

IL FUTURO DELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI: ARGOMENTAZIONI PER LA COSTRUZIONE DI UN ALTRO GRANDE ACCELERATORE DI PARTICELLE

Barry C Barish
1-Ottobre-06

Ci si potrebbe chiedere perché stiamo spendendo tanta fatica nel progettare e fare i preparativi per costruire un altro ambizioso acceleratore di particelle, specialmente considerando che il “Large Hadron Collider” al CERN produrrà presto collisioni nello stesso regime di energia.

Per porre la mia risposta in prospettiva, è necessario apprezzare a che punto è arrivato il campo della fisica delle particelle negli ultimi decenni e che cosa ci riserva il futuro. A me piace caratterizzare la fisica delle particelle come un campo che è cresciuto oltre ciò che si poteva pensare nei primi tempi come una “scienza basata sull’osservazione”. Cioè, noi avremmo costruito sempre nuovi acceleratori di particelle in nuovi regimi di energia, intervallati tra loro di pochi anni, avendo più o meno la garanzia che essi avrebbero portato a nuove eccitanti e importanti scoperte.

Dato che il campo è maturato, ora capiamo molto di più sulla fisica di base delle particelle elementari e le nostre domande sono diventate molto meglio definite. Si potrebbe dire che il campo è diventato ora una “scienza basata sull’indagine”. Non costruiamo più nuovi strumenti solo per aprire una nuova frontiera per le osservazioni, ma piuttosto articoliamo le domande scientifiche di base a cui vogliamo rispondere e quindi costruiamo strumenti che sono diretti a rispondere a quelle domande.

Alcuni tipi di domande che ora stanno dirigendo le nostre ricerche, sia teoricamente che sperimentalmente, includono le seguenti:

- Ci sono principi della natura ancora da scoprire, come nuove simmetrie o nuove leggi fisiche ?
- Come possiamo risolvere il mistero dell’energia oscura ?
- Ci sono dimensioni extra dello spazio ?
- E’ vero che tutte le forze diventano una ?
- Perché ci sono così tanti tipi di particelle ?
- Cos’è la materia oscura e come possiamo crearla in laboratorio ?
- Cosa ci dicono i neutrini ?
- Come è nato l’universo ?
- Cosa è accaduto all’antimateria ?

Questo particolare insieme di domande proviene da una piccola e bella divulgazione della fisica delle particelle chiamata “l’Universo Quantistico”. Sebbene questo non sia un insieme unico di domande e alcuni dei miei colleghi potrebbero fare una lista

leggermente diversa, esso rappresenta abbastanza bene i tipi di domande a cui dobbiamo rispondere per far avanzare il nostro campo. E' interessante che avere una tale lista di domande ci aiuta proprio a mettere a fuoco gli strumenti sperimentali che dovremmo sviluppare.

Capire realmente le risposte a tali difficili e fondamentali domande richiede sia sviluppare teorie da verificare che fare misure sperimentali complementari. La maggior parte di queste domande non avrà probabilmente risposte semplici, ma invece richiederà nuove idee e ulteriori esperimenti per capirle. Ciò che impariamo indagando tali domande spesso ci conduce a nuovi insiemi di domande e questo è il modo in cui evolvono la fisica e la nostra comprensione della natura. In un approccio alla scienza basato sull'indagine, le domande guidano e aprono nuove direzioni per la nostra ricerca.

Per affrontare sperimentalmente le particolari domande che ho posto, noi siamo condotti in tre direzioni complementari. In aggiunta, ci sono anche esperimenti speciali, dedicati a uno o più aspetti particolari, e questi possono essere altrettanto o anche più importanti. Ma oggi io mi concentro sulle direzioni principali della nostra ricerca, quelle che richiedono grandi investimenti nelle attrezzature sperimentali.

Le tre aree chiave di ricerca che definiscono in generale il nostro campo sono le seguenti:

- **Neutrini.** I neutrini ci permettono di studiare una varietà di problemi attraverso l'uso di una sonda che interagisce tramite interazioni deboli. Questa scienza sta avvicinando la fisica delle particelle e l'astrofisica. Per esempio, una delle domande più fondamentali in astrofisica è cos'è la materia oscura? Questa domanda potrebbe facilmente trovare risposta in nuova fisica delle particelle, ove il candidato principale è la supersimmetria.
- **Collisionatori Protone-Protone ad Alta Energia:** l' LHC al CERN è il nostro prossimo grande acceleratore di particelle, e promette di dischiudere una nuova frontiera alla scala del TeV. Ci aspettiamo che molti dei fenomeni nella nostra lista si riveleranno in questo regime energetico. L'LHC dovrebbe immediatamente far luce sulla questione dell'origine della massa e potrà svelare con grande probabilità le particelle supersimmetriche, se esse esistono.
- **Collisionatore Elettrone-Positrone ad Alta Energia:** l' "International Linear Collider", proposto come un progetto globale, è la terza sonda e permetterà di fare misure di precisione a questa nuova frontiera dell'energia. Esso potrebbe permettere scoperte non svelate dal LHC grazie alle caratteristiche in più delle collisioni elettrone-positrone e alla loro pulizia. Allo stesso tempo, sarà in grado di effettuare misure di precisione per proseguire e rivelare la fisica sottostante ai fenomeni che saranno visti al LHC.

In questa breve presentazione discuterò solo l'ultima di queste sonde, motivando brevemente i parametri della macchina e introducendo brevemente la nostra attuale concezione di una tale macchina.

COLLISIONI ELETTRONE POSITRONE

I protoni sono oggetti complessi costituiti di quark e “gluoni” (le forze forti che li tengono assieme), mentre gli elettroni e i positroni sono semplici particelle puntiformi. Di conseguenza, queste due sonde presentano aspetti molto diversi, in termini di costruzione a livello tecnico di un tale acceleratore di particelle e riguardo ciò che possono apportare alla scienza. I protoni possono essere accelerati più facilmente ad alta energia, ma sono oggetti più complessi quando collidono. La combinazione delle due sonde fornisce un modo complementare di approccio alla scienza. La combinazione dei risultati delle collisioni protone-protone e elettrone-positrone è stata al centro dei progressi della fisica delle particelle negli ultimi quarant’anni.

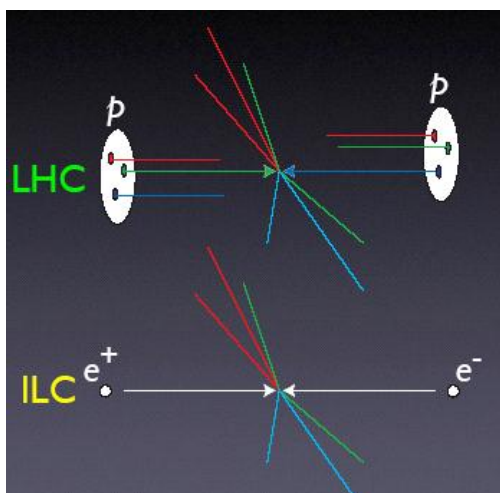


Figura 1: La figura illustra le differenze caratteristiche tra le collisioni e^+e^- e pp .

Nel caso di un protone, per esempio al LHC, una collisione avviene quando un quark (o un gluone) di un protone urta contro un quark (o un gluone) dell’altro protone. Le particelle che collidono, o costituenti, portano una frazione ignota dell’impulso totale portato dal protone e solamente una frazione dell’energia nel centro di massa dei protoni entra nella collisione. Gli esperimenti misurano i prodotti uscenti dalle collisioni e studiano la fisica in modo statistico, dato che la cinematica ed anche le particelle collidenti non sono note per ogni collisione. In aggiunta, la maggior parte delle collisioni sono diffrattive, mentre la fisica interessante di solito riguarda collisioni aventi grande impulso trasverso. In generale, mentre studiare le collisioni protone-protone può essere un modo molto efficace di esplorare un nuovo regime di energia, è difficile isolare nuovi fenomeni o fare misure di precisione.

In contrasto a ciò, per elettroni e positroni le collisioni sono tra oggetti puntiformi elementari, che hanno energia e momento angolare ben definiti. In ciascuna collisione viene usata l’energia completa nel centro di massa, e le particelle sono prodotte in modo più o meno democratico, a significare che la fisica interessante non è sepolta come eventi rari in un grande fondo. In fine, a seconda delle capacità dei rivelatori, gli eventi possono essere completamente ricostruiti per ogni collisione.

L' "INTERNATIONAL LINEAR COLLIDER"

La comunità internazionale della fisica delle alte energie ha studiato la varietà di obiettivi di fisica per un collisionatore lineare e ha trovato l'accordo sui parametri chiave.

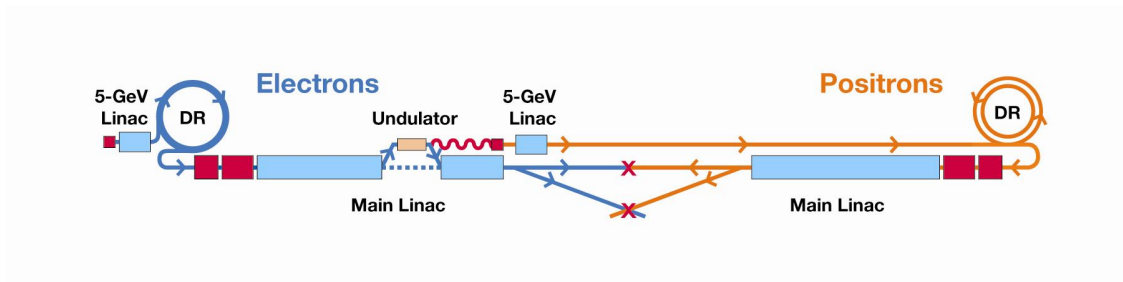


Figura 3: Schema concettuale dell' International Linear Collider.

Alcuni dei parametri principali includono:

- E_{cm} variabile entro 200 – 500 GeV
- Luminosità $\rightarrow \int L dt = 500 \text{ fb}^{-1}$ in 4 anni
- Capacità di scansione tra 200 e 500 GeV
- Stabilità in energia e precisione migliore dello 0.1%
- Polarizzazione dell'elettrone almeno dell'80%

e

- La macchina deve essere "potenziabile" fino a 1 TeV

Per raggiungere questi obiettivi, si è perseguito un intenso R&D durante gli anni '90 su due diversi approcci tecnici, uno basato su strutture in rame a temperatura ambiente e l'altro su cavità superconduttrici al niobio. Un paio d'anni fa si è trovato l'accordo sulla decisione cruciale di perseguire il progetto del collisionatore lineare basandosi sulla tecnologia di cavità a radiofrequenza superconduttrici.

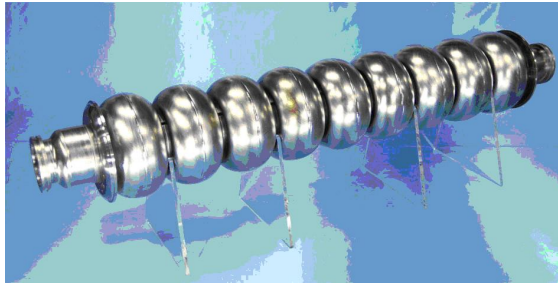


Figura 2: Cavità superconduttrice al niobio con 9 celle per 1 metro di lunghezza.

Un gruppo internazionale di fisici degli acceleratori è ora impegnato a fare un progetto dettagliato di una macchina di questo tipo, che sarà circa 40 km in lunghezza, verrà installata a grande profondità nel sottosuolo e sarà costruita da una collaborazione globale. Ora è stato raggiunto l'accordo riguardo la configurazione generale per tale macchina, e siamo nel mezzo della preparazione di un progetto concettuale di riferimento, che deve essere completato agli inizi dell'anno prossimo. Quando questo sarà completo, saremo pronti per fare un progetto ingegneristico dettagliato, con l'obiettivo di essere pronti per l'approvazione e la costruzione all'incirca nel 2010, quando i primi risultati dal LHC dovrebbero essere disponibili. Assumendo che la scienza sia eccitante come ci attendiamo, andremo quindi dai nostri governi sparsi in tutto il mondo per raccogliere il supporto finanziario per costruire tale macchina, con una previsione di realizzarla all'incirca entro il 2020.

Un aspetto interessante di questa iniziativa è che non sarà sviluppata sotto gli auspici di nessun laboratorio esistente o nazione. Invece, essa è una creatura della comunità internazionale della fisica e l'attuale organizzazione è totalmente internazionale. Tutti i concetti e le decisioni sul progetto saranno decisi in modo internazionale con l'idea che tutti i partner prenderanno proprietà del progetto ingegneristico e del programma di R&D necessario a supportare il progetto.

Quale sarà il passo successivo ? Chiaramente si dovrà istituire la direzione internazionale e i primi passi sono stati compiuti. Le più importanti agenzie di finanziamento a livello internazionale si sono riunite come gruppo informale, "Funding Agencies for the Linear Collider" (FALC), presieduto da Roberto Petronzio (Presidente dell'INFN). Il FALC si sta occupando di questioni del tipo di come sviluppare una direzione internazionale, come determinare la locazione, e in fine come l'International Linear Collider si inserirà nel più ampio programma della fisica delle particelle.

Vorrei terminare osservando che questa impresa davvero futuristica e ambiziosa di cui ho parlato ebbe origine qui in Italia. Bruno Touschek costruì il primo collisionatore elettrone-positrone funzionante a Frascati, in Italia (1960) e le sue macchine alla fine giunsero fino a 3 GeV. Purtroppo egli fu molto sfortunato, perché questa è appena sotto l'energia a cui furono fatte grandi scoperte a SLAC pochi anni dopo.

Sono molto felice e onorato di essere qui oggi con la mia bella moglie, e con il mio collega e caro amico Shelly Glashow e sua moglie Joan per ricevere una "Laurea ad Honorem" in Fisica, specialmente da questa famosissima e storica Università.