanziata nel dopoguerra grazie al successo del progetto Manhattan: da dimensione artigianale a quella quasi industriale che rimane fino ad oggi.

Bevatron, 1955: protoni collidono su protoni producendo un'addizionale coppia protone-antiprotone.



PS: A questa scoperta è legata un'amara polemica. O. Piccioni aveva indicato a Segrè e Chamberlain varie soluzioni cruciali per l'esperimento ma essi non lo accettarono come collaboratore privandolo della soddisfazione del risultato e del Nobel

Antiatomi

La ricerca sull'antimateria è continuata

Nel 1996, al CERN vengono formati artificialmente i primi antiatomi.

Si studia se abbia davvero le stesse proprietà della materia. Per esempio la gravità della materia la attrae? O repelle?

CORRIERE DELLA SERA.it

APRE OGGI IL LABORATORIO DEL CERN

Ginevra, nella «fabbrica» dell'anti-materia i segreti del Big Bang
Gli atomi custoditi in una gabbia magnetica per evitare collisioni pericolose

Pagina 16
(10 agosto 2000) - Corriere della Sera



PRESSE

Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire
European Organization for Nuclear Research

Laboratoire Européen pour la Physique des Particules
European Laboratory for Particle Physics
Europäisches Laboratorium für Teilchenphysik
Laboratorio europeo per la fisica delle particelle

First atoms of antimatter produced at CERN

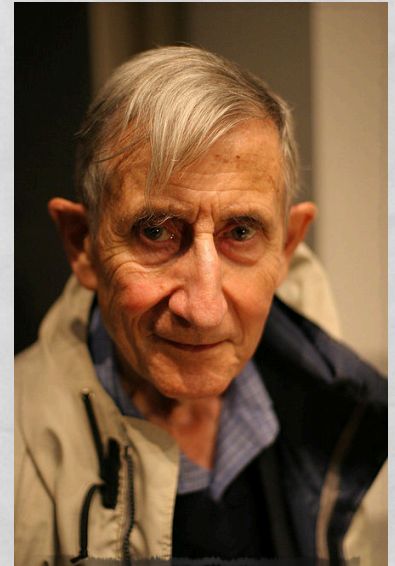


Bello...ma serve a qualcosa?

La ricerca di base risponde ad un'esigenza di conoscenza [ma anche di narcisismo ed úbris intellettuale e culturale...].

A volte permette anche di scoprire fenomeni ed inventare strumenti che possono essere applicati a migliorare la nostra vita (o, purtroppo, a peggiorarla).

La grande domanda del nostro tempo è come assicurarsi che la perenne rivoluzione scientifica porti effettivamente benefici a tutti, piuttosto che allargare il divario tra privilegiati e non privilegiati.

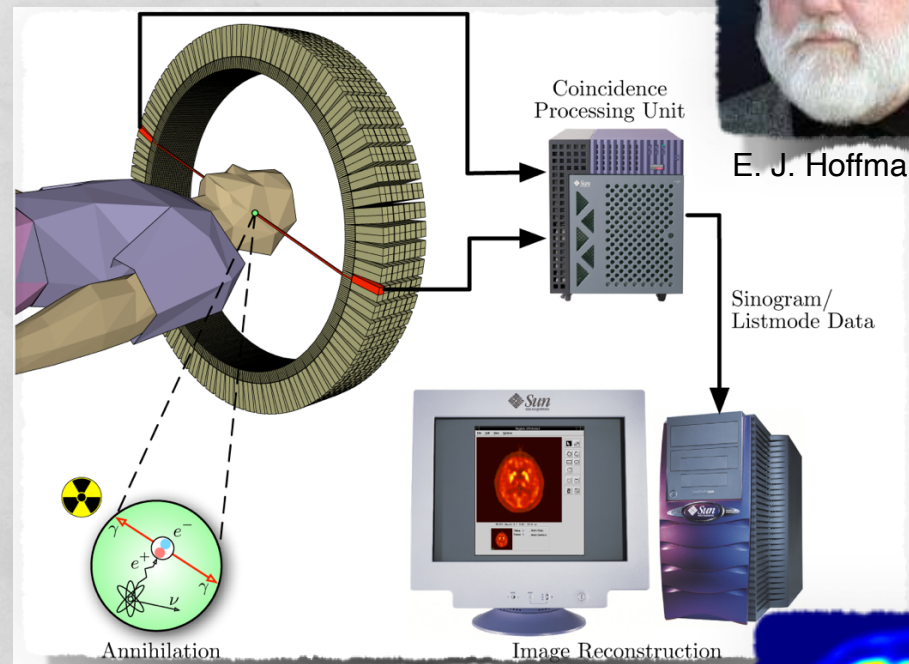


Freeman Dyson

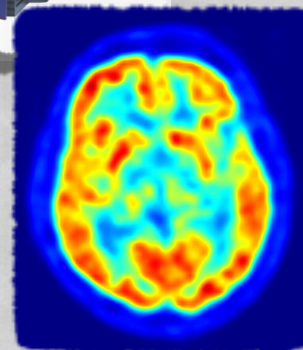
PET

Tomografia ad emissione di positroni — imaging funzionale

- Il paziente assume una sostanza che emette positroni innestata chimicamente su molecole di zuccheri
- Gli zuccheri sono assorbiti preferibilmente nelle cellule metabolicamente più attive, come quelle tumorali.
- I positroni emessi si annichilano con gli elettroni del corpo umano producendo due fotoni in direzioni opposte che vengono rivelati
- Se ne ricostruisce con precisione l'origine nei tessuti del paziente ottenendo una mappa delle aree di tessuto ricche di cellule tumorali



E. J. Hoffman



....a Trieste



ASUTs Informa

Ospedale di Cattinara, inaugurata la PET/TC

È stato inaugurato stamane, alla presenza delle autorità, il macchinario per PET/TC in dotazione alla SC Medicina Nucleare dell'Ospedale di Cattinara.

TP ASUTs - Ufficio Stampa
21 OTTOBRE 2019 14:39



I più letti di oggi

Banane

L'antimateria esiste anche molto vicino a noi



Le banane sono radioattive (infinitesimalmente).

Radioattività: perdita di energia di un nucleo atomico sotto forma di radiazione attraverso la disintegrazione spontanea (decadimento) dei suoi costituenti.

Banane ricche di potassio che produce antimateria dal decadimento di un protone in un neutrone. Ogni 1h15' circa, una banana emette un positrone.

Il potassio importante per la vita. Nel nostro corpo ce ne sono 100-150 gr. Anche noi ogni tanto produciamo antimateria..

Fact-checking...

- Cosa è vero e cosa finzione nel romanzo di Dan Brown?
- Si può immagazzinare l'antimateria?
- Se ne può fare una bomba?
- Ci sono ricerche segrete al CERN?

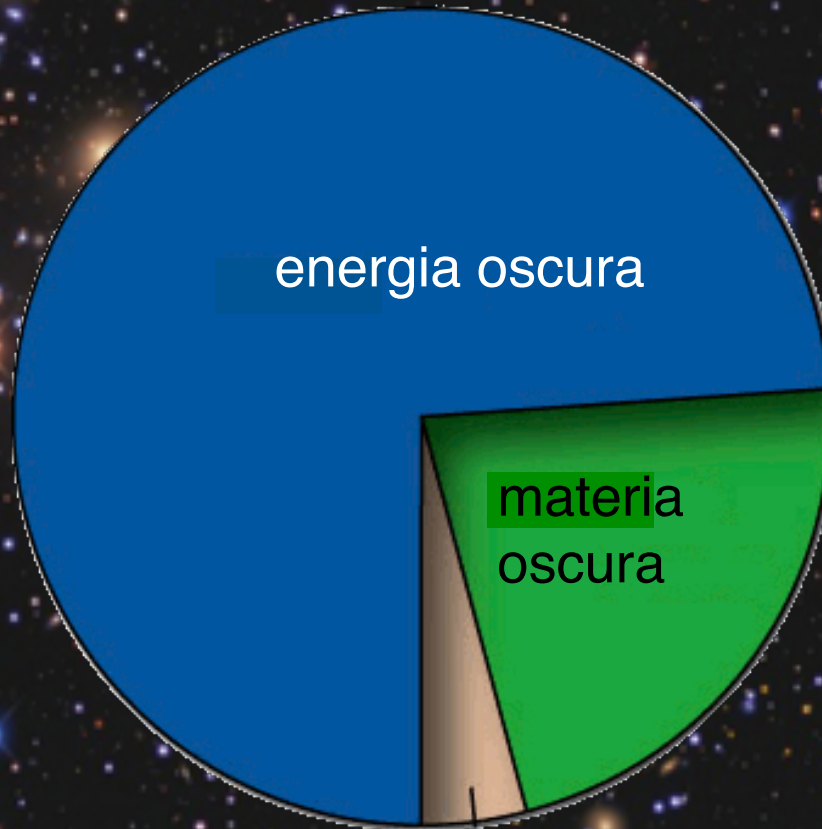


The screenshot shows the website for the movie 'Angels & Demons'. The header features the title 'ANGELS & DEMONS' with the tagline 'the science behind the story' and the CERN logo. Navigation links include 'Home', 'About CERN', 'FAQ', 'Video', and 'Antimatter'. A search bar is present. The main content area includes a paragraph about the movie plot, a 'Frequently Asked Questions' section with questions like 'Does CERN conduct secret research?' and 'How is antimatter contained?', and a 'Videos' section with links to related content. A movie poster for 'ANGELS & DEMONS' is also visible.

Risposte qui: <https://angelsanddemons.web.cern.ch/index.html>


L'asimmetria

L'universo come lo conosciamo



(poco)

Atomi, stelle, pianeti , noi...

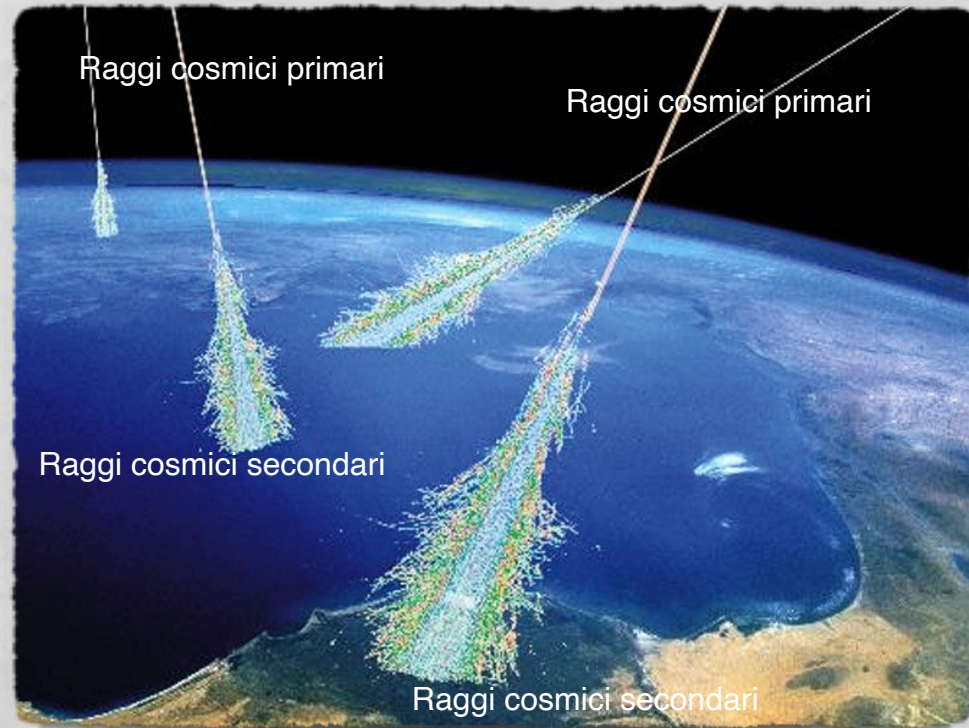


In quel 5%
di atomi....

non c'è traccia di antimateria

Come lo sappiamo?

- Se la Luna fosse di antimateria, i moduli lunari ed i loro equipaggi sarebbero spariti in una fiammata d'energia.
- Il vento solare/raggi cosmici che investono la Terra senza distruggerla dimostrano che il Sole e la nostra galassia sono di materia..



Sulla Terra non osserviamo i raggi cosmici primari, ma i prodotti delle loro collisioni con le particelle dell'atmosfera.

Un'esplorazione più precisa richiede di uscire dall'atmosfera

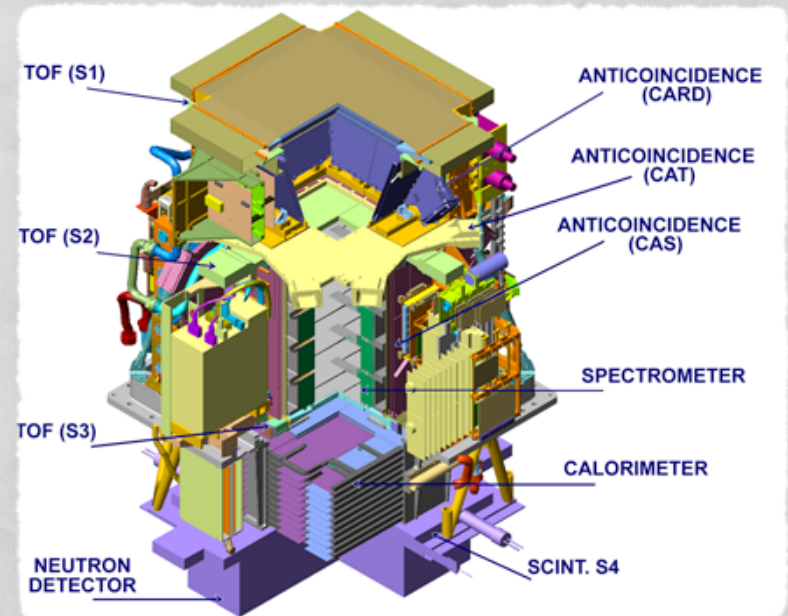
Particelle nello spazio

Inviando rivelatori di particelle nello spazio.

Sofisticate “macchine fotografiche” che intercettano i cosmici primari prima che entrino nell’atmosfera e ne registrano energia, carica, ecc.

Trovare elementi come l’anti-elio, sarebbe importante segno della presenza di antimateria.

O anche radiazione di annichilazione dovuta a materia e antimateria che venissero a contatto



Una branca relativamente giovane, a cavallo di astrofisica e fisica delle particelle cui molte scienziate e scienziati italiani, anche triestini, contribuiscono

Vedi anche seminari di F. Longo del 16 ottobre e di G. Cantatore 8 novembre

Finora...

Nessuna evidenza di antimateria
lassù.

Si continua a cercare...



E' un problema?



Big Bang* — G. Gamow 1948

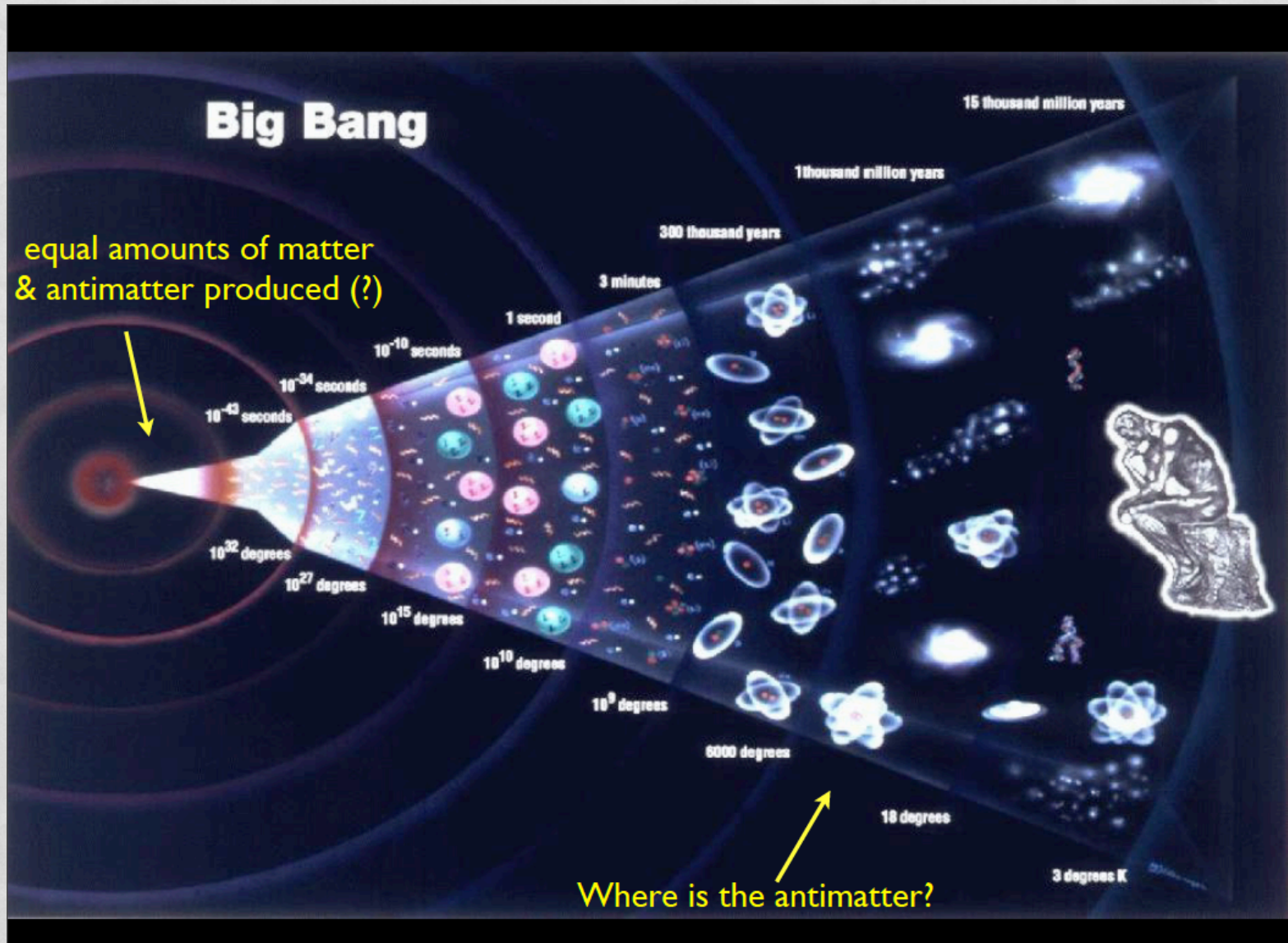
- L'Universo parte da uno stato iniziale ad altissima densità e temperatura
- Si espande rapidamente raffreddandosi
- All'inizio è soprattutto radiazione da cui si producono le varie particelle
- Ci dev'essere una "eco" di quel calore iniziale che chiamiamo radiazione primordiale di fondo



La simmetria CPT tra le interazioni delle particelle ed il fatto che sembra innaturale pensare ad uno sbilanciamento iniziale tra materia e antimateria ci fanno chiedere dove sia finita l'antimateria.

* il nome Big Bang era stato coniato da Fred Hoyle nel 1948 per ridicolizzare la teoria di Gamow, in cui non credeva, in un programma BBC radio. In prospettiva odierna è Fred Hoyle ad essersi auto-ridicolizzato...

Cosmologia del Big Bang



Cosmologia del Big Bang

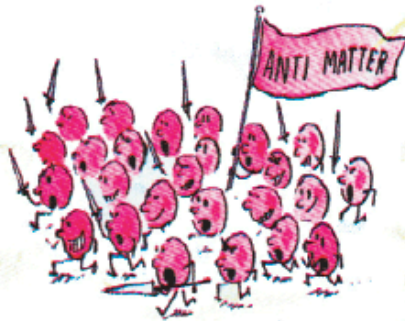
Se l'universo parte da quantità uguali di materia e antimateria, in qualche momento, durante l'evoluzione passa ad una situazione in cui la materia viene favorita per rimanere oggi senza antimateria, con poca materia, e 10 000 000 000 di volte in più fotoni (luce)

Early universe, 10^{-35} sec,
quarks = # antiquarks,
but then:

due to CP violation
in time between 10^{-32} and 10^{-4} sec ...



10,000,000,001



10,000,000,000

The Great
Annihilation



Last person
standing



1
Us!

Ci sono altre opzioni?

- Universo a “macchia di leopardo”. Materia e antimateria prodotte in ugual quantità e poi separate da qualche misteriosa interazione (gravità repulsiva esclusa da principio di equivalenza)
- => L'uniformità della radiazione cosmica di fondo sfavorisce quantità di antimateria entro almeno 10 miliardi di anni luce da noi (circa 10 000 000 000 000 000 000 000 km)
- Condizioni iniziali asimmetriche: l'Universo potrebbe aver contenuto quantità diverse di materia-antimateria fin dal suo inizio.
- ==> Incompatibile con il processo di 'inflazione', secondo cui l'Universo avrebbe subito un'espansione rapidissima (ingrandendosi 25 000 000 000 000 000 000 000 volte) che avrebbe comunque diluito la asimmetria iniziale

E' un problema? Forse...



Lo studiamo (a) perché ci interessa sapere cosa è successo (b) perché in fisica, interrogarsi su apparenti “paradossi” è stato spesso un motore importante di avanzamento della comprensione, anche al di là dell’ambito specifico iniziale (‘cambi di paradigma’ alla Kuhn).

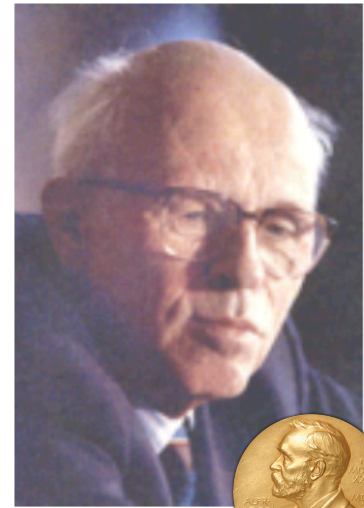
(Cosa c'entrano) I quark

Collegando il grande e il piccolo – A. Sakharov 1967

VIOLATION OF CP INVARIANCE, C ASYMMETRY, AND BARYON ASYMMETRY OF THE UNIVERSE

A. D. Sakharov
Submitted 23 September 1966
ZhETF Pis'ma 5, No. 1, 32-35, 1 January 1967

The theory of the expanding Universe, which presupposes a superdense initial state of matter, apparently excludes the possibility of macroscopic separation of matter from anti-matter; it must therefore be assumed that there are no antimatter bodies in nature, i.e., the Universe is asymmetrical with respect to the number of particles and antiparticles (C asymmetry). In particular, the absence of antibaryons and the proposed absence of baryonic neutrinos implies a non-zero baryon charge (baryonic asymmetry). We wish to point out a possible explanation of C asymmetry in the hot model of the expanding Universe (see [1]) by making use of effects of CP invariance violation (see [2]). To explain baryon asymmetry, we propose in addition an approximate character for the baryon conservation law.



Pace, 1975

La violazione di particolari simmetrie nelle interazioni tra particelle può spiegare come si sia generata la simmetria materia-antimateria partendo da un Universo simmetrico

L'immaginazione di Sakharov correla un problema aperto di cosmologia, con una scoperta di fisica delle particelle fatta 3 anni prima...

Asimmetria di carica-parità

Non sempre un fenomeno che osserviamo per particelle di carica positiva è possibile per le stesse particelle, ma di carica negativa nella forma che avrebbe se fosse osservato in uno specchio.

La natura distingue la destra dalla sinistra e la materia dall'antimateria.

Si chiama violazione di CP

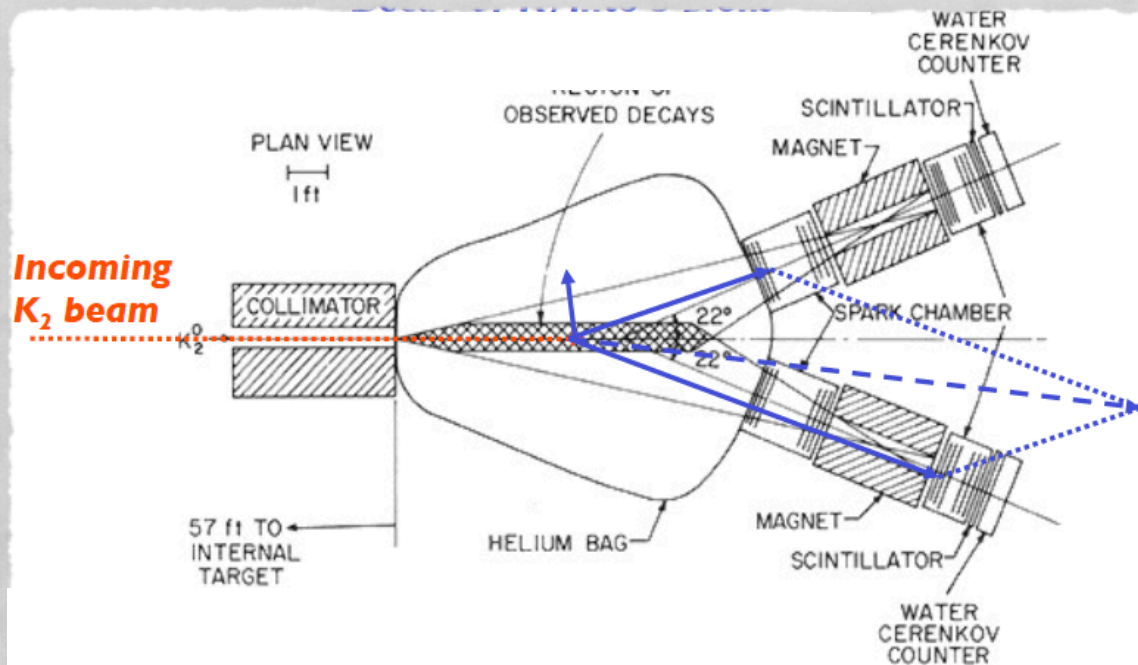
Implicazioni molto profonde, che spaziano dalla microreversibilità dei fenomeni fisici, al fatto che il nostro spazio abbia 3 dimensioni ecc.



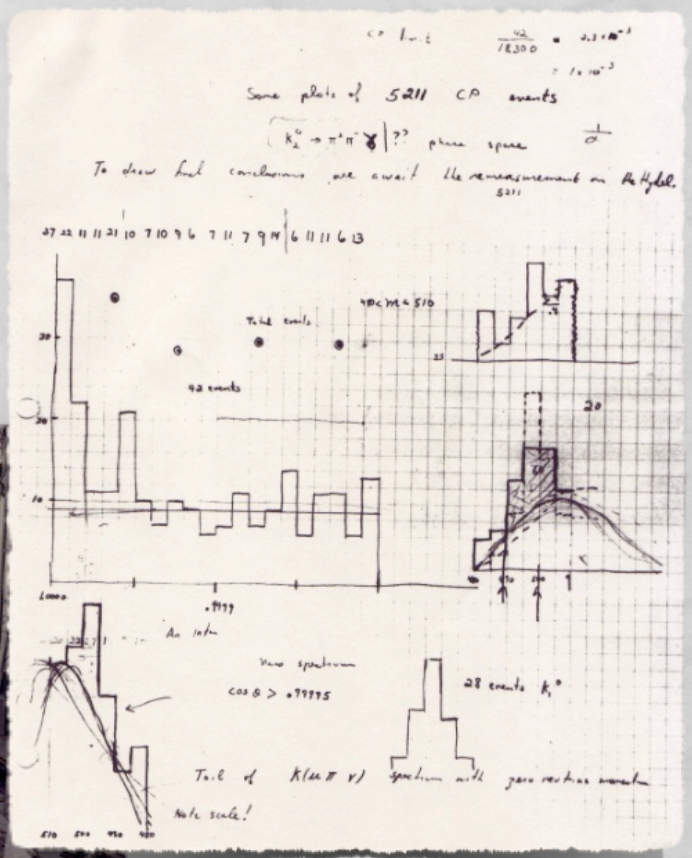
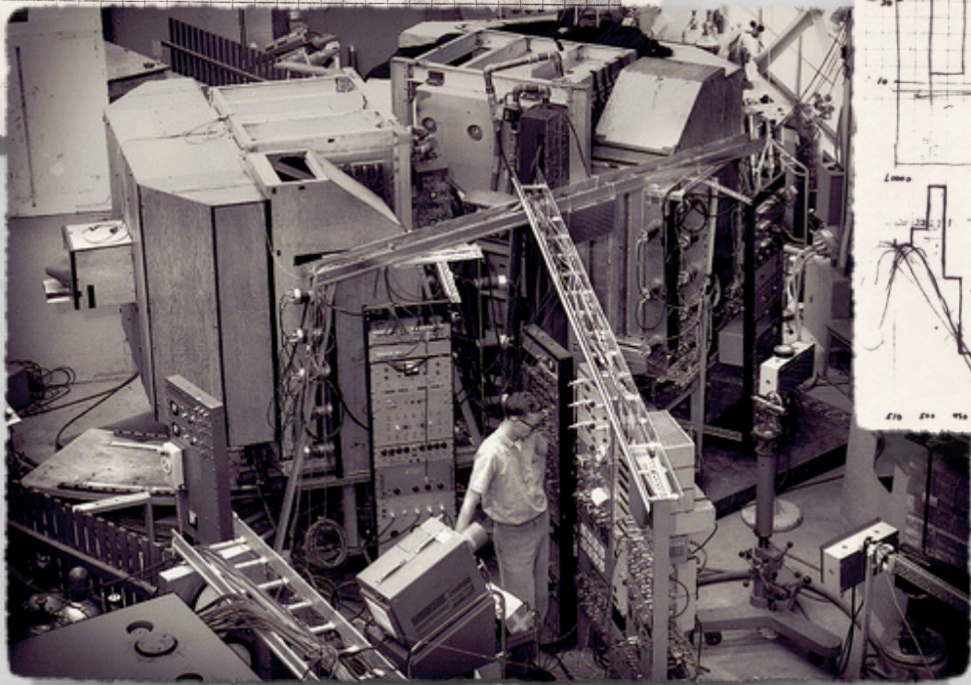
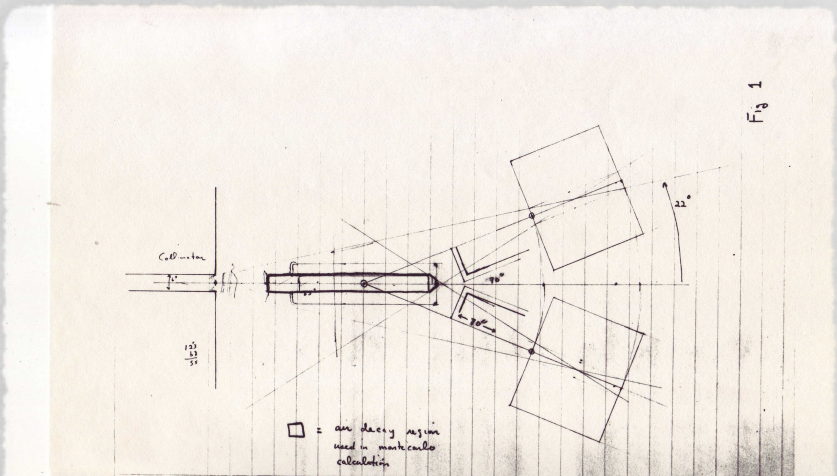
J. Cronin & V. Fitch, 1964

- Seleziono un fascio di particelle che so normalmente decadere in una combinazione nota di **tre** particelle che ha **carica-parità = -1**
- Se osservo decadimenti in una combinazione di **due** particelle, che ha **carica-parità = +1** ho evidenza che la forza responsabile del decadimento **non conserva la simmetria di carica-parità**

Decadimento: disintegrazione spontanea in particelle più leggere



Carta, matita, gomma...



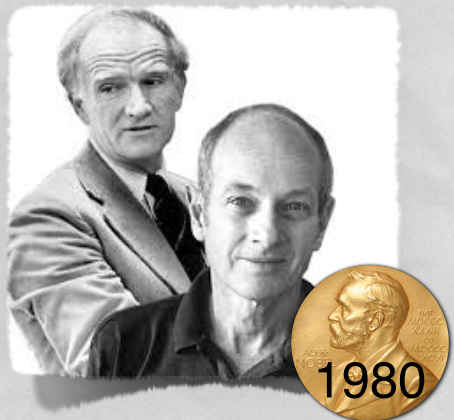
La sorpresa

Ogni mille decadimenti “normali”, due o tre violavano la simmetria CP.

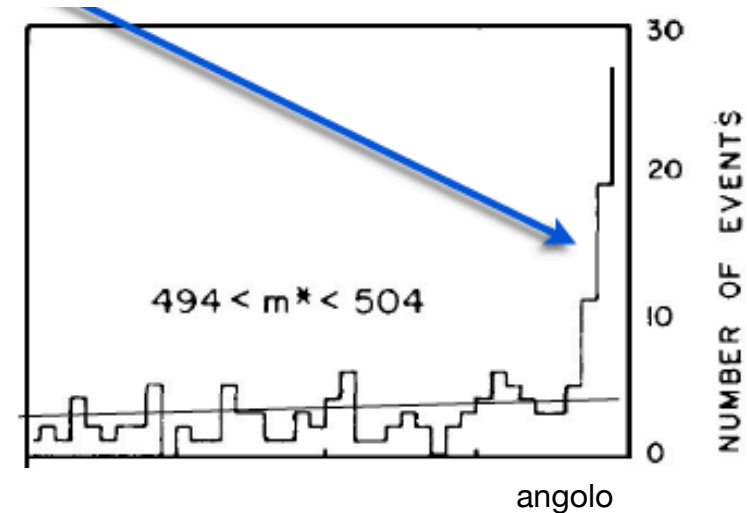
Osservazione molto sorprendente: 6 mesi di test e poi pubblicarono.

Collegli suggerirono molti altri test per capire se non stessero vedendo un effetto spurio dovuto alla strumentazione.

Qualcuno addirittura suggerì che l'effetto fosse dovuto ad una mosca intrappolata nella busta di elio dove avvenivano i decadimenti....



In un decadimento in due particelle, l'angolo tra le particelle è ben definito, come nel biliardo



EVIDENCE FOR THE 2π DECAY OF THE K_S^0 MESON[†]

J. H. Christenson, J. W. Cronin,[‡] V. L. Fitch,[‡] and R. Turley[§]
 Princeton University, Princeton, New Jersey
 (Received 10 July 1964)

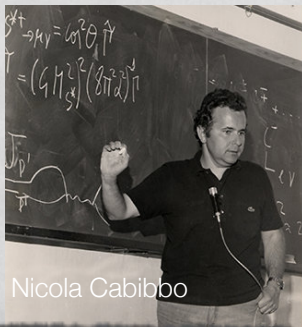
L'inizio di una grande saga

La violazione di CP è stato (ed è) uno dei più profondi misteri della fisica fondamentale.

La scoperta del 1964 apre un'ampia campagna di esplorazione sperimentale e teorica del fenomeno con gruppi teorici in molte università del mondo ed esperimenti al CERN (Svizzera), al Fermilab, SLAC e Cornell (USA), KEK (Giappone), e Frascati.

Rilevanti contributi di scienziate e scienziati italiani (anche triestini).

La campagna è ancora in corso a pieno regime!



Nicola Cabibbo



Italo Mannelli



Bruce Winstein



Bill Ford



John Jaros



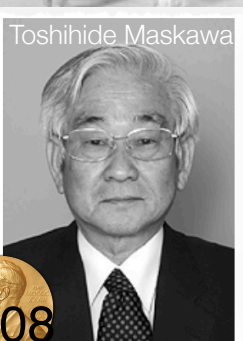
Nigel Lockyer



Pier Oddone



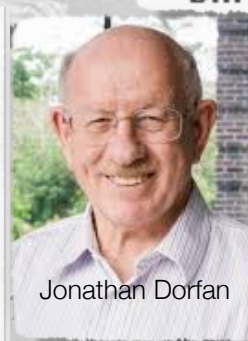
Makoto Kobayashi



Toshihide Maskawa



2008



Jonathan Dorfan



David Hitlin



Fumihiko Takasaki



Tony Sanda

Cosa sappiamo oggi

- La violazione dell'asimmetria carica-parità è una caratteristica intrinseca delle interazioni (dette nucleari deboli) tra i quark.
- Sappiamo descrivere come si manifesta tra i quark ed abbiamo misurato la sua "intensità".
- L'abbiamo incorporata nella teoria comunemente accettata, chiamata Modello Standard, al modesto prezzo di 1 nuovo *parametro libero* (cioè non predetto dalla teoria, ma da determinare sperimentalmente) riuscendo a non far crollare tutto il resto — Nobel 1980, Nobel 2008.

Cosa non sappiamo...

- Abbiamo una descrizione di come la violazione di CP agisce, ma non conosciamo la sua origine più profonda.
- Non sappiamo perchè non agisce anche nelle interazioni nucleari forti (la teoria lo permetterebbe...)
- Non sappiamo se interessa anche i neutrini, oltre che i quark (lo sapremo presto...)

Ma soprattutto, sappiamo che l'intensità della violazione di carica-parità nei processi finora conosciuti è assolutamente insufficiente a spiegare l'asimmetria materia-antimateria dell'Universo.

La domanda originale rimane inevasa: cosa ha provocato il fatto che nell'Universo ci sia materia invece che solo radiazione?

Dove trovo l'intensità di violazione CP mancante che spieghi la prevalenza della materia?

Abbiamo due strade:

- Cercare tra le particelle che già conosciamo.
- Cercare tra le particelle che non abbiamo ancora scoperto.

...nei neutrini?

Carica nulla, massa quasi nulla. Quasi non interagenti: attraversano 10 000 000 000 km di cemento senza perturbazioni — quindi difficilissimi da osservare.

Però interagiscono solo attraverso la forza nucleare debole e sono miliardi di volte più numerosi dei quark

Candidati ovvi a compensare l'intensità di violazione di carica-parità mancante.

Sfida mondiale guidata da Giappone (rincorsi dagli USA...) per misurare violazione di carica parità nei neutrini.

Acceleratori producono miliardi di neutrini al secondo che vengono diretti verso grandi volumi di acqua/olio/argon a centinaia di km. Dai pattern delle (rare) interazioni osservate si misura la violazione di carica parità.

Per ora nessuna osservazione di violazione. Ma recentemente l'esperimento T2K in Giappone ha riportato un'indicazione forte. Tra pochi anni sapremo molto di più.



..od in nuove particelle?

La teoria correntemente accettata delle particelle elementari e di (tre delle quattro) interazioni fondamentali è molto potente: con soli 20 parametri liberi spiega migliaia di processi ad energie da 1 a 10 000 000 000 000 elettrovolt



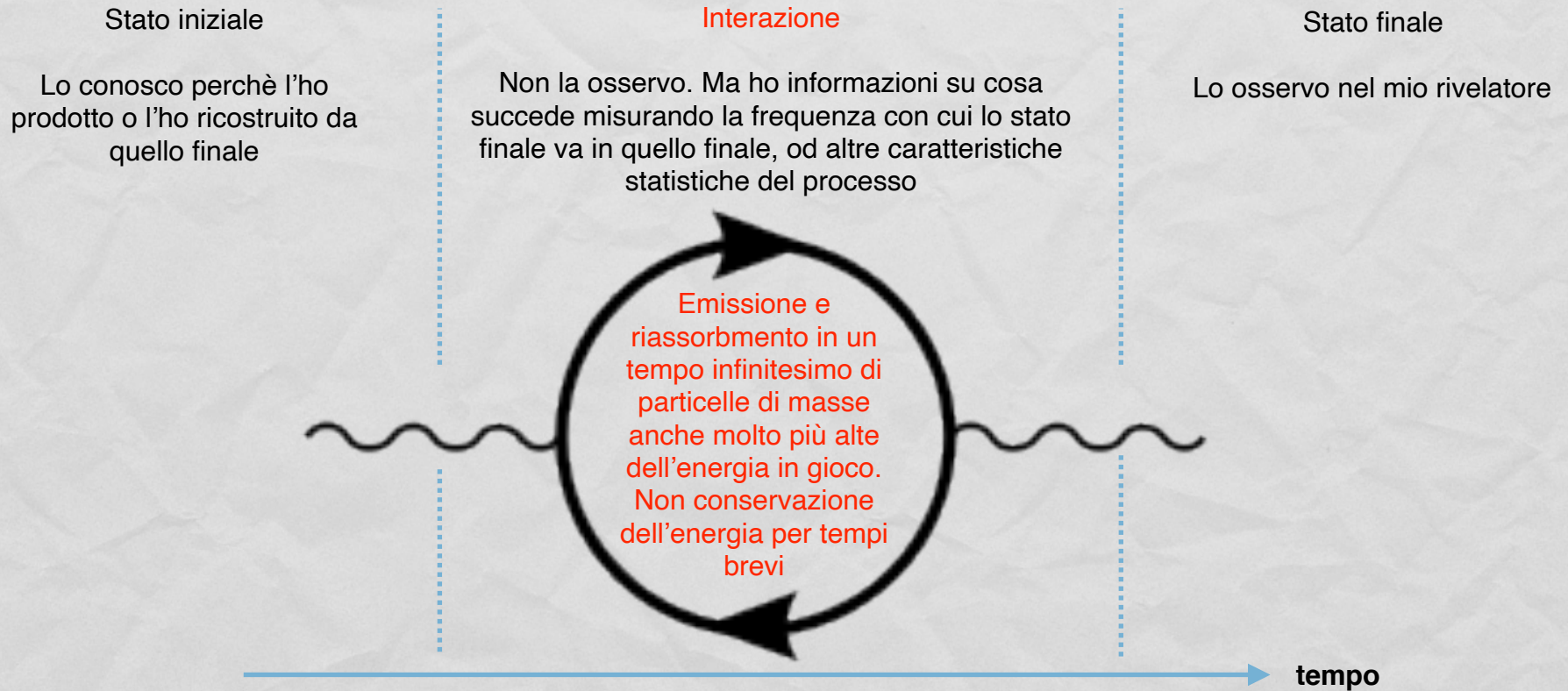
Seminario di L.Ubaldi
- 15 ottobre

È convinzione diffusa che il Modello Standard debba essere completato da una teoria più generale che includa nuove particelle che rispondano alle domande aperte.

Ricerche indirette

Le ricerche di LHC ad altissima energia non hanno rivelato sorprese.

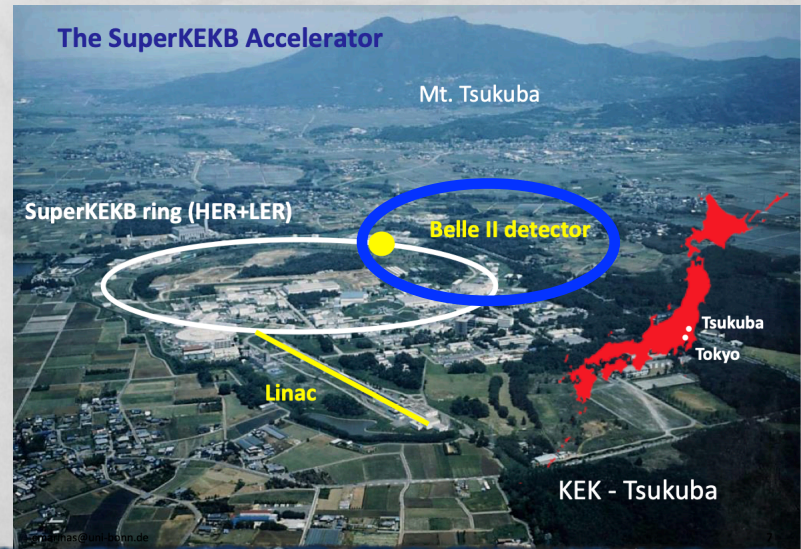
Esploriamo l'altissima precisione.



Misure discrepanti da predizioni indicano scambio di nuove particelle.
Se le interazioni di tali particelle violassero CP, ecco un'altra sorgente per colmare il gap tra materia e antimateria. L'alta precisione è la chiave.

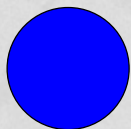
Dove?

Studio di miliardi di decadimenti di quark pesanti b e c prodotti in collisioni di protoni al CERN o di elettroni-positroni a KEK (Giappone) ricostruiti dagli esperimenti LHCb e Belle II

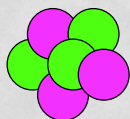


Collisionatori

- Potenti microscopi: producono fasci di alta energia per farci vedere cose piccole
- Energia di collisione è $1/(\text{dimensioni del dettaglio discernibile})$

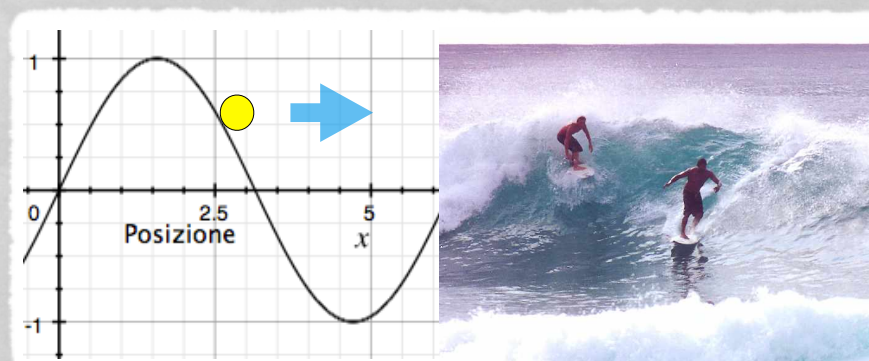
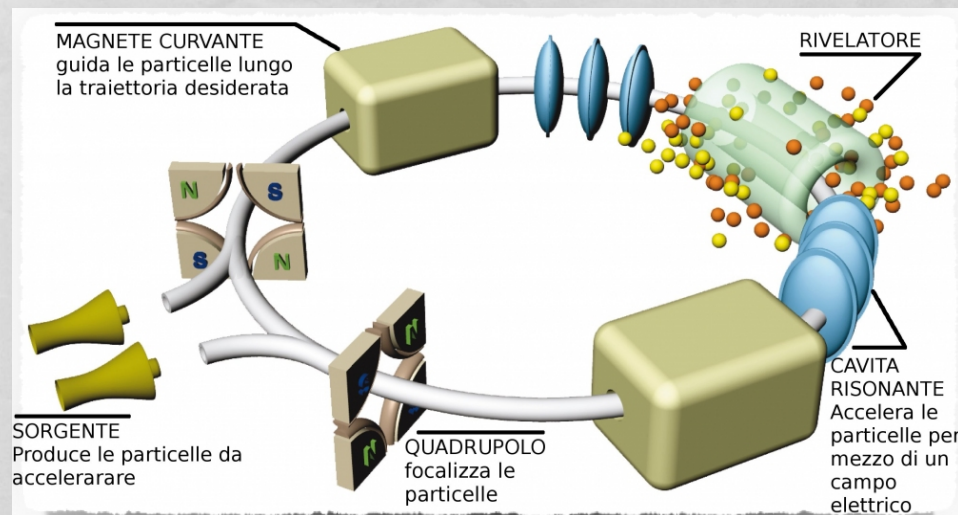


Vista in collisione a bassa energia (cattiva risoluzione)



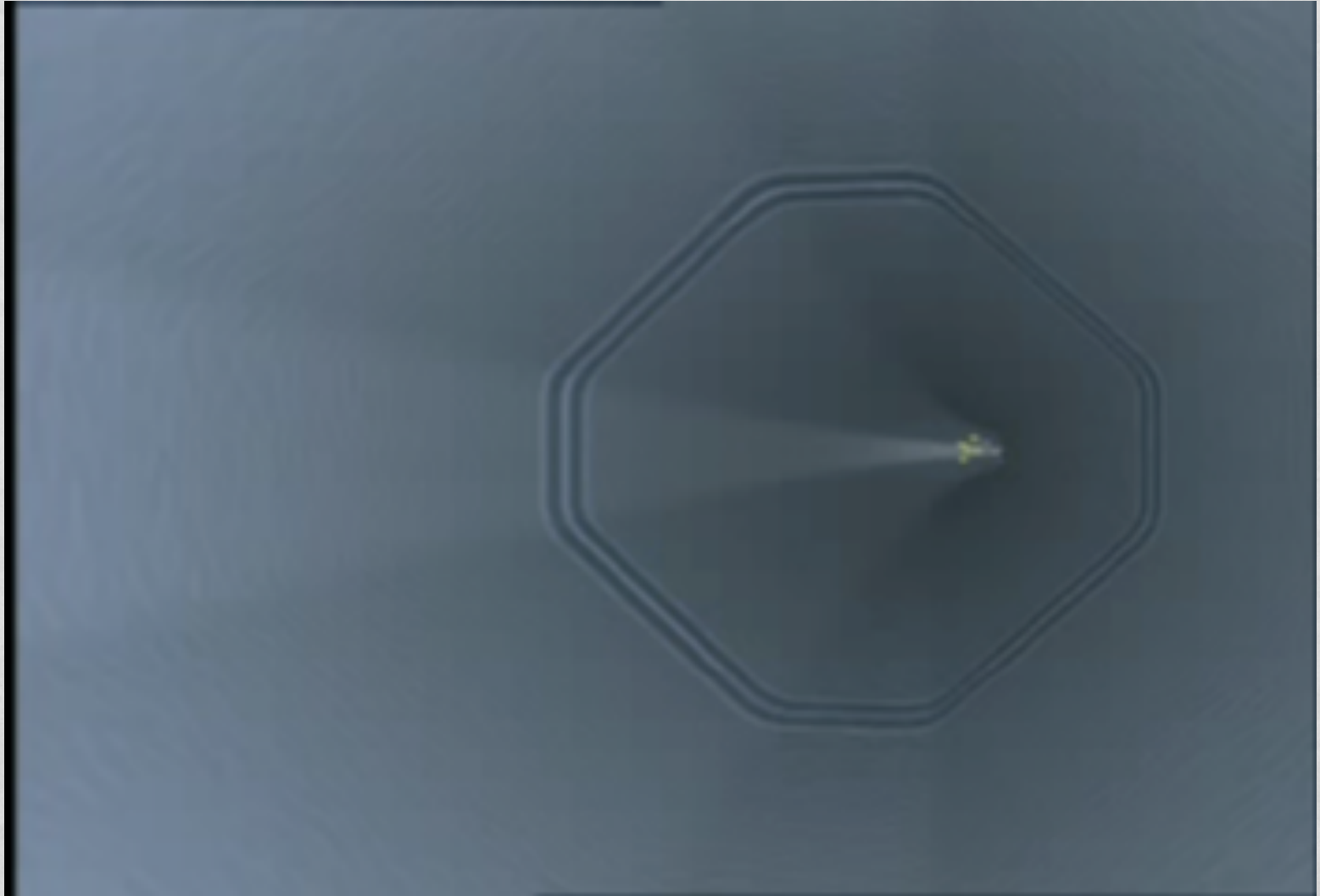
Vista in collisione ad alta energia (buona risoluzione)

- Fabbriche di nuova materia: trasformano l'energia di collisione E in massa m :
 $E = mc^2$



Particelle cariche accelerate da forze elettriche che le “seguono” tenendole sempre “sulla cresta dell’onda”

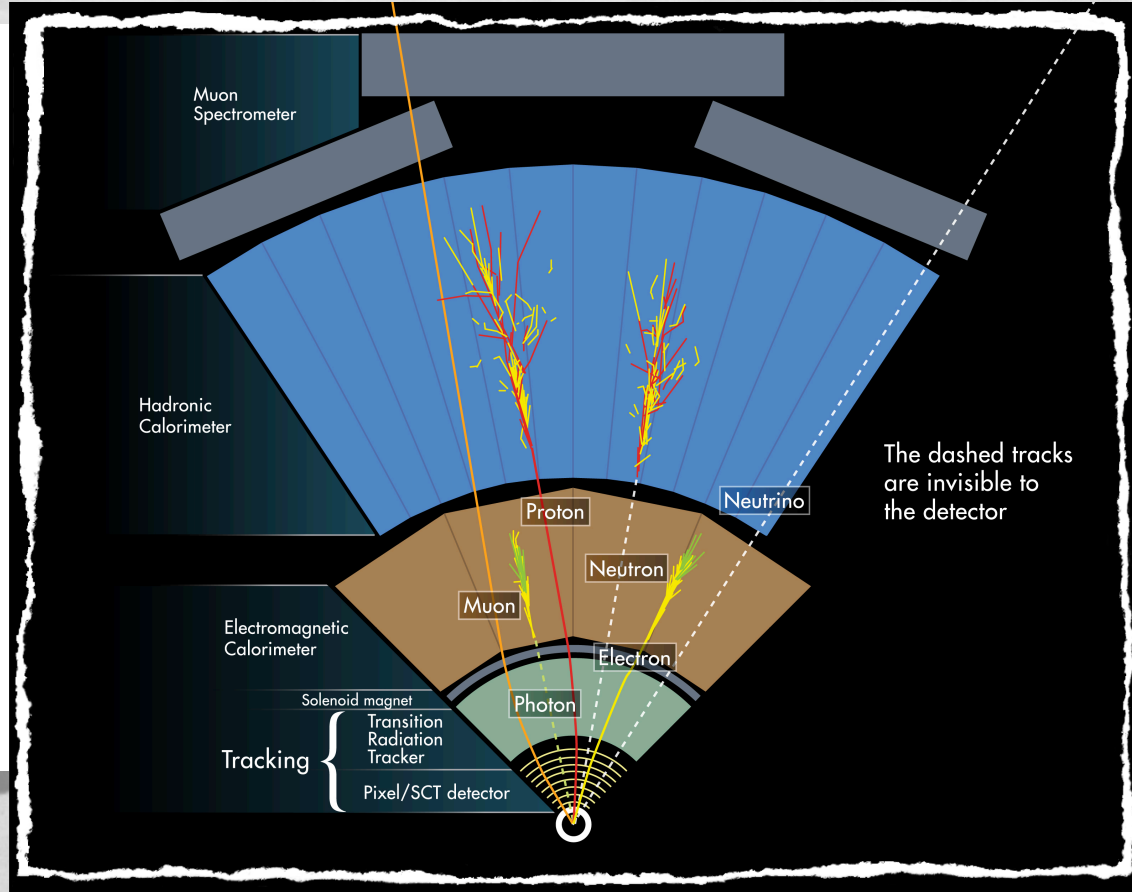
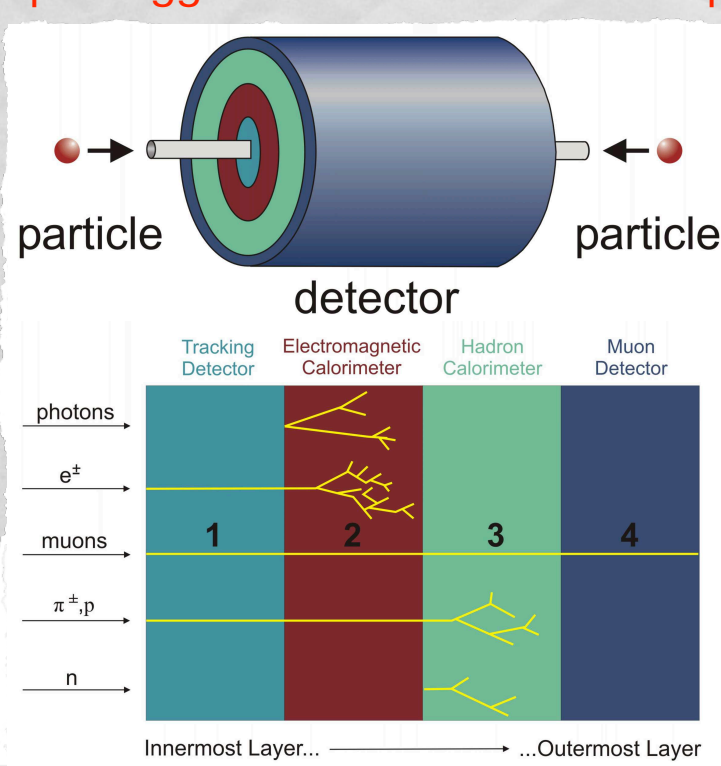
Collisionatori



Rivelatori

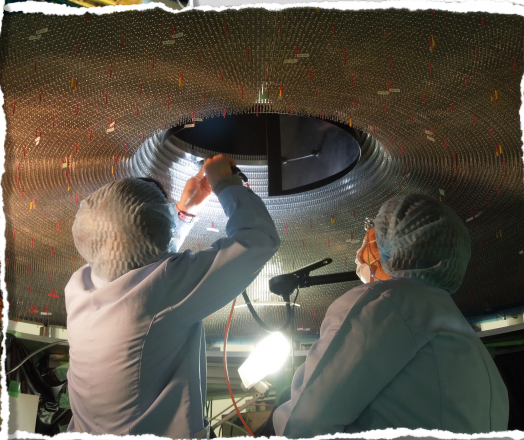
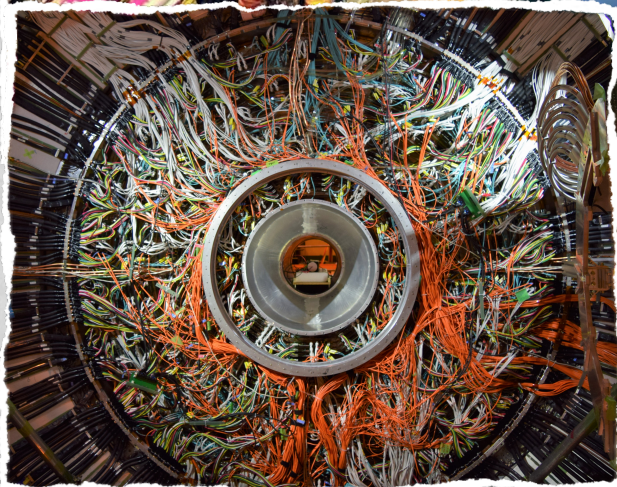
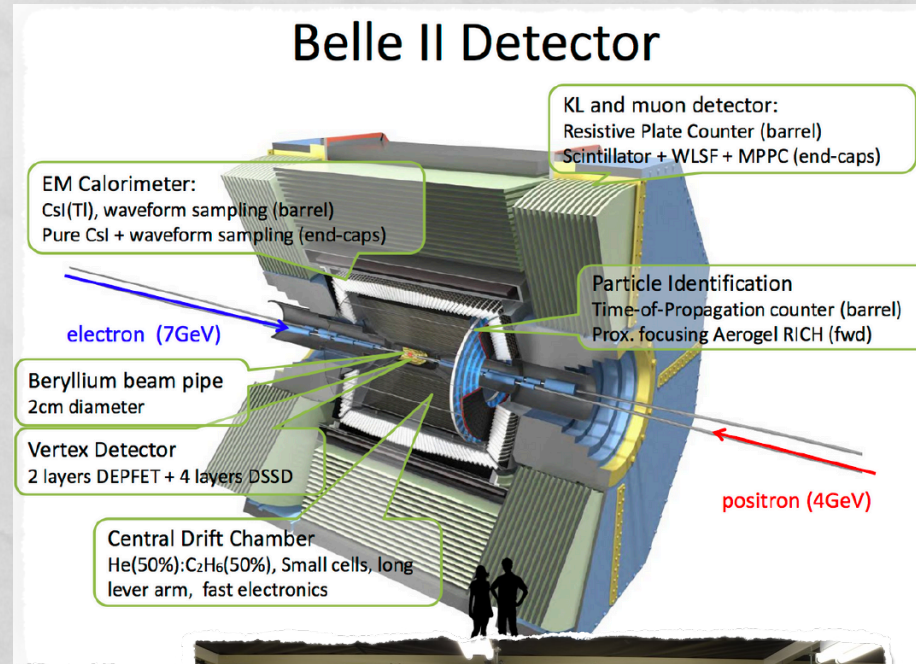
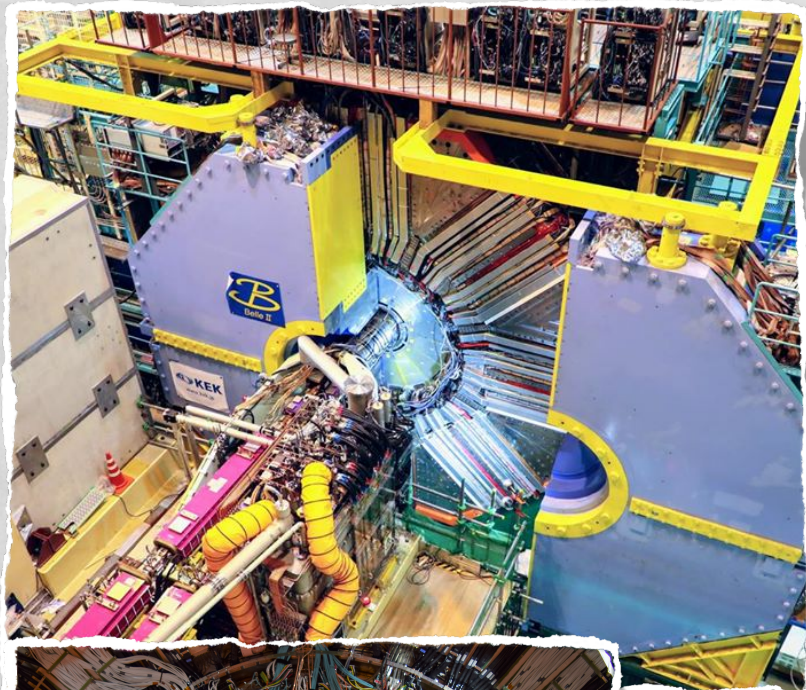
Sofisticate macchine fotografiche da migliaia di tonnellate fanno migliaia di 'scatti' al secondo registrando i prodotti delle collisioni e ricostruendo l'identità e le interazioni.

Il difficile compromesso tra non disturbare le particelle ed ottenere segnali del loro passaggio abbastanza intensi da poter essere rivelati.



Belle II in Giappone

Centinaia di fisici al lavoro per 5-10 anni (costruzione) e poi altri 10 anni di analisi dei dati



Trieste in Belle II

Alice Gabrielli



Laureanda

Sebastiano Raiz



Laureando

Riccardo Manfredi



Dottorando

Eldar Ganiev



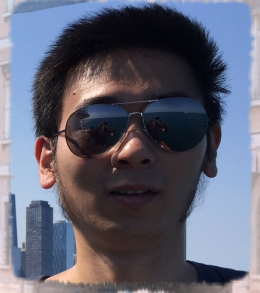
Dottorando

Fernando Abudinen



Postdoc

Yifan Jin



Postdoc

Luciano Bosisio



Professore (in pensione)

Benigno Gobbo



INFN staff

Livio Lanceri



Professore (in pensione)

Lorenzo Vitale



Professore

Mirco Dorigo



INFN staff

Diego Tonelli



INFN staff

Morale della favola

Alcune linee di ricerca in fisica fondamentale hanno la fortuna di avere implicazioni dirette sulle "Grandi Domande" della scienza.

Addentrandoci, ci si accorge che spesso l'indagine deve coinvolgere filoni di scienza e tecnologia all'apparenza distanti. È probabile che solo la sinergia di risultati e visione ci possa avvicinare alle risposte.

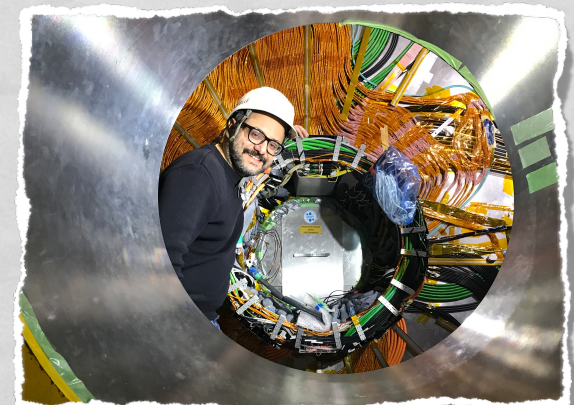
Lo studio dell'asimmetria tra materia ed antimateria è uno di questi con l'intima connessione tra problemi di fisica fondamentale delle particelle e di cosmologia.

Esemplifica bene anche l'accidentato, occasionalmente erratico ma eccitante cammino del progresso della conoscenza. Un'ottovolante di folli intuizioni, picchi di profonda astrazione, sofisticato ingegno sperimentale, errori, colpi di fortuna che va avanti da quasi 100 anni ed è ancor'oggi al centro dell'esplorazione della Natura.

Nei prossimi 5-10 anni avremo importanti informazioni dallo studio dei neutrini e da quello ad altissima precisione delle interazioni dei quark pesanti.

Non sappiamo se mai avremo una risposta, nè - eventualmente - quando.

Ma è il viaggio quello che conta, non la meta.



Fine

(speriamo di no...)



È stato un piacere preparare questo materiale e discuterne con voi. Spero anche per voi.
Apprezzo molto domande/suggerimenti/critiche — diego.tonelli@ts.infn.it