

COMITATO NAZIONALE PER L'ENERGIA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 70/44
5 Ottobre 1970

D. Bisello e F. Ronga: PRECISIONE DI CAMERE A SCINTILLA
OTTICHE CON ELETTRODI A FILI. -

LNF-70/44

Nota interna: n. 491
5 Ottobre 1970

D. Bisello^(x) e F. Ronga: PRECISIONE DI CAMERE A SCINTILLA
OTTICHE CON ELETTRODI A FILI. -

I. - INTRODUZIONE. -

Il progetto Magnete Esperienze Adone⁽¹⁾, in corso di realizzazione presso i Laboratori Nazionali di Frascati, prevede l'utilizzazione di un sistema di camere a scintilla ottiche cilindriche a grande angolo solido con elettrodi a fili, poste all'interno di un solenoide anallizzatore, per la misura in momento dei prodotti carichi.

La scelta di elettrodi a fili, al posto dei convenzionali fogli di alluminio, oltre a ridurre fortemente l'effetto dello scattering coulombiano multiplo, permette di osservare le scintille attraverso gli elettrodi, consentendo nel caso specifico di realizzare un sistema di ottica molto semplice.

I problemi ottici che nascono dall'osservare scintille attraverso piani di fili sono stati affrontati in un'altra nota⁽²⁾; in questa descriveremo la precisione ottenibile nella determinazione della traiettoria delle particelle con tali camere. Si riferirà inoltre sugli studi eseguiti con un prototipo di camera a due gaps: una larga (10 cm) e una stretta (0.8 cm).

(x) - Istituto di Fisica dell'Università di Padova e INFN, Sezione di Padova.

2.

Come è noto la precisione raggiungibile nella determinazione della traiettoria di una particella risulta maggiore usando camere a larga gap: le camere a gap stretta garantiscono invece un'alta efficienza anche per traiettorie a grandi angoli ($\sim 60^\circ$) con la direzione del campo elettrico.

Appunto al fine di ottenere un buon compromesso tra efficienza angolare e precisione, le camere interne del progetto MEA⁽¹⁾ furono previste come una alternanza di bigaps larghe e strette.

Infine si procederà ad una discussione del sistema di analisi adottato.

II. - DESCRIZIONE DELL'APPARATO SPERIMENTALE. -

Le prove si sono effettuate con una camera in plexiglas di $30 \times 30 \times 10 \text{ cm}^3$ con elettrodi sovrapponibili, comandata da un telescopio di contatori plastici per raggi cosmici.

Si sono usati come elettrodi fili di rame-berillio di vario diametro e interspaziatura tesi su cornici sempre in plexiglas: la chiusura verso l'esterno era assicurata da un foglio di mylar.

La camera veniva ricchiusa saldando con gomma (SILASTIC) le cornici alla camera in modo da lasciare i fili a contatto diretto con il gas.

Onde migliorare le caratteristiche di funzionamento della camera si sono stesi lungo le pareti due fili di rame collegati agli elettrodi tramite un partitore resistivo, in modo da realizzare una migliore uniformità di campo ai bordi.

Le condizioni operative e i valori dei principali parametri durante le misure sono riassunti qui di seguito:

Campo elettrico	5.5 KV/cm	6.6 KV/cm
Capacità del marx	300 pf	
Ritardo del marx e dell'elettronica	300 nsec	
Apertura diaframma	f/11, f/16	
Film	Kodak 4X	
Distanza macchina fotografica	1.5 metri	
Larghezza della gap	10 cm	

III. - ANALISI DEI DATI. -

Scopo principale delle prove eseguite era quello di dare una valutazione della distorsione incoerente della scintilla per varie configurazioni sperimentali.

Richiamiamo brevemente il meccanismo di formazione delle

scintille. Al passaggio della particella ionizzante nel gas si liberano elettroni, che si muovono casualmente.

All'applicazione della differenza di potenziale agli elettrodi, questi elettroni danno origine a un processo di moltiplicazione con formazione di valanghe: quando queste raggiungono le dimensioni critiche si ha la formazione della scintilla.

A causa dei vari processi statistici presenti, la scintilla non sarà quindi del tutto rettilinea, ma dotata di una struttura incoerente: si definisce appunto come distorsione incoerente la deviazione media dei singoli punti della scintilla dall'andamento rettilineo.

Per ogni scintilla si sono misurate le coordinate di 10 punti. Il programma di analisi calcola la retta che meglio si adatta ai punti e calcola per la m-esima scintilla la quantità:

$$(1) \quad \sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - ax_i - b)^2}{n-2}}, \quad \text{ove } a = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2}, \quad b = \frac{\sum y_i}{n},$$

$\sum x_i = 0$ ed n è il numero dei punti che interviene del fit. Questa quantità ci dà una valutazione della distorsione di ogni singola scintilla.

La traccia viene dapprima orientata parallela alla direzione del campo elettrico (asse x): in questo modo l'errore dovuto alla distorsione è accumulato tutto sulle coordinate y . Supponendo che le y_i siano distribuite gaussianamente con errore quadratico medio σ e che σ sia uguale per tutti i punti di una stessa scintilla, si può ricavare la funzione di distribuzione delle σ_m notando che $(n-2)\sigma_m^2$ è un'espressione del tipo $\chi^2(3)$.

Il valore di σ che rende massima la funzione di verosimiglianza è:

$$(2) \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum \sigma_m^2}{N}}$$

ove N è il numero di scintille esaminate. Il programma permette di escludere dal fit un numero a piacere di punti estremi in modo da limitare l'analisi alla parte centrale della scintilla eliminando le zone distorte in prossimità degli elettrodi. Nel seguito quando parleremo di distorsione incoerente ci riferiremo sempre a quantità calcolate tramite la (2).

La distanza media tra i punti misurati è di 1 cm, ma tale informazione risulta sovrabbondante perchè esiste correlazione tra di essi: si misurano cioè più punti della stessa valanga.

In fig. 1 è riportata la distribuzione delle σ_m relative ai pun

4.

ti 3°, 4°, 5°, 6°, 7°, 8°, dei 10, presi nell'ordine da un elettrodo all'altro, di una serie di 232 scintille relative alla seguente situazione:

Diametro fili	Passo	Gas
0,1 mm	25 mm	Henogal (20% neon, 80% elio).

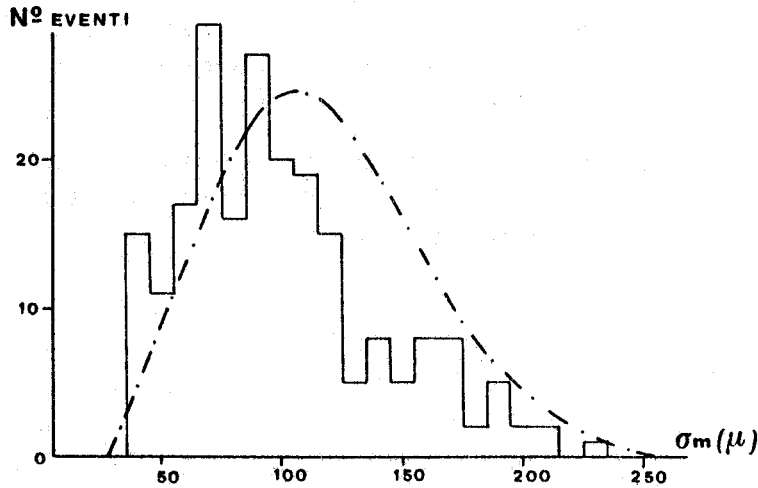


Fig. 1 - Distribuzione di $\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - ax_i - b)^2}{n-2}}$ considerando solo i 6 punti centrali dei 10 misurati su ogni scintilla. La distanza media tra due punti successivi è di 1 cm.

In fig. 2 è riportata la stessa distribuzione, ma prendendo in considerazione solo il 3°, 5°, 8° punto. Come si vede la distribuzione statistica si accorda con lo spettro sperimentale delle σ_m solo nel secondo caso in cui la distanza media tra i punti è di 2,5 cm.

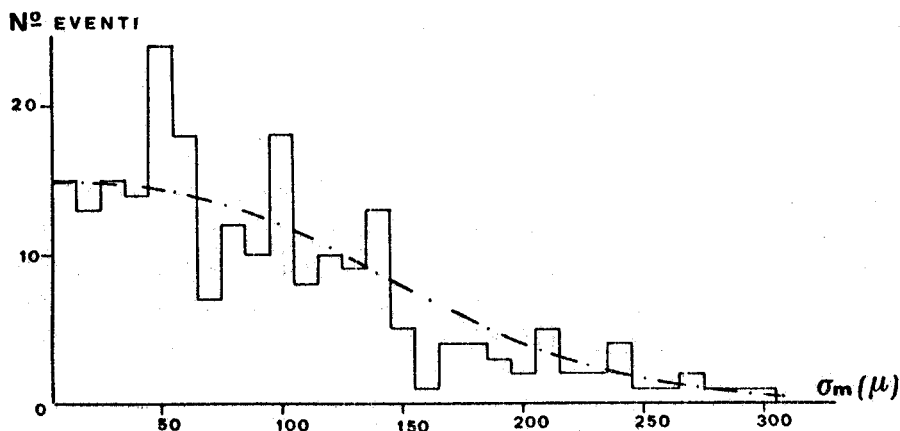


Fig. 2 - Distribuzione di σ_m per $n=3$ punti: la distanza tra due punti successivi è di 2,5 cm.

L'inesistenza di correlazioni quando la distanza media è di 2.5 cm è stata verificata anche in un altro modo. Per ogni scintilla sono state calcolate le quantità:

$$\begin{aligned} \delta_5 &= y_5 - ax_5 - b \\ (3) \quad S_1 &= \delta_5 + \delta_6 = y_5 + y_6 - a(x_5 + x_6) - 2b \\ S_2 &= \delta_4 + \delta_6 = y_4 + y_6 - a(x_4 + x_6) - 2b \end{aligned}$$

ove a , b sono i coefficienti della retta che fitta i 6 punti centrali della scintilla. Se i punti fossero tutti indipendenti δ_5 , S_1 ed S_2 dovrebbero essere distribuiti tutti gaussianamente con errori:

$$\begin{aligned} (4) \quad \sigma_{\delta_5} &= \left(1 - \frac{1}{2n}\right) & (n = 6) \\ \sigma_{S_1} &\approx \frac{2}{\sqrt{3}} & \sigma_{S_2} \approx \frac{2}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

In fig. 3 è riportato ad es. l'istogramma relativo a δ_5 . Prendendo come valore di σ quello calcolato dalla (2) si ricava:

	Sperimentale	Calcolato da (4) (in μ)
σ_{δ_5}	115	105
σ_{S_1}	184	128
σ_{S_2}	120	128

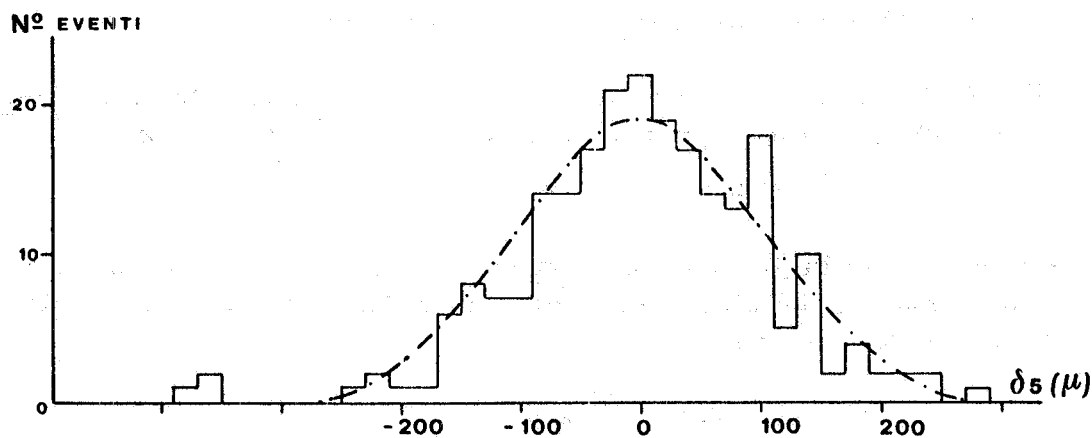


Fig. 3 - Distribuzione della distanza del punto centrale dalla retta fittante.

6.

Come si vede σ_{S_1} è più grande della quantità dedotta dalle (4): questo implica $\delta_5 \approx \delta_6$. D'altra parte σ_{S_2} è abbastanza in accordo col valore calcolato: i punti 4° e 6° sono cioè indipendenti.

Nelle tabelle precedenti, e in quelle che seguiranno, non sono riportati gli errori statistici sulle σ che, risultando in genere dello ordine del micron per un centinaio di scintille esaminate, risultano trascurabili rispetto agli errori sistematici.

IV. - VALUTAZIONE DEGLI ERRORI OTTICI. -

Nel paragrafo precedente si è fatta l'ipotesi che l'errore quadratico medio relativo a ogni punto misurato rappresenti una buona valutazione della distorsione incoerente della traccia. In effetti questo è vero nei limiti di errore degli apparati di rivelazione e di misura. Diamo nel seguito una valutazione dei principali errori ottici.

a) Cerchi di diffrazione. - L'errore introdotto è:

$$(5) \quad \Delta x = 1,22 \lambda \frac{K}{f} l a$$

ove λ è la lunghezza d'onda della luce interessata, K ed f diaframma e focale della lente adoperata; a è una costante minore di uno che dipende dalla pellicola e dal tipo di scanning effettuato: tipicamente $a \approx 0,2$.

Nelle condizioni di misura $K = 11$, $f = 8$, $l = 150$ cm; per $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ si ha quindi:

$$\Delta x \approx 24 \mu.$$

b) Distorsioni dovute alla rifrazione del plexiglas. - Questo effetto è molto piccolo perchè nelle nostre condizioni l'incidenza è quasi normale; inoltre l'errore introdotto è di tipo coerente.

c) Errori di scanning. - Il Frankenstein di Padova individua i baricentri delle scintille con un errore sul film di $\approx 2,5 \mu$. Si ricava:

$$\Delta x \approx 2,5 l/f = 50 \mu.$$

d) Dimensioni della grana e diffusione della luce sul film. - Tali errori sono di difficile valutazione: in ogni caso detto x l'errore sul film dovuto a questo effetto si ha:

$$(6) \quad \Delta x = \delta x \frac{l}{f}.$$

Come si vede, tutti gli errori considerati, tranne quello del punto b), d'altra parte trascurabile, risultano proporzionali alla di-

stanza; confrontando due misure fatte a distanze diverse si può quindi avere un'informazione sull'errore ottico σ_{op} risolvendo il sistema:

$$\begin{aligned} \sigma_{op}^2 + \sigma^2 &= a^2 \\ d^2 \sigma_{op}^2 + \sigma^2 &= b^2 \end{aligned} \quad (7)$$

ove d è il rapporto di demagnificazione tra i due casi ed a , b le quantità misurate calcolate dalla (2).

Nel nostro caso

$$d = 4 \quad a = 115_{\mu} \text{ (232 foto)} \quad b = 240_{\mu} \text{ (200 foto)}.$$

Si ricava quindi:

$$\sigma_{op} = 54_{\mu}.$$

Come si vede l'errore ottico è rimarcabile e risulta essenzialmente introdotto nella fase di misura.

Nei paragrafi successivi i valori di distorsione verranno riportati già esenti da questi errori.

V. - RISULTATI SPERIMENTALI. -

Nella tabella seguente sono riportati i risultati di misure di distorsione con due diversi tipi di elettrodi a fili. Si noti che σ è l'errore puntuale e σ^* è lo stesso, calcolato però trascurando due cm di traccia a ciascuna estremità della scintilla: ciò per eliminare gli effetti di distorsione vicino agli elettrodi.

diametro fili (mm)	spaziatura (mm)	σ	σ^*	numero foto	gas	E KV/cm
0.2	2.5	210	102	256	elio	6.6
0.1	2.5	130	100	232	henogal	5.5

Come si può notare le distorsioni misurate nei due casi sono abbastanza simili. D'ora in poi le misure si riferiranno unicamente a piani con fili da 0.1 mm e 2.5 mm di spaziatura.

Il progetto originale delle camere interne del MEA prevedeva una successione di bigaps larghe e strette alternate. Si è quindi costruita una camera formata da una gap larga più una stretta semplicemente tendendo fili su entrambi i lati di una cornice. Un tale sistema si è rivelato di funzionamento alquanto instabile; questo effetto, su cui stiamo ancora indagando, sembra dovuto in parte all'aumento del campo

8.

elettrico in prossimità dei fili del piano centrale (conseguente all'aumentata capacità), in parte ad effetti di interferenze nel meccanismo di formazione delle scintille. Nella tabella seguente sono riportati i risultati di alcune misure di distorsione della traccia che compare nella wide-gap.

angolo	$\sigma_{(\mu)}$	σ^*	σ^{**}	numero foto	gas	E KV/cm
0°	125	100		150	henogal	5.5
30°±10°	360	104	100	143	henogal	5.5

L'errore σ^{**} si riferisce ai 5 cm di zona centrale della scintilla. Si osservi che l'introduzione di una gap stretta non sembra introdurre distorsioni notevoli nelle scintille della wide-gap, anche se provoca un calo dell'efficienza che passa per tracce a 0° dal 100% al 90%. Poichè l'efficienza della wide-gap cala rapidamente al crescere del campo nella gap stretta, si è usato in quest'ultima un campo molto piccolo (3 KV/cm).

VI. - INFLUENZE DI IMPURITA' NEL GAS. -

Percentuali anche piccole di gas poliatomici possono modificare in maniera vistosa le proprietà di un gas⁽⁸⁾.

I meccanismi attraverso cui queste impurità operano sono essenzialmente due: l'introduzione di urti anelastici e la possibile formazione di ioni che alterano il drift degli elettroni e le loro probabilità di ricombinazione.

Saturando il gas con vapori di acqua o di alcool etilico abbiamo ottenuto un notevole aumento nella stabilità di funzionamento della camera; in particolare sono completamente scomparse le interferenze tra gap stretta e wide-gap. Di contro si osserva una riduzione della zona di traccia esente da distorsione vicino agli elettrodi, come risulta dalla seguente tabella che si riferisce ad henogal saturato con vapori d'acqua.

angolo	σ^* (μ)	σ^{**}	numero foto	E (KV/cm)
30°±10°	135	105	213	6.6

VII. - CONCLUSIONI. -

Due conclusioni possono trarsi dai valori trovati; in primo

luogo che esiste una notevole distorsione in prossimità dell'elettrodo negativo dovuta al fatto che ivi la scintilla segue la direzione del campo piuttosto che quella della particella. Se ne ricava quindi la necessità di escludere queste zone da quelle utili per misure di traiettorie.

Secondariamente risulta che è illusorio sperare di aumentare la precisione misurando più di un punto ogni due cm.

Nella tabella successiva sono riportati i risultati ottenuti da altri autori con camere a scintilla a larga gap ad elettrodi piani.

autori	gas	E (KV/cm)	σ (μ)
Wang et al. (4)	80% neon 20% elio	11	170
Garron et al. (5)	neon	11	70
Keller et al. (6)	neon	11	150
Keller et al. (6)	neon + 2% alcool et.	11	75
Alikhanian et al. (7)	neon	5.5	100

Come si vede il valore più piccolo da noi trovato si accorda con quest'ultimo caso, perchè passando dall'henogal al neogal raddoppia il numero di ioni per cm prodotto da una particella ionizzante: la distorsione dovrebbe così calare di un fattore $\sqrt{2}$. Il valore tipico dell'errore puntuale da noi misurato è di 100: dividendo per 1,4 si ottiene appunto 70. Questo accordo è una conferma della scarsa importanza, nei confronti della distorsione, della presenza di elettrodi fatti con piani di fili invece che con piani continui.

Infine si noti che l'errore puntuale è praticamente indipendente dall'angolo, purchè si prenda la sola zona centrale della traccia, e che l'introduzione di vapore elettronegativo non migliora la qualità delle tracce pur migliorando la stabilità di funzionamento del sistema.

BIBLIOGRAFIA. -

- (1) - W. W. Ash et al., LNF-69/2 (1969).
- (2) - W. W. Ash and D. Bisello, INFN/TC-70/2 (1970).
- (3) - F. T. Solmitz, Ann. Rev. of Nuclear Sci. 14, 375 (1964).
- (4) - K. U. Wang et al., Proc. of Nuclear Electronics, Versailles (1968).
- (5) - J. P. Garron et al., Rev. Sci. Instr. 36, 264 (1965).
- (6) - L. P. Keller et al., Nuclear Instr. and Meth. 41, 309 (1966).
- (7) - A. I. Alikhanian et al., Proc. of Nuclear Electronics, Versailles (1968).
- (8) - Per un accurato studio del problema si veda ad es.: D. Grosman, Ph. d. Thesis, Harvard University (1967).