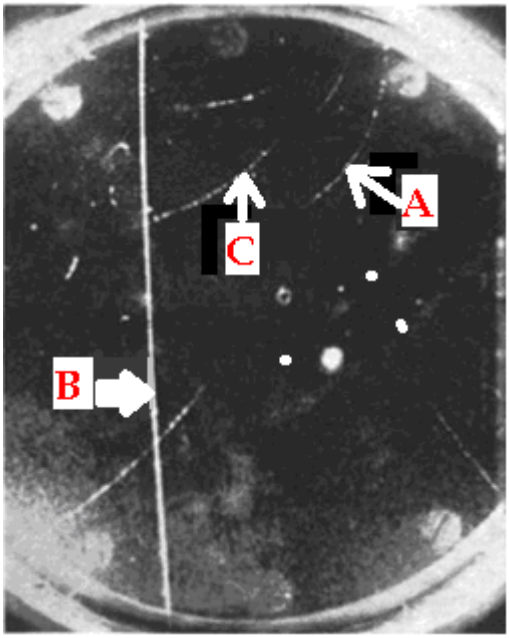
Laboratorio	**Materiali**	Righello Compasso

Principali risultati precedenti al 1932, anno dell'Esperimento di Anderson

1874 George Stoney sviluppa la teoria dell'elettrone e ne ipotizza la massa.
1898 Thompson misura il rapporto carica/massa per l' elettrone e sviluppa il suo modello atomico.
1905 Einstein descrive il fotone come quanto di luce, che si comporta come una particella.
1911 Rutherford capisce che l'atomo ha un nucleo interno.
1919 Rutherford fornisce la prima evidenza dell'esistenza del protone.
1928 Dirac combina la meccanica quantistica e la relativita' speciale per descrivere l'elettrone.
1930 Pauli parla per la prima volta del neutrino per spiegare il decadimento β
1931 Dirac capisce che le particelle a carica positiva richieste dalla sua equazione sono oggetti nuovi ("positroni"). Si parla di anti-materia!
Chadwick scopre il neutrone.

La camera a nebbia (o di Wilson) è uno strumento di rivelazione di particelle elementari.
La camera a nebbia consiste in una scatola a tenuta ermetica che contiene aria satura di vapore acqueo.
Una qualsiasi particella elementare carica elettricamente che penetri nella scatola ionizzando gli atomi con i quali si scontra crea, lungo il proprio tragitto, un fitto susseguirsi di nuclei di condensazione (atomi ionizzati), attorno ai quali il vapore soprassaturo si raccoglie a formare minuscole goccioline (nebbia).
La traccia lasciata dalla traiettoria percorsa della particella può essere fotografata attraverso una parete trasparente della scatola e da questa si può risalire, con particolari accorgimenti, alla determinazione della natura della particella.



Principali caratteristiche

- Si osservano **solo particelle cariche**.
- Lo spessore delle tracce è tanto maggiore quanto maggiore è la massa delle particelle che le producono.

All'interno della camera a nebbia è presente un **campo magnetico perpendicolare** al foglio ed entrante.

Nome	***Carica***	***Massa***
Protone	$1{,}602 \times 10^{-19}$ coulomb	$1{,}6726 \times 10^{-27}$ kg
Elettrone	$-1{,}602 \times 10^{-19}$ coulomb	$9{,}1093826 \times 10^{-31}$ kg
Neutrone	0	$1{,}6749 \times 10^{-27}$ kg

Cerca di associare alle tracce etichettate nella figura in alto la particella che potrebbe averle causate,
La particella A è un .....
La particella B è un .....
La particella C è un .....

. Perché le traiettorie delle particelle sono curve? Quale forza determina deviazione questo tipo di traiettoria?

. .....

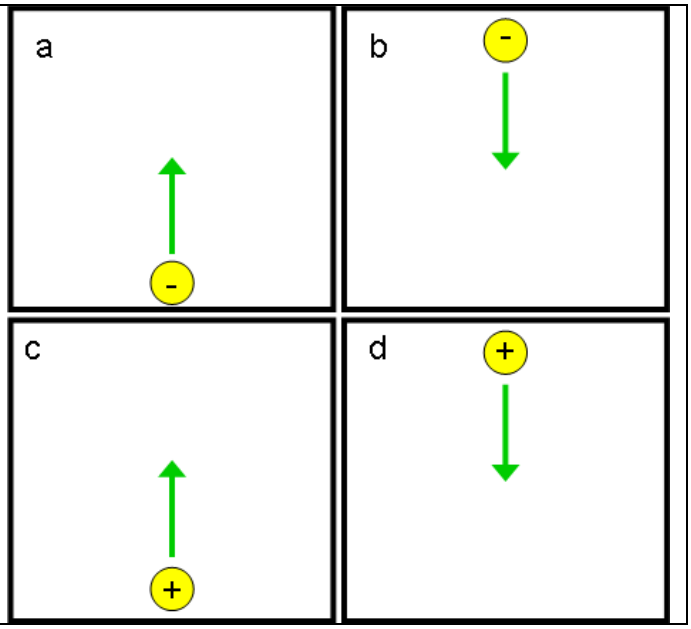
. .....

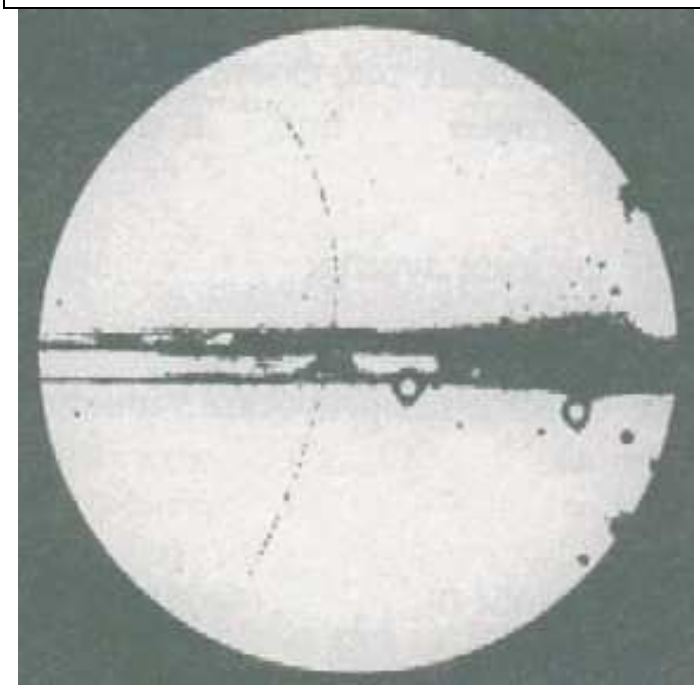
. .....

ESERCIZIO DI ALLENAMENTO

Ricordando che nella camera a nebbia c'è un campo magnetico entrante nel foglio, disegna in modo qualitativo la forma della traiettoria di una particella

a. Proveniente dal fondo della camera a nebbia e di segno –
b. Proveniente dall'alto della camera a nebbia e di segno –
c. Proveniente dal fondo della camera a nebbia e di segno +
d. Proveniente dall'alto della camera a nebbia e di segno +



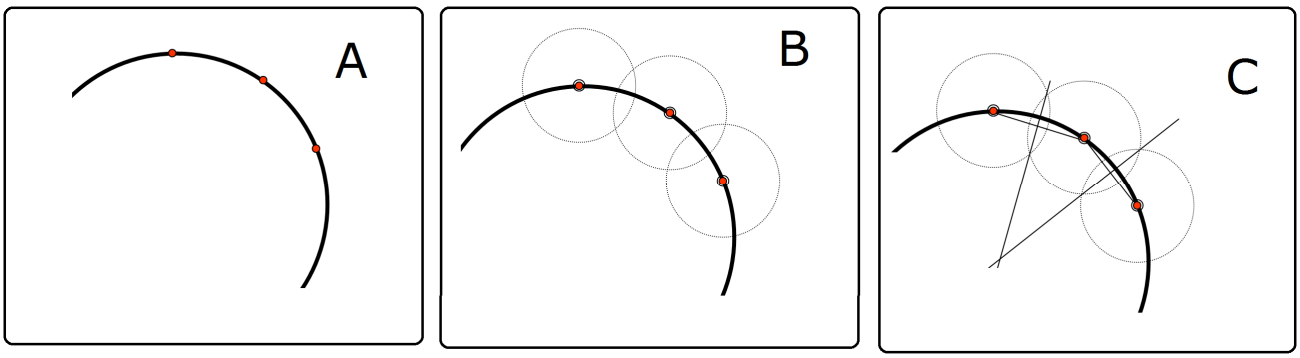


Nella fotografia a sinistra è riportata la traccia lasciata in una camera a nebbia dalla particella osservata da Anderson nel 1932 durante un suo esperimento.

Nota, che la striscia scura orizzontale è una lastra di piombo posta all'interno della camera a nebbia. Siccome si tratta di una traccia leggera, essa è associabile a una particella di massa piccola.
Anderson voleva capire di che tipo di particella si trattasse e, a tal fine, utilizzò la lastra di piombo presente nella camera a nebbia.

Cerchiamo ora di stabilire da che parte arriva la particella: misurate i due raggi di curvatura della particella al di sotto e al di sopra della lastra di piombo. Sono uguali oppure sono diversi? Se sono diversi, perché?

(A) Per misurare il raggio di curvatura dobbiamo individuare 3 punti sulla parte di traccia che ci interessa. **(B)** Quindi aiutandoci con un compasso possiamo costruire 3 circonferenze ciascuna centrata in un punto **(C)** A questo punto tracciando le due bisettrici possiamo individuare il centro, quindi il raggio di curvatura



In questi esperimenti la quantità di moto (p) è solitamente espressa in unità di misura MeV/c.
Dagli esperimenti fatti nel corso della precedente sessione di laboratorio abbiamo ottenuto una formula che lega il raggio di curvatura (r misurato in metri) al campo magnetico B (misurato in Tesla) e alla carica della particella in unità di carica elementare Z.

$$r \approx 0.33 \frac{p[MeV/c]}{B \cdot Z} 10^{-2} \Leftrightarrow p[MeV/c] \approx 300 \cdot r \cdot B \cdot Z$$

ESPERIMENTO

Usando il metodo geometrico appena descritto e aiutandoti con il compasso e il righello analizza l'immagine allegata in cui è riportato l'ingrandimento della foto di Anderson**.** Prendi con cura le misure analizzando le due parti diverse della traccia per ottenere i due raggi "di curvatura".

Lo spessore della lastra misurato in cm è d_0 =.....m

Raggio misurato in m della traccia della particella nella parte superiore della foto (come possiamo misurare con il righello) r_{top}=.....m	Raggio reale misurato in m della traccia della particella nella parte superiore della foto (nelle corrette unità di misura) $r = r_{top} \frac{1}{d_0} 0.006$ =.....m
Raggio misurato in m della traccia della particella nella parte inferiore della foto (come possiamo misurare con il righello) r_{bottom}=.....m	Raggio effettivo misurato in m della traccia della particella nella parte inferiore della foto $r = r_{bottom} \frac{1}{d_0} 0.006$ = ...m.

Campo magnetico B=1.5 T

Quantità di moto in MeV/c della particella nella parte superiore della foto supponendo che abbia la stessa carica dell'elettrone (Z=1) $p \approx 300 \cdot r \cdot B \cdot Z$ = ...[MeV/c]	Quantità di moto in MeV/c della particella nella parte inferiore della foto supponendo che abbia la stessa carica dell'elettrone (Z=1) $p \approx 300 \cdot r \cdot B \cdot Z$ = ...[MeV/c]

Dalle informazioni in tuo possesso sapresti dire dove la particella ha quantità di moto maggiore e dove minore?

.....
.....
.....
.....

Come influisce la presenza della lastra di piombo sull'energia della particella? Possiamo stabilire la sua provenienza?

.....
.....
.....
.....

Sai dunque dire da dove arriva la particella?

.....
.....
.....
.....

Sapendo da dove arriva la particella e ricordando i risultati ottenuti nell'esercizio di allenamento a pagina 2 sapresti dire se la particella è carica positivamente o negativamente?

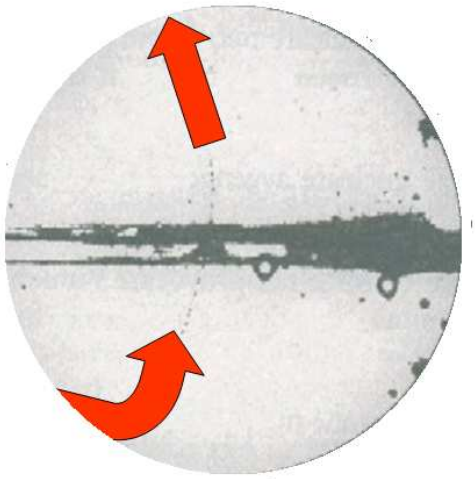
.....
.....
.....

RISULTATI OTTENUTI

Cerchiamo di riordinare le idee sulla particella che ha lasciato le tracce nell'esperimento di Anderson:

- Sappiamo che è una particella leggera e quindi potrebbe essere un elettrone.
- La particella nell'attraversare la lastra di piombo perde energia e quindi proviene dal basso della figura
- Il campo magnetico è entrante nel foglio e la sua traiettoria devia verso sinistra, quindi la particella avrà necessariamente carica positiva.

La particella è un elettrone positivo, cioè è l'antiparticella dell'elettrone, ovvero il positrone



Velocità e quantità di moto

Nell'esperimento di Thomson gli elettroni, inizialmente accelerati dal potenziale V, erano deflessi dal campo magnetico. Prendiamo il caso di un potenziale di 200 V. Abbiamo calcolato in quel caso i valori della quantità di moto p e della velocità v.

p[KeV/c]= $1.01\sqrt{V[Volt]} = \ldots\ldots\ldots\ldots KeV/c$ v[m/s]= $\sqrt{V[Volt]}5.9\cdot 10^5 m/s = \ldots\ldots\ldots\ldots m/s$

Dalla meccanica Newtoniana sappiamo che la quantità di moto è il prodotto della velocità e della massa. Utilizzando le nostre nuove unità di misura verifichiamo che

$$p = m_e v \Leftrightarrow v = \frac{p}{m_e}\frac{[MeV/c]}{[MeV/c^2]} = \ldots\ldots\ldots\ldots c = \ldots\ldots\ldots\ldots m/s$$

Ricordando che m_e=0.511 MeV/c^2, $c = 3\cdot 10^8 m/s$, $1KeV = 10^{-3} MeV$

Il risultato è in accordo con la meccanica Newtoniana?

.....
.....
.....

Qual è il rapporto tra la velocità dell'elettrone catodico rispetto alla velocità della luce?

.....
.....

Proviamo a ripetere lo stesso calcolo per il positrone "cosmico" dell'esperimento di Anderson, la cui massa è uguale a qella dell'elettrone

$$p_{e^+} = m_e v_{e^+} \Leftrightarrow v_{e^+} = \frac{p_{e^+}}{m_e}\frac{[MeV/c]}{[MeV/c^2]} = \ldots\ldots\ldots\ldots c = \ldots\ldots\ldots\ldots m/s$$

Qual è il rapporto tra la velocità del positrone cosmico rispetto alla velocità della luce?

.....
.....

C'è qualcosa che ti stupisce in questo risultato? Cosa?

.....
.....

La velocità che abbiamo ottenuto per il positrone di Anderson è molto più grande della velocità della luce e questo non sarebbe coerente con la teoria della Relatività di Einstein.
Quindi riassumiamo alcune semplici regole che si applicano nel nostro caso:

- La quantità di moto non si può esprimere come prodotto della massa per la velocità ($p \neq mv$) ma bisogna introdurre una nuova espressione Relativistica:

$$p = mv\sqrt{\frac{c^2}{c^2 - v^2}}$$

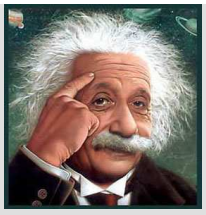
- Dalle nostre misure, basate sulla forza di Lorentz (ovvero applicando la formula $p \approx 300 \cdot r \cdot B \cdot Z$) si ricavano correttamente i valori della quantità di moto
- La velocità si ricava dalla quantità di moto come

$$v = c\sqrt{\frac{p^2}{m^2c^2 + p^2}}$$

Calcoliamo quindi le velocità per l'elettrone nell'esperimento di Thomson e per il positrone nell'esperimento di Anderson utilizzando questa nuova formula

Thomson	**Anderson**
$v_e = c\sqrt{\frac{p^2}{m^2c^2 + p^2}} = ...c = ...m/s$	$v_{e^+} = c\sqrt{\frac{p^2}{m^2c^2 + p^2}} = ...c = ...m/s$

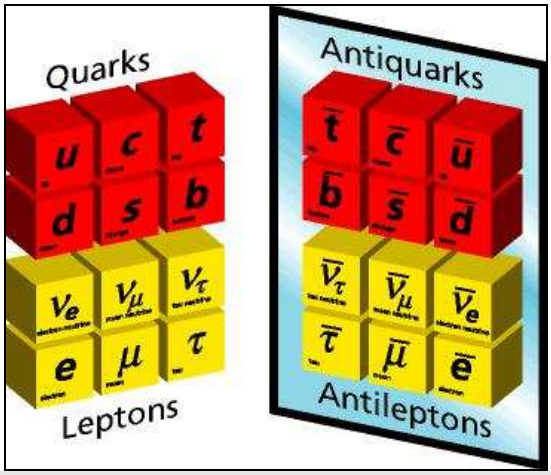
Confronta con i risultati ottenuti dalla meccanica Newtoniana e commenta
.....
.....
.....
.....
.....
.....
In tabella utili formule per confrontare i risultati delle due diverse teorie



	NEWTON	**EINSTEIN**
Massa	Kg	MeV/c^2
Quantità di moto	Kg m/s	MeV/c
Quantità di moto	$m\ v$	$p = mv\sqrt{\frac{c^2}{c^2 - v^2}}$
Energia di massa a riposo		$E_0 = mc^2$
Energia Cinetica K	$K = \frac{\lvert\vec{p}\rvert^2}{2m} = \frac{m\lvert\vec{v}\rvert^2}{2}$	$K = \sqrt{c^2\lvert\vec{p}\rvert^2 + m^2c^4} - mc^2$
Energia Totale della particella	$K = \frac{\lvert\vec{p}\rvert^2}{2m}$	$E_T = \sqrt{c^2\lvert\vec{p}\rvert^2 + m^2c^4}$
Energia Totale di particelle senza massa	K=0	$E_T = \sqrt{c^2\lvert\vec{p}\rvert^2} = c\lvert\vec{p}\rvert$

La scoperta del positrone: Inizio della storia della fisica delle particelle.

L'esistenza delle antiparticelle: una proprietà generale (ma non universale!) delle particelle elementari.
Antiparticella: stessa massa della particella ma carica (e momento magnetico) opposti.
I costituenti fondamentali hanno tutti un'antiparticella.
L'antimateria è costituita di antiparticelle corrispondenti alle particelle che costituiscono le materia ordinaria. Se particella ed antiparticella vengono a contatto tra loro, le due si annichilano emettendo radiazione elettromagnetica rispettando il principio di conservazione della massa-energia.



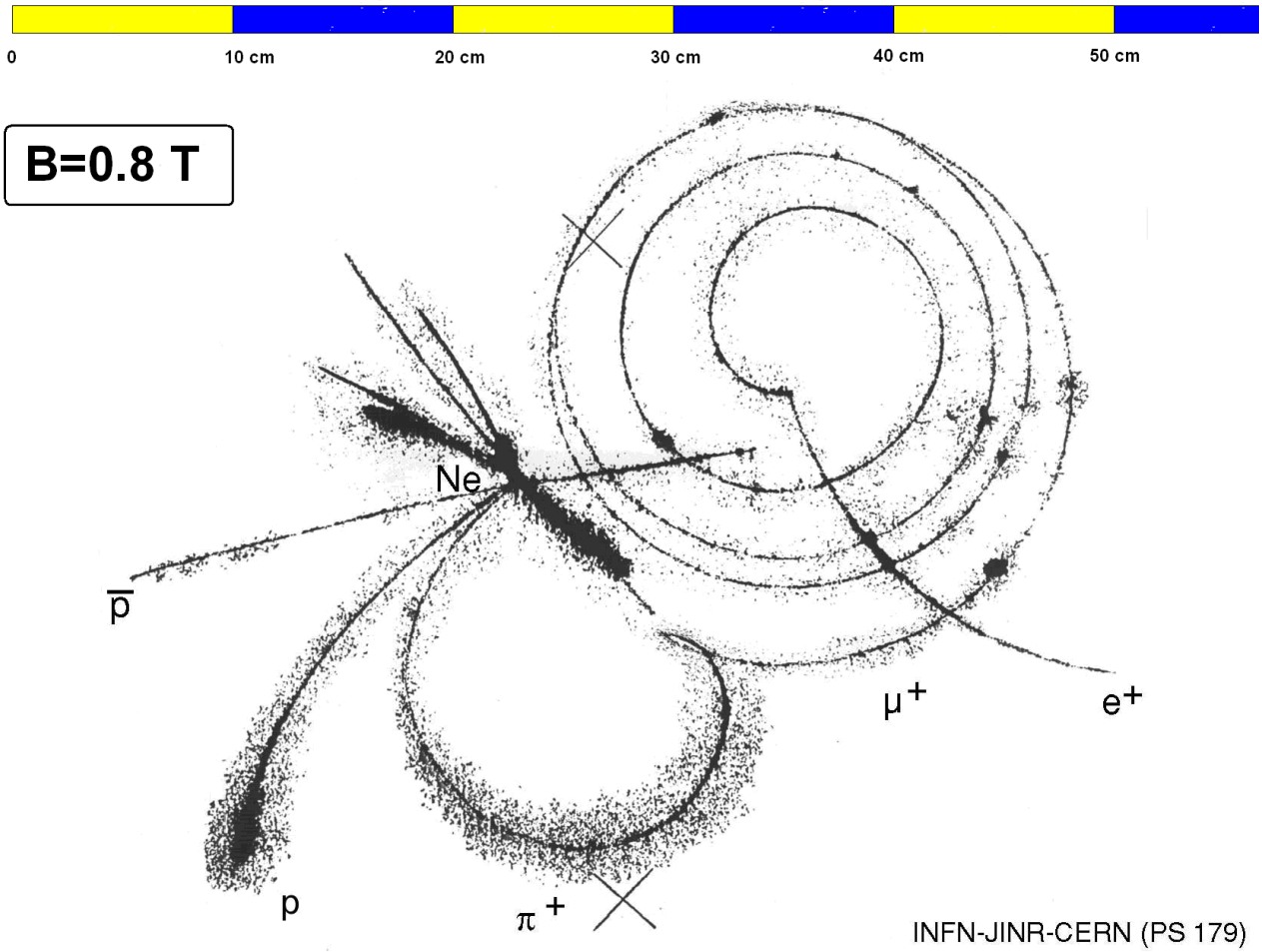
La prima ipotesi dell'esistenza dell'antimateria fu ad opera del fisico Paul Adrien Marcel Dirac nel 1928 che dedusse teoricamente l'esistenza dell'antiparticella dell'elettrone dotata di carica positiva. Nel 1933 Carl David Anderson diede la conferma sperimentale dell'esistenza dell'antielettrone e lo chiamò positrone, contrazione di "positive electron".
Nel 1959 i fisici Emilio Segrè e Owen Chamberlain scoprirono l'antiprotone e grazie a questa scoperta ricevettero il premio Nobel. Nel 1997 al CERN ricercatori svizzeri, italiani, inglesi, danesi, giapponesi e brasiliani nell'ambito del progetto ATHENA (ApparaTus for High precision Experiments with Neutral Antimatter), crearono i primi atomi di antidrogeno, circa 50.000 atomi. Con questo esperimento finalmente si comprese che è possibile produrre antimateria.

Sebbene utilizzata principalmente per studiare le interazioni tra particelle elementari, l'antimateria ha anche un'applicazione tecnologica: la tomografia a emissione di positroni, o PET. Si tratta di uno strumento di diagnostica medica che utilizza l'emissione di positroni per realizzare immagini degli organi interni dei pazienti, e consente di individuare tumori in base al loro metabolismo. Associata contestualmente a una macchina TAC, si ottiene una TAC-PET, che fornisce informazioni sia anatomiche che metabolico-funzionali degli organi indagati.
Un' ulteriore applicazione dell'antimateria potrebbe essere la produzione energia. Se una parte di antimateria si annichilisce a contatto con della materia ordinaria, tutta la massa delle particelle ed antiparticelle annichilite viene convertita in energia. Questo processo permetterebbe di ottenere enormi quantità di energia da quantità molto piccole di materia ed antimateria, al contrario di quanto avviene invece per le reazioni nucleari e chimiche, dove a parità di massa di combustibili utilizzati viene prodotta una quantità di energia molto più piccola.

CAMERA A STREAMER

La camera a streamer è un dispositivo utilizzato per la rilevazione di particelle elettricamente cariche. È costituita da piastre metalliche poste in una scatola chiusa riempita con un gas nobile (qui Ne). Una particella carica, che viaggia attraverso la camera, ionizza il gas tra le piastre. Un sistema di attivazione, spesso uno scintillatore, rileva il passaggio delle particelle. L'alta tensione viene quindi immediatamente applicata alle piastre creando un campo elettrico. Questo produce scintille in cui il gas è ionizzato, lungo la traiettoria della particella e questa traccia può essere fotografata.
Le tracce nella camera a streamer sono simili a quelle nella camera di Wilson, la principale differenza è che non c'è relazione tra la massa della particella e lo spessore della traccia osservata.

Nella camera è presente un campo magnetico di intensità 0,8 T. In una camera a streamer, in cui è presente del neon (Ne), è visualizzato un urto tra un antiprotone e un atomo di neon.
L'antiprotone proveniente dal lato sinistro della Figura possiede una certa velocità, mentre la particella di neon é ferma.
Dal loro urto si formano un protone (p) e un pione (π^+). Il pione (π^+) decade in un muone (μ^+), il quale decade, successivamente, in un positrone (e^+).

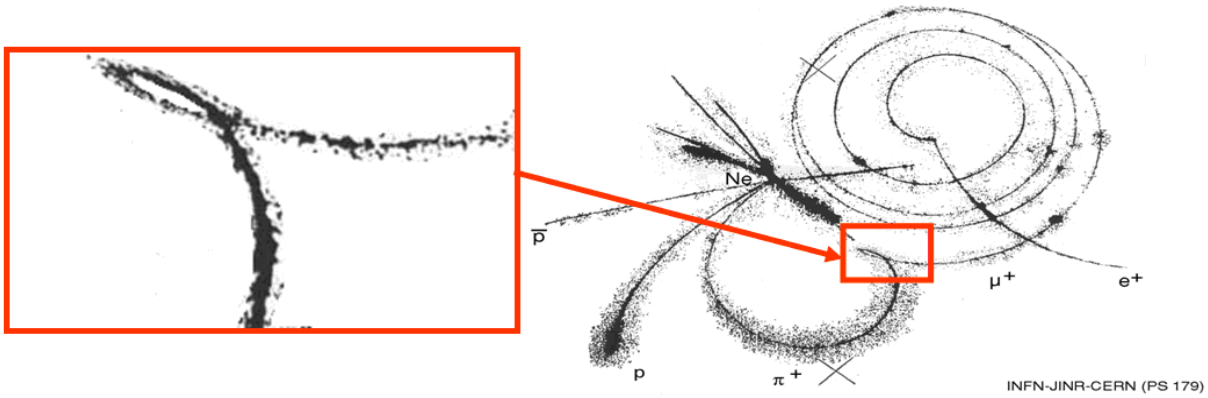


Considerando che le particelle π^+,μ^+, e^+ sono cariche positivamente qual è il verso del campo magnetico nella camera a streamer?

……
……
……

ESPERIMENTO π→ μ

Ragiona su questo particolare della figura. È uno zoom della traiettoria del pione subito prima del decadimento e del muone subito dopo.



Usando il metodo già utilizzato in precedenza misura il raggio della traccia della particella π prima del decadimento e della particella μ dopo il decadimento. Quindi calcola il modulo della quantità di moto, p, e l'energia cinetica, K

	Raggio di curvatura [cm]	Quantità di moto [MeV/c]	Energia cinetica [MeV]	Massa [MeV/c^2]
Pione (π)				140
Muone (μ)				105.6

Disegna la direzione e il verso dei vettori quantità di moto del pione e del muone.
(Il punto di applicazione del vettore sarà il punto dove il pione decade e viene generato il muone mentre la direzione sarà quella tangente al tratto di traiettoria più prossimo al decadimento).

Quindi puoi raccogliere qui calcolare l'energia totale $E_T = \sqrt{c^2|\vec{p}|^2 + m^2c^4}$

	Prima del decadimento	Dopo il decadimento
Energia totale	$E_\pi =$	$E_\mu =$ .....

Confrontando i risultati ottenuti prima e dopo il decadimento cosa pensi riguardo:

la conservazione della massa .....
.....
la conservazione dell'energia cinetica .....
.....
la conservazione dell'energia totale .....
.....

Possiamo supporre che, benché non ne vediamo la traccia, una o più particelle siano generate nel punto dove il pione decade.
Quale deve essere la carica totale di queste particelle "invisibili" affinchè la carica sia conservata? (Considera che la carica del pione è +1 e quella del muone è +1).
……..
……..
……..
Quale deve essere la carica di ciascuna di queste particelle invisibili?
……
……..
La particella generata è un neutrino, una particella di carica nulla e massa molto piccola ($m_\nu \approx 0$)
In base al principio di conservazione della quantità di moto deve valere la relazione:

$$\vec{p}_\nu = \vec{p}_\pi - \vec{p}_\mu$$

Calcola il valore della quantità di moto del neutrino sottraendo con la regola del parallelogramma i due vettori quantità di moto del pione e del muone

$$|\vec{p}_\nu| = \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Per particelle di massa nulla possiamo calcolare l'energia cinetica come $K_\nu \approx c\,|\vec{p}_\nu| = \ldots\ldots\ldots$
e l'energia totale dopo l'evento $E_\nu = K_\nu \approx \ldots\ldots\ldots$ [Aiutati con la tabella a pagina 6]

Quindi possiamo fare una tabella che contiene tutti i dati che abbiamo raccolto ed elaborato fin qui

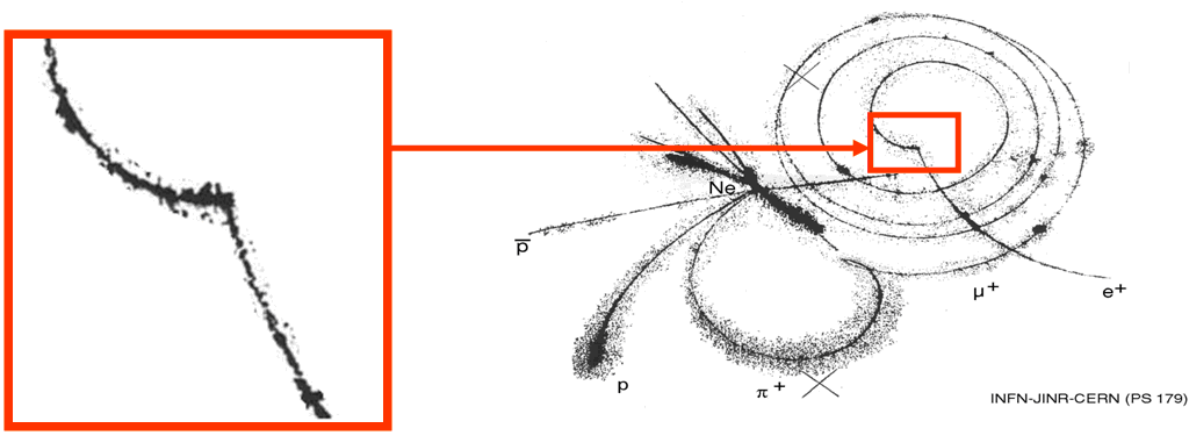
	Prima del decadimento	Dopo il decadimento		Variazione percentuale (finale-iniziale)/iniziale
Energia cinetica	$K_\pi =$ …….	$K_\mu =$ …….	$K_\nu =$ ……..	
Massa delle particelle	$M_\pi =$ …….	$M_\mu =$ …….	$M_\nu =$ ……..	
Energia totale	$E_\pi =$ …….	$E_\mu =$ …….	$E_\nu =$ ……..	

Confrontando i risultati ottenuti prima e dopo il decadimento cosa pensi riguardo:

la conservazione della somma delle masse delle particelle …….
……
la conservazione dell'energia cinetica …….
……
la conservazione dell'energia totale …….
……
……

ESPERIMENTO μ → e

Esamina questo particolare della figura. È uno zoom della traiettoria del muone subito prima del decadimento e del positrone subito dopo.



Usando il metodo già utilizzato in precedenza misura il raggio della traccia della particella μ prima del decadimento e della particella e^+ dopo il decadimento. Quindi calcola la quantità di moto,p, e l'energia cinetica, K

	Raggio di curvatura [cm]	Quantità di moto [MeV/c]	Energia cinetica [MeV]	Massa [MeV/c^2]
Muone (μ)				105.6
Elettrone				0,511

Disegna la direzione e il verso dei vettori quantità di moto del muone e del positrone. Il punto di applicazione del vettore sarà il punto dove il muone decade.

Come nel caso precedente possiamo supporre che una o più particelle siano generate nel punto dove il muone decade.
Quale deve essere la carica totale di queste particelle "invisibili" affinchè la carica sia conservata? (Considera che la carica del muone è +1 e quella del positrone è +1).
……..
……..
……..
Quale deve essere la carica di ciascuna di queste particelle invisibili?
……
……..
Se assumiamo che anche in questo caso sia prodotto un neutrino e vettore teniamo conto del fatto che la quantità di moto totale si conserva possiamo calcolare la quantità di moto del neutrino come

$$\vec{p}_\nu = \vec{p}_\mu - \vec{p}_{e^+}$$

Calcola il valore di

$|\vec{p}_\nu| =$…… $K_\nu \approx c\,|\vec{p}_\nu| \approx$ …… $E_\nu = K_\nu \approx$ ……

Quindi possiamo fare una tabella che contiene tutti i dati che abbiamo raccolto ed elaborato fin qui

	Prima del decadimento	Dopo il decadimento		Variazione percentuale (finale-iniziale)/iniziale
Energia cinetica	$K_\mu =$ …….	$K_e =$ …….	$K_\nu =$ ……..	
Massa delle particelle	$M_\mu =$ …….	$M_e =$ …….	$M_\nu =$ ……..	
Energia totale	$E_\mu =$ …….	$E_e =$ …….	$E_\nu =$ ……..	

Confrontando i risultati ottenuti prima e dopo il decadimento cosa pensi riguardo:

la conservazione della somma delle masse delle particelle …….
……
la conservazione dell'energia cinetica …….
……
la conservazione dell'energia totale ……
……

Confronta i risultati con il caso precedente π→ μ.
Quali sono le principali differenze che osservi? ……
……
……
……

GLI ATTORI ….

Particella	Simbolo	Z e=1,602 × 10^{-19} C	Massa [MeV]	Spin	
Elettrone	e	-1	0,511	1/2	
Positrone	e^+	+1	0,511	1/2	
Muone	μ^-	-1	105.6	1/2	
(Anti) muone	μ^+	+1	105.6	1/2	**LEPTONI**
Neutrini	ν_e ν_μ	0	$<10^{-6}$ MeV	1/2	
Antieutrini	$\overline{\nu}_e$ $\overline{\nu}_\mu$	0	$<10^{-6}$ MeV	1/2	
Protone	p	+1	938.3	1/2	
Neutrone	n	0	939.6	1/2	**ADRONI**
Antiprotone		-1	938.3	1/2	
Pioni π	π^+	+1	139.6		**MESONI**
	π^0	0	135		
	π^-	-1	139.6		

…E LA LORO STORIA

1874 George Stoney sviluppa la teoria dell'elettrone e ne ipotizza la massa.
1898 Thompson misura il rapporto carica/massa per l' elettrone e sviluppa il suo modello atomico.
1905 Einstein descrive il fotone come quanto di luce, che si comporta come una particella.
1911 Rutherford capisce che l'atomo ha un nucleo interno.
1919 Rutherford fornisce la prima evidenza dell'esistenza del protone.
1928 Dirac combina la meccanica quantistica e la relativita' speciale per descrivere l'elettrone.
1930 Pauli parla per la prima volta del neutrino per spiegare il decadimento β
1931 Dirac capisce che le particelle a carica positiva richieste dalla sua equazione sono oggetti nuovi ("positroni"). Si parla di anti-materia!
Chadwick scopre il neutrone.
1933-4 Anderson scopre il positrone.
Yukawa parla di nuove particelle (I "pioni").
1937 Studiando I raggi cosmici, viene scoperta una particella di massa 200 volte la massa dell'e. All'inizio si pensa che sia la particella di Yukawa. Si capisce poi che invece e' il muone.
1947 Si trova un mesone coinvolto in interazioni forti nei raggi cosmici: e' il pione.