
Scoperta delle interazioni da neutrino tau

Corso di fisica nucleare e subnucleare II

Prof. Carlo Dionisi

FALIVENE MARIA

Nell'architettura della materia così com'è descritta dal cosiddetto “modello standard” della fisica delle particelle, il neutrino tau era l'ultimo tassello mancante, l'unico dei “blocchi” fondamentali della teoria per cui mancava la conferma sperimentale definitiva.

Privi di carica elettrica, la loro interazione con la materia è quasi nulla e questa loro caratteristica li rende difficilissimi da intercettare e studiare. Nel corso dell'esperimento del FermiLab, denominato DONUT (Direct Observation of the Nu Tau), i fisici hanno utilizzato l'acceleratore Tevatron per registrare oltre sei milioni di potenziali interazioni tra i neutrini ed un nucleo atomico, tra le quali hanno selezionato 4 eventi che recano l'inconfondibile firma del tau.

Tipologie delle interazioni da neutrino

Alcune particelle interagiscono a formare delle specifiche tracce e specifici angoli che possono essere usati per determinare la loro identità.

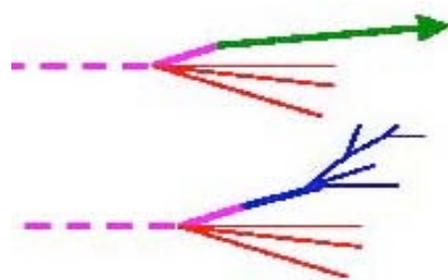
Le interazioni da neutrino possono essere ridotte in 2 categorie:

- Correnti cariche (CC)
 - Correnti neutre (NC)
-

Le interazioni da neutrino tau sono difficili da osservare;

Il neutrino tau interagisce e forma un tau che ha il 18% di probabilità di decadere in un muone e due neutrini (long event) o in un elettrone e due neutrini (short event).

L'86% di tutti i decadimenti tau involve solo in una particella carica, questo è ciò che gli scienziati di Donut hanno cercato.



ν_τ CC \rightarrow 18% BF
to a penetrating
muon \rightarrow *long* event
 ν_τ CC \rightarrow 18% BF
to an
electron \rightarrow *short*
event

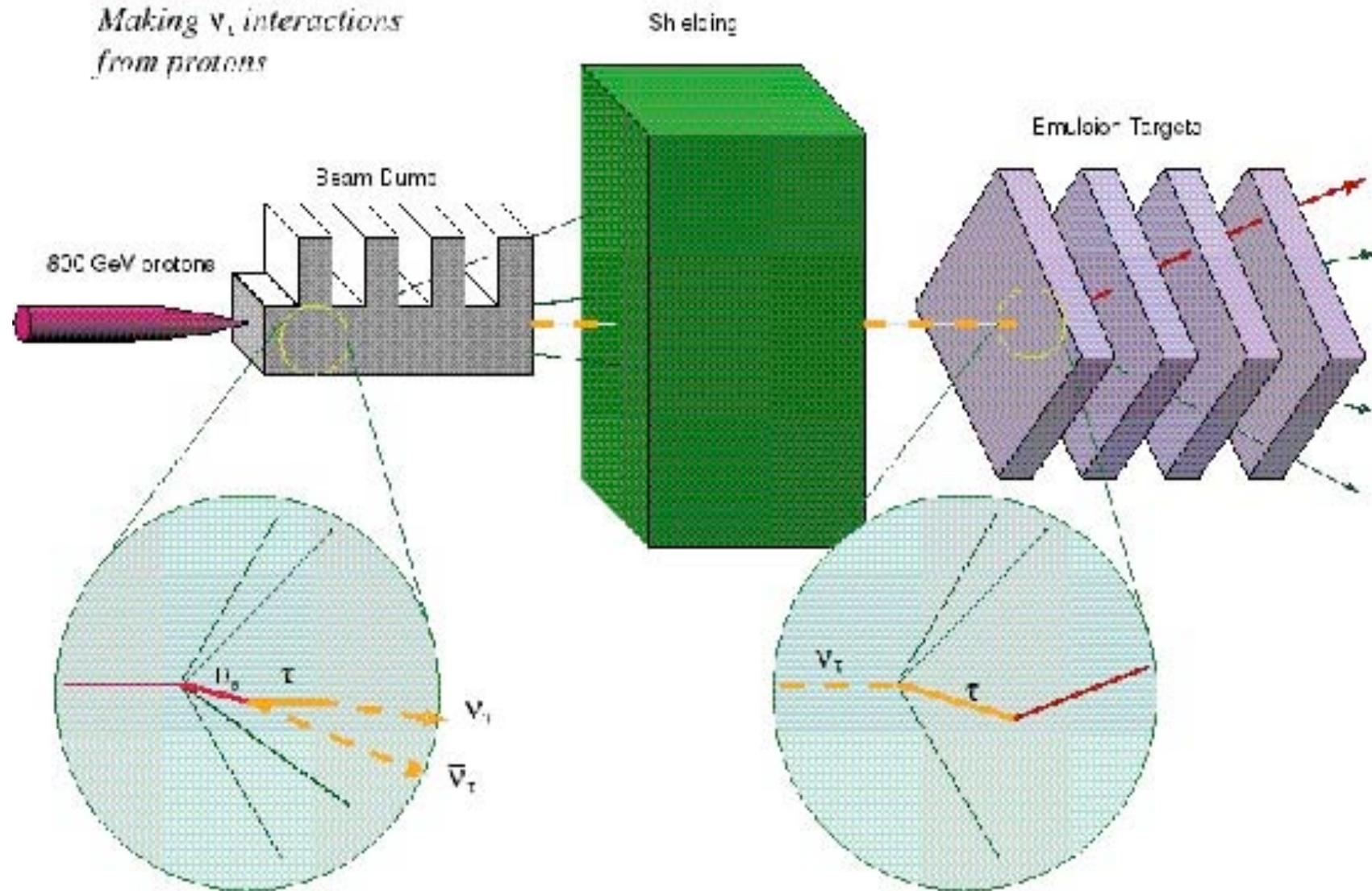
L'idea

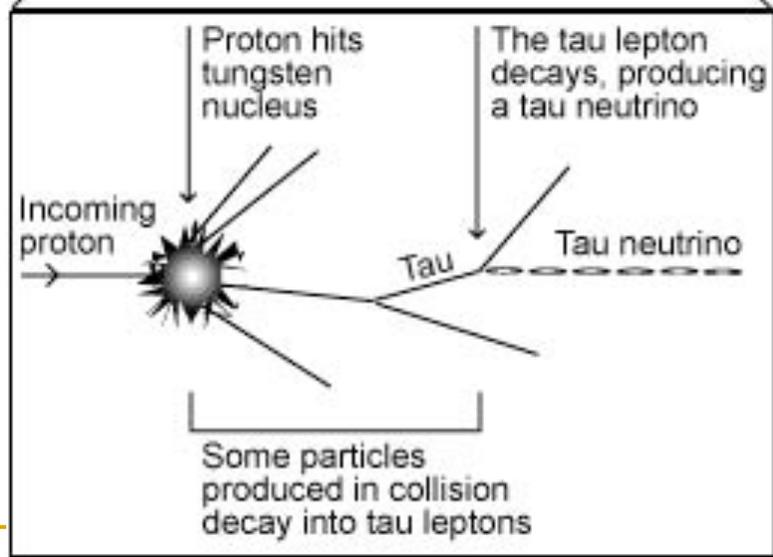
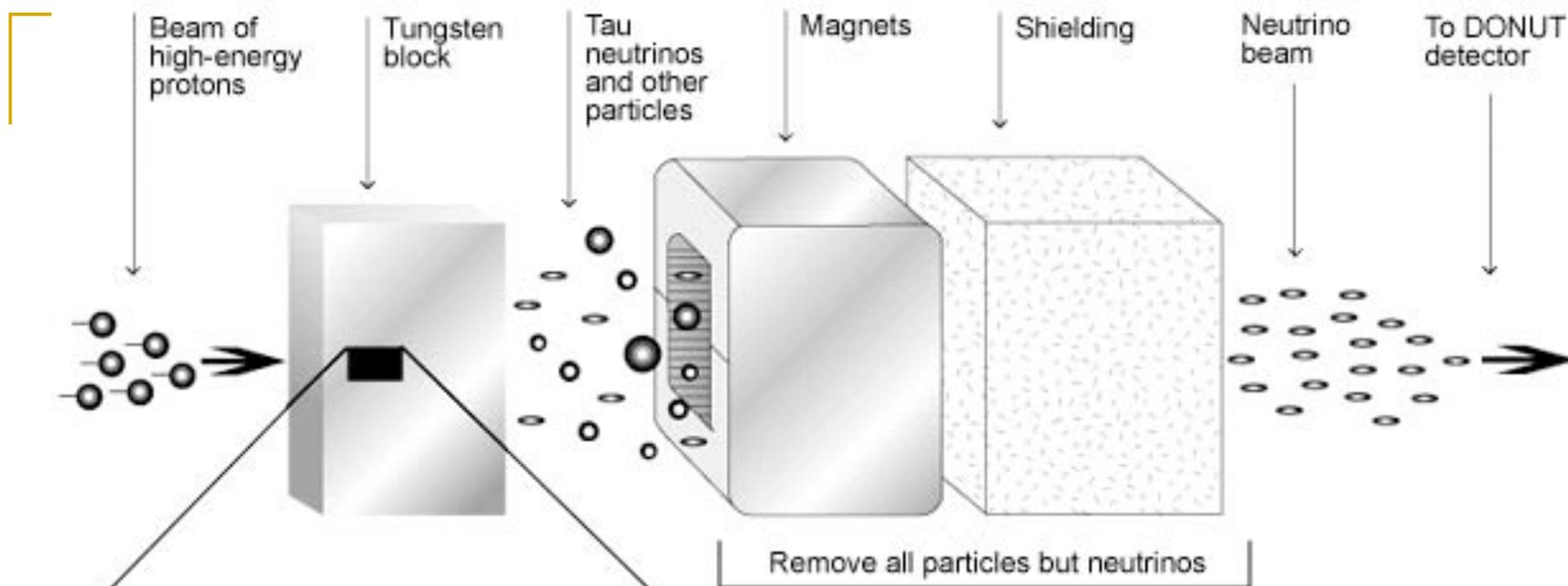
Nell'esperimento DONUT un fascio di protoni di 800 GeV di energia viene inviato su un bersaglio assorbitore in cui viene prodotto un gran numero di particelle.

Le particelle più pesanti decadono più rapidamente mentre le più leggere vengono assorbite prima di decadere in modo da non dare preferenza alla produzione di neutrini-elettrone e neutrini-mu. Il decadimento che interessa per la produzione di neutrini tau è quello dei mesoni con charm, D_s in tau ed i corrispondenti neutrini. A valle del bersaglio-assorbitore viene trasmesso un fascio con ugual numero di neutrini-elettrone e neutrini-mu e composto per circa il 10% di neutrini tau. A 40m dal bersaglio assorbitore è posto l'esperimento per osservare le interazioni di neutrini tau su nuclei segnalate dalla produzione di leptoni tau e di altre particelle. Alle energie in gioco il cammino medio dei leptoni tau prodotti è circa 1mm e quindi occorre un rivelatore con risoluzione spaziale molto migliore del mm per mettere in evidenza senza ambiguità la produzione ed il successivo decadimento del leptone tau. Il decadimento più probabile è in una sola particella carica ed è segnalato da una piccolissima deviazione della traccia lasciata nel rivelatore. Il cuore dell'esperimento è un bersaglio attivo costruito da lastre di ferro intervallate con lastre di emulsione fotografica particolarmente sensibile per rivelare le particelle ionizzanti.

E-872

Making ν_τ interactions from protons





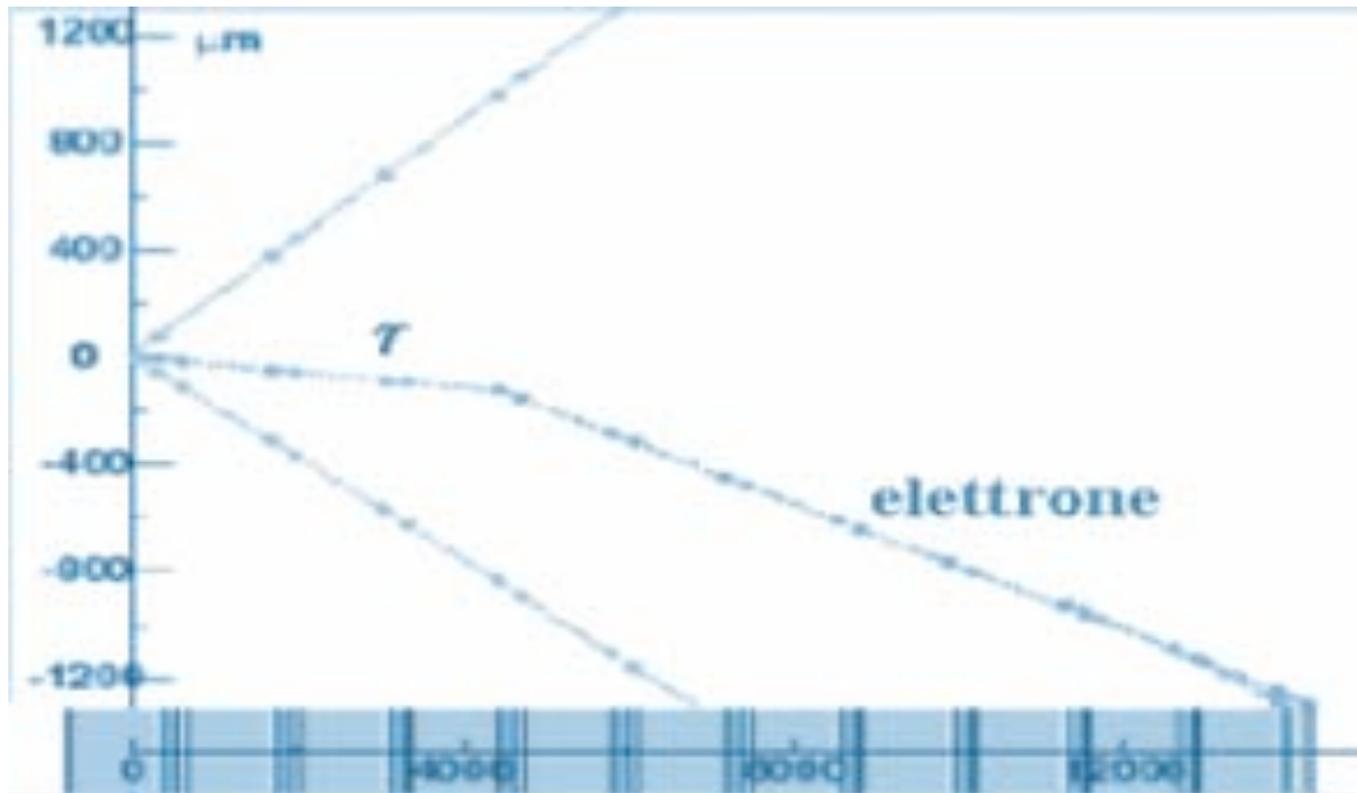
The detector

E' situato a 36 m dall'origine del fascio, misura 15m in lunghezza, è composto da 6 strati.

I fisici di DONUT hanno avuto 2 principali difficoltà per la costruzione di questo rivelatore:

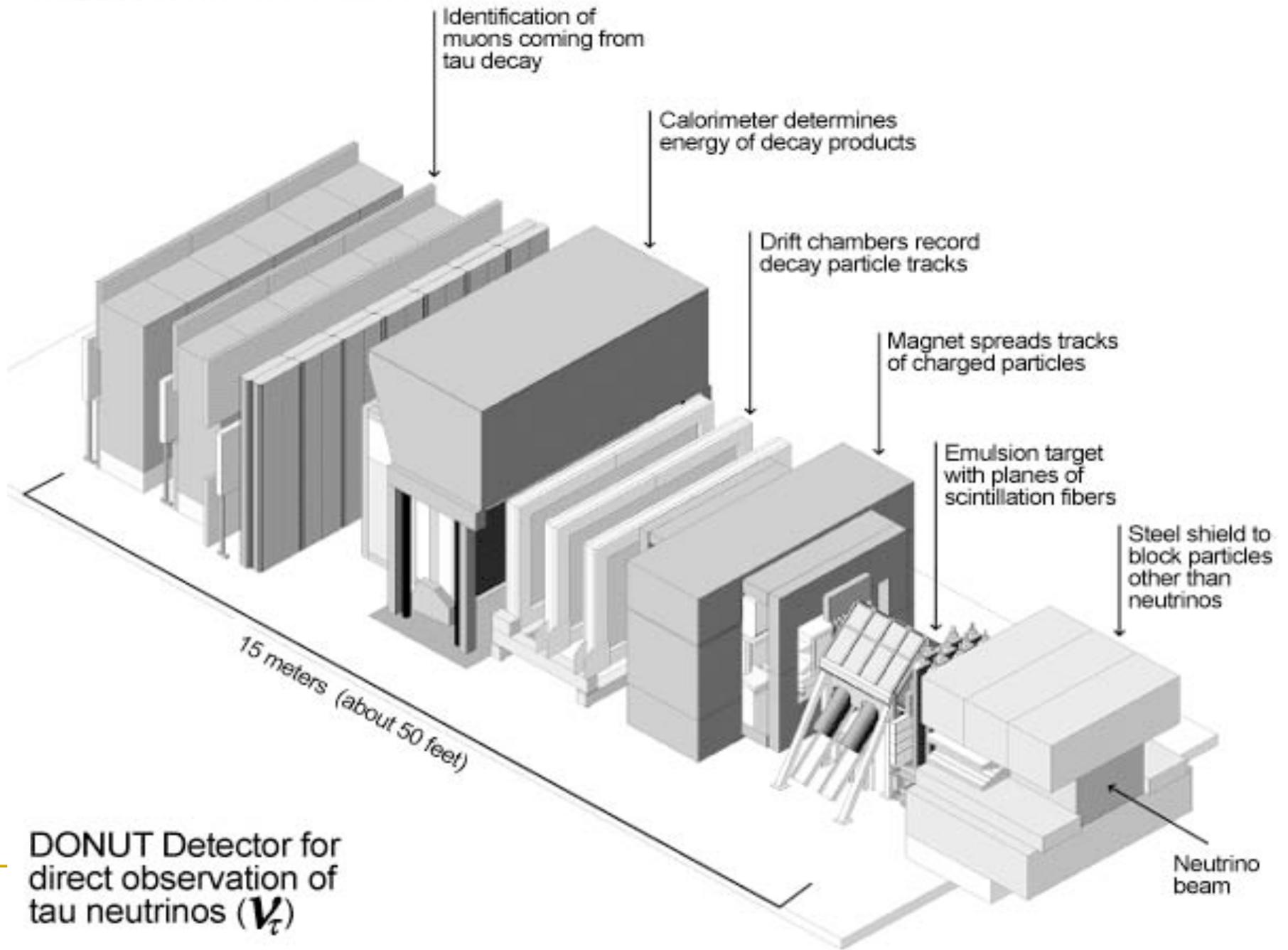
- 1) il tempo di decadimento del tau è molto breve; ciò significa che la lunghezza di decadimento misura solo 4mm.
- 2) il neutrino tau, è non-interagente

Bisognava costruire un detector con una risoluzione spaziale molto fine; a hybrid emulsion spectrometer (HES) completano il lavoro poiché l'emulsione densa registra tutti gli eventi mentre lo spettrometro provvede all'identificazione degli eventi da analizzare



L'identificazione del tau è complicata dalla sua breve vita media (qualche mm). In DONUT si sono usate perciò emulsioni nucleari, rivelatori ad altissima risoluzione spaziale (1 micron). Sopra è mostrato uno degli eventi di segnale. Il tau decade in elettrone dopo circa 4 mm

DONUT Detector



Trigger counter system

Il detector riceve una quantità enorme di eventi, ma solo il 5% di questi hanno un interesse rilevante.

Il sistema dell'acquisizione dati consiste in tre set di scintillatori che usano la logica *nothing in and one or more out* per selezionare gli eventi rilevanti.

Il primo criterio, *nothing in*, richiede che la particella passi attraverso una parete che operi una prima selezione.

Dopo questa parete ci sono tre set di scintillatori posizionati dopo il secondo e il quarto modulo. Se gli scintillatori ricevono uno o più urti dopo la parete parte il sistema di acquisizione.

Drift Chamber Tracking

A questo punto i neutrini hanno interagito e hanno prodotto particelle.

Il restante compito dello spettrometro è quello di determinare la carica e il momento delle particelle passate così da essere identificate come prodotti di interazione e le loro tracce possono essere interpolate per risalire al vertice dell'evento.

In particolare, le drift chambers contribuiscono con le fibre scintillanti a leggere le tracce nel discriminatore; sono costruite in maniera tale da avere un piccolo impatto sul passaggio della particella in modo da non modificarne l'energia.

Emulsion Sheets as Targets

I fogli di emulsione sono utili perché il detector ed il bersaglio non sono separati.

Lo svantaggio è che una grande frazione dell'angolo solido non può essere osservata.

Ci sono anche dei limiti sullo spessore delle emulsioni poiché la sezione trasversale può creare una distorsione e quindi una difficoltà ottica nell'esaminazione microscopica.

Scanning

Gli emulsion detector portano un'enorme quantità di dati (usualmente dell'ordine dei terabytes) e questi sono registrati su lastre fotografiche. La difficoltà consiste proprio nel prendere queste immagini e renderle dati utilizzabili.

Ci sono 2 tipi di tecniche di scanning. La prima, area scanning, consiste nel cercare microscopicamente attraverso un dato volume di emulsioni, gli eventi di interesse.

La seconda tecnica invece è molto usata per selezionare specifiche particelle con differenti momenti identificando il diverso spessore della traccia oppure la sua densità. Questa procedura è molto efficiente, specialmente per gli eventi in movimento.

Caratteristiche delle tracce

Ci sono tre caratteristiche misurabili delle tracce delle particelle: la lunghezza, la densità di ionizzazione e la direzione.

Prima di tutto è necessario determinare il tipo di traccia. La particella perde energia per eccitazione o ionizzazione, producendo radiazione Cerenkov. Esaminando i dati bisogna tener conto dell'alterazione della traccia dovuta allo scattering di Coulomb.

La deflessione media è inversamente proporzionale al momento della particella e direttamente proporzionale alla carica

Analisi di un evento

Le informazioni dallo spettrometro e dal calorimetro sono state usate per selezionare gli eventi possibili.

Le piste ricostruite allora sono state usate per ricostruire un vertice con una precisione tipica di 1 millimetro nella coordinata trasversale e di 7 millimetri nel senso del fascio.

Questa selezione di evento è stata usata per limitare il formato del volume di ricerca nell'obiettivo dell'emulsione.

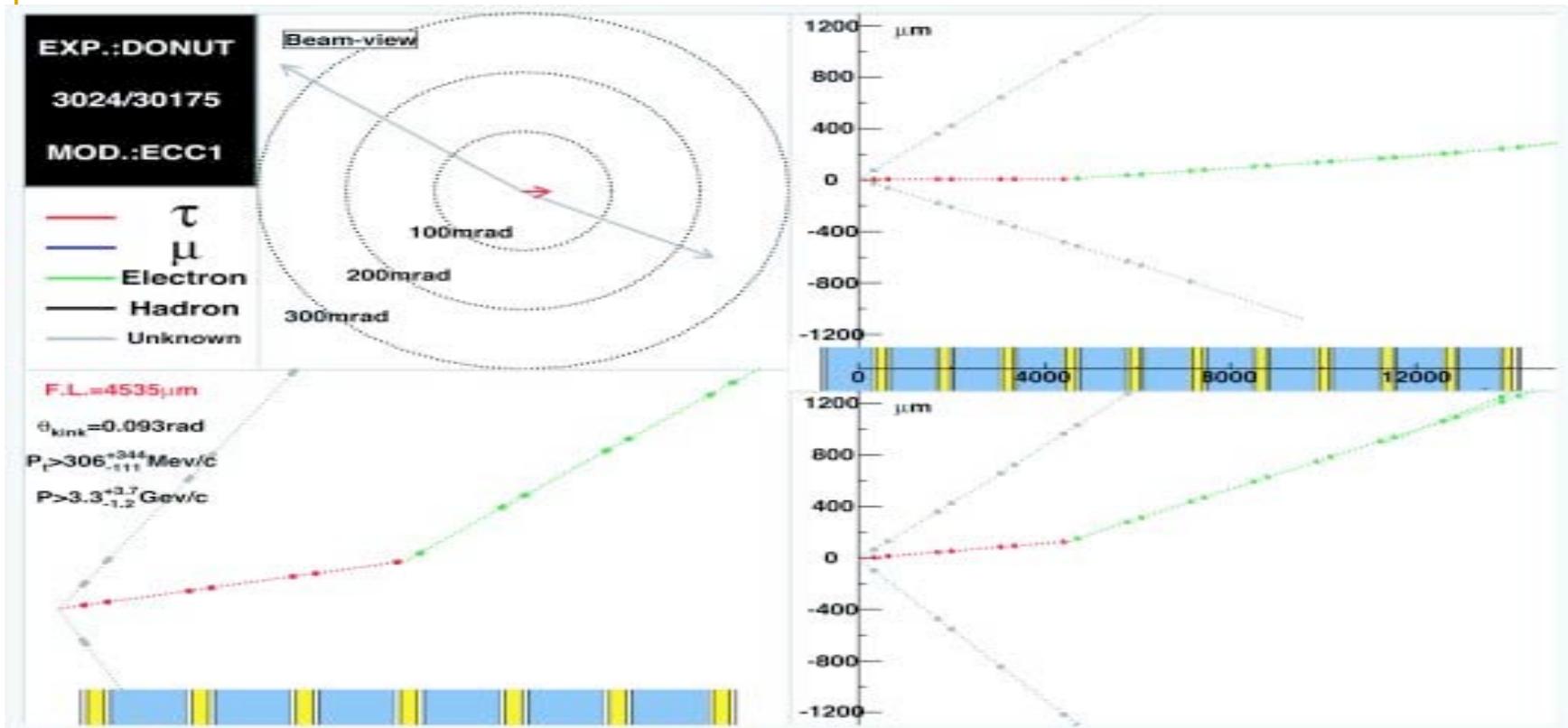
Dopo ulteriori tagli sulla geometria e sull'energia di evento un totale di 898 eventi sono stati classificati come candidati di interazione del neutrino.

Degli 898 candidati, 698 hanno avuto un vertice previsto all'interno del volume dell'emulsione.

I requisiti supplementari della precisione di topologia e di vertice di evento hanno ridotto il campione a 499 eventi.

Questi 499 eventi sono stati esplorati usando le stazioni completamente automatizzate di esame dell'emulsione, che hanno seguito tutte le piste dal vertice attraverso i fogli differenti dell'emulsione.

Un vertice valido è stato situato per 262 dei 499 eventi.



Una delle quattro interazioni osservate della corrente di carica del neutrino di tau.

La firma del nodo del decadimento di tau è chiaramente visibile.

L'obiettivo è rappresentato alla parte inferiore:

acciaio = azzurro

emulsioni = colore giallo

In questo esempio il tau decade in un elettrone.

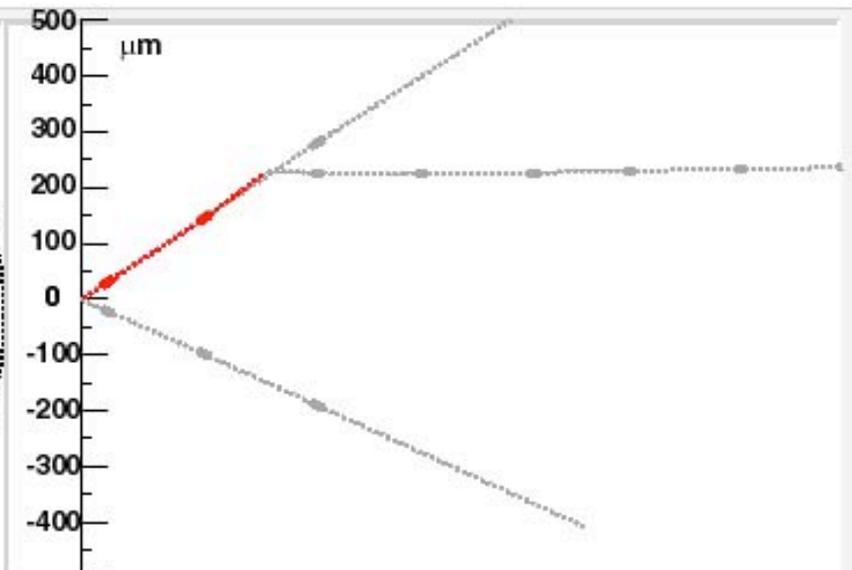
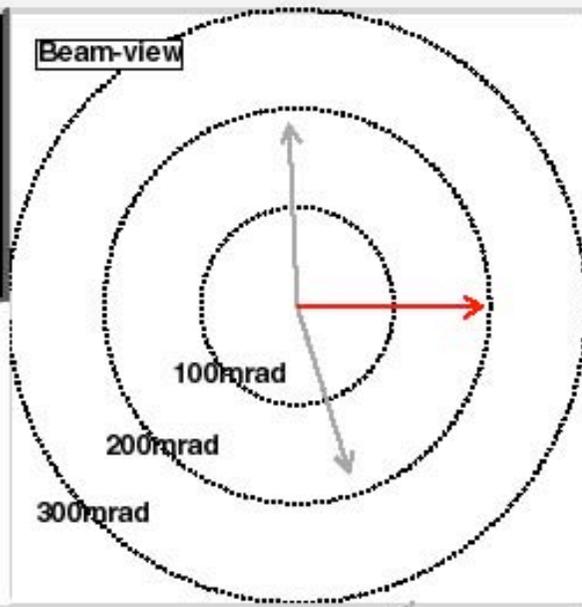
EXP.:DONUT

3263/25102

MOD.:E/B1

- τ
- μ
- Electron
- Hadron
- Unknown

Beam-view

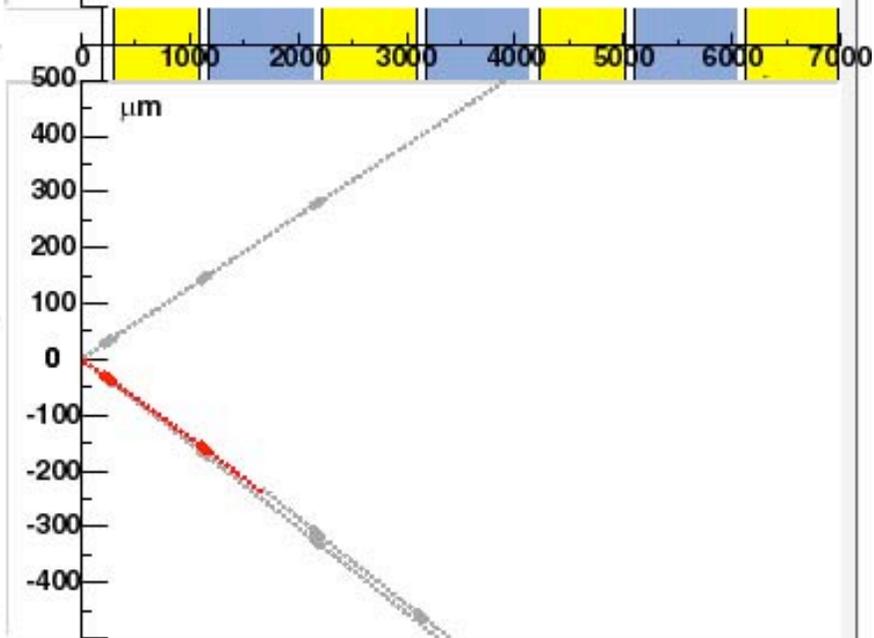
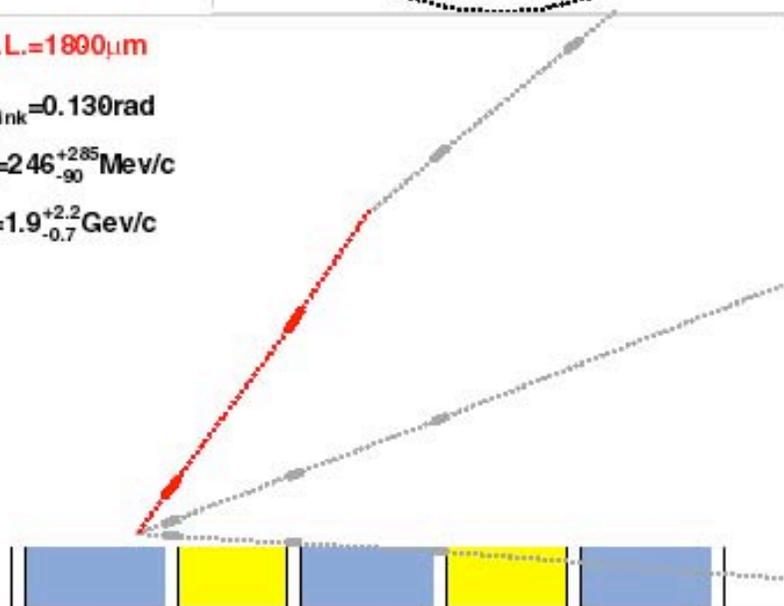


F.L.=1890 μ m

$\theta_{\text{kink}}=0.130\text{rad}$

$P_1=246^{+285}_{-90}\text{Mev/c}$

$P=1.9^{+2.2}_{-0.7}\text{Gev/c}$

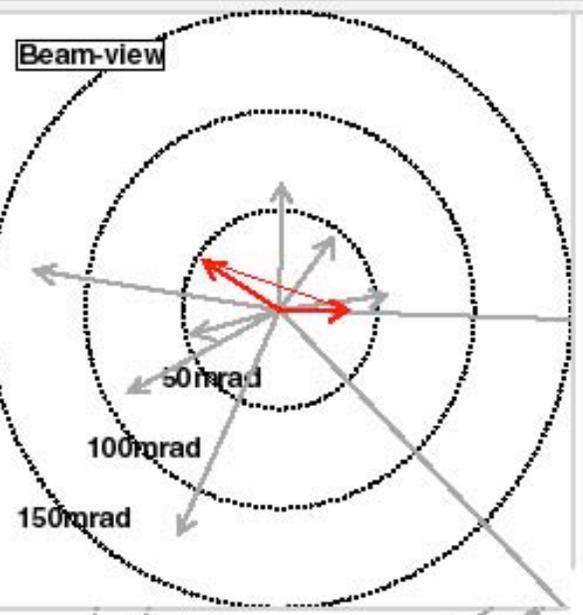


EXP.:DONUT

3356/17099

MOD.:E/B3

- τ
- μ
- Electron
- Hadron
- Unknown

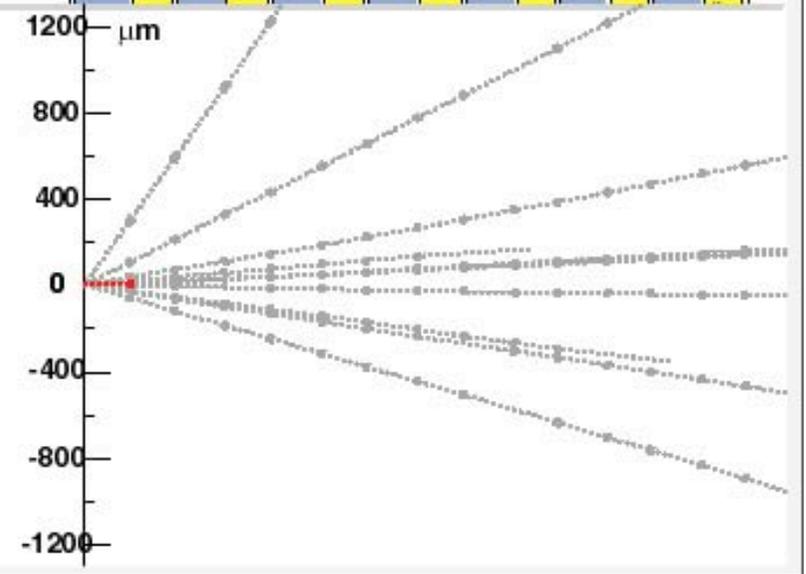
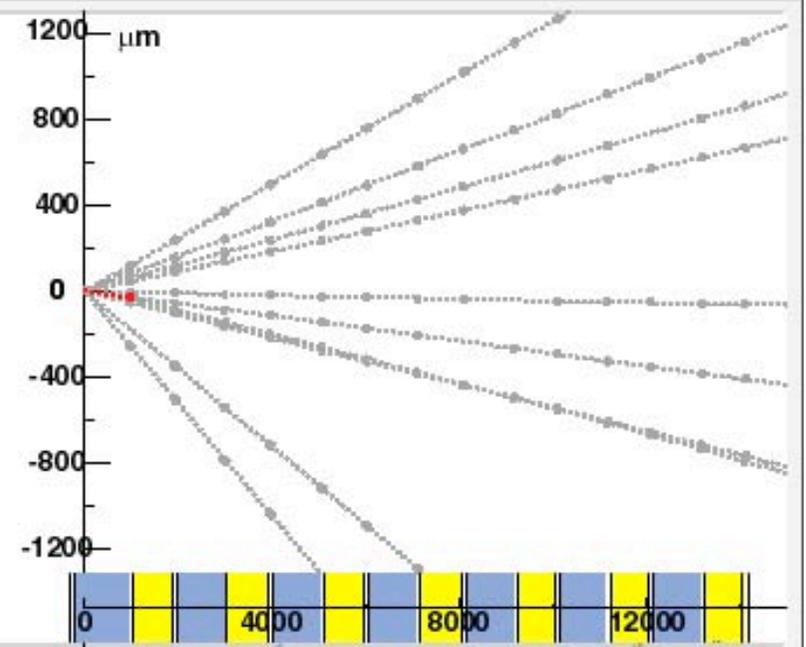
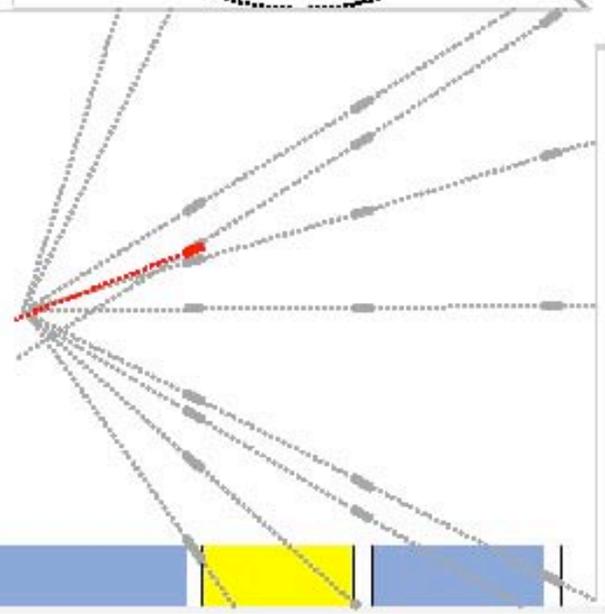


F.L.=900 μ m

$\theta_{\text{kink}}=0.026\text{rad}$

$P_t=86^{+55}_{-20}\text{MeV}/c$

$P=3.2^{+3.5}_{-1.1}\text{GeV}/c$



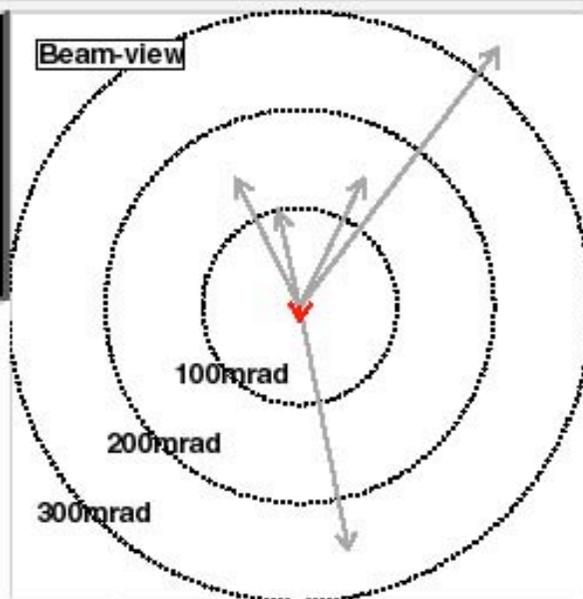
EXP.:DONUT

3333/17665

MOD.:E/B2

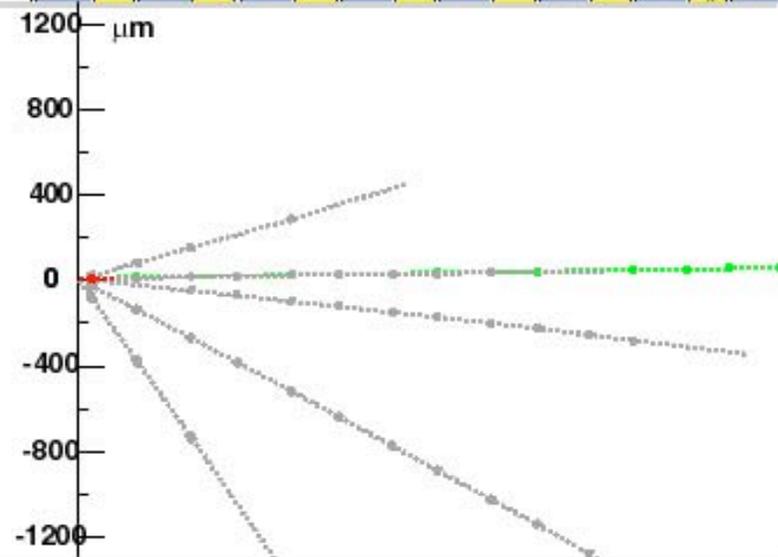
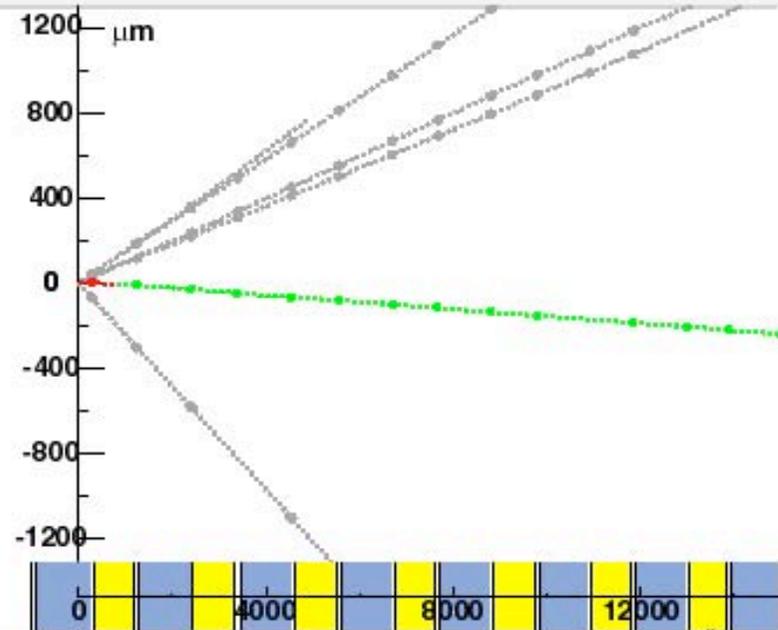
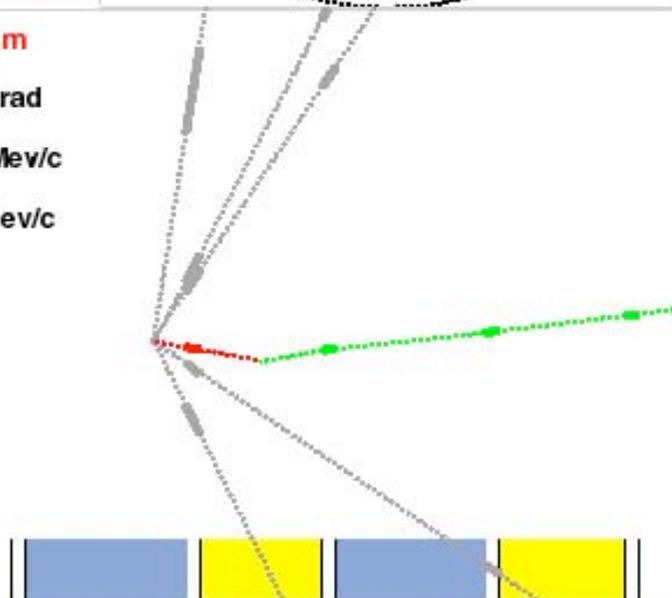
- τ
- μ
- Electron
- Hadron
- Unknown

Beam-view

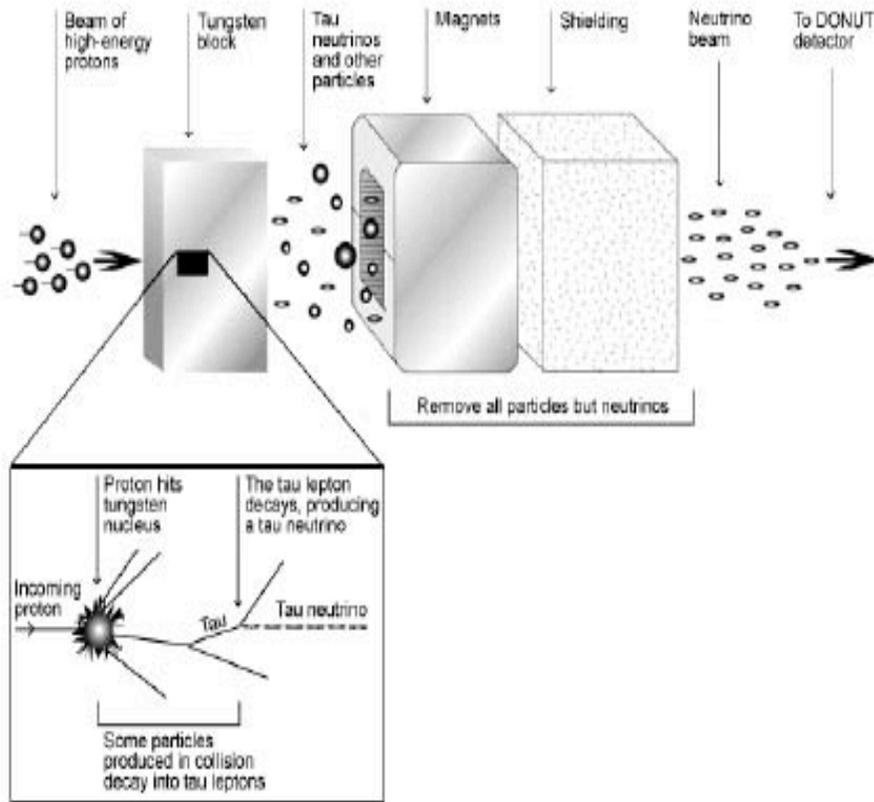


F.L.=540 μ m

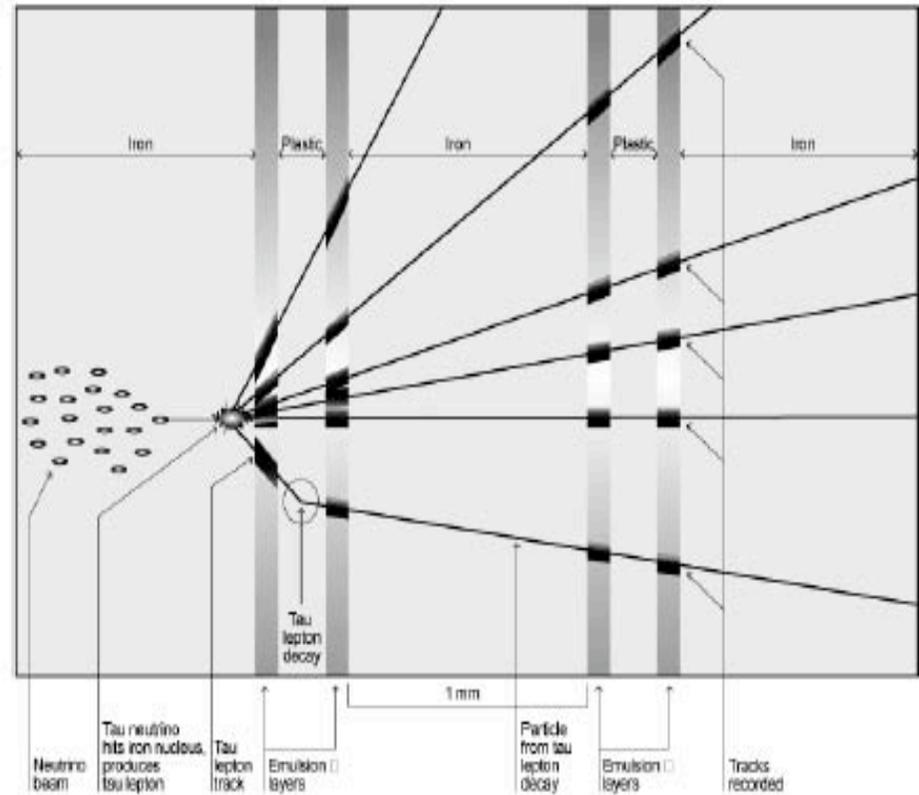
$\theta_{\text{kink}}=0.013\text{rad}$
 $P_t=278^{+187}_{-83}\text{MeV/c}$
 $P=21.4^{+14.4}_{-6.4}\text{GeV/c}$



ν_{τ} Discovery



Detecting a Tau Neutrino



Of one million million tau neutrinos crossing the DONUT detector, scientists expect about one to interact with an iron nucleus.

Il risultato

I criteri di selezione per gli eventi del NT sono stati stabiliti tramite simulazione Monte Carlo. Dopo l'applicazione di questi criteri di selezione al campione di 203 eventi, sono rimasti quattro eventi. Questo risultato sperimentale è costante con il numero di eventi previsti nel campione, 4,2 eventi di tau.

Il numero totale di eventi della priorità bassa è valutato a $0,34 \pm 0,05$. Di conseguenza la probabilità che tutti e quattro gli eventi sono un risultato di una fluttuazione della priorità bassa è 4×10^{-4} .

Questi eventi confermano l'esistenza del NT come socio del leptone tau nel modello standard delle interazioni elettrodeboli.