

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-58/6 (12. 3. 58)

P. G. Sona: VALUTAZIONE APPROSSIMATA DI UN LIMITE SUPERIORE DELLA PERDITA DI ENERGIA ATTRAVERSO LA SUPERFICIE DEL CALORIMETRO PER LA DOSIMETRIA DEL FASCIO γ SOTTO FORMA DI RAGGI γ DI BASSA ENERGIA.

Nota interna: n°1
12 Marzo 1958

P.G. Sona: VALUTAZIONE APPROSSIMATIVA DI UN LIMITE SUPERIORE DELLA PERDITA DI ENERGIA ATTRAVERSO LA SUPERFICIE ESTERNA DEL CALORIMETRO PER LA DOSIMETRIA DEL FASCIO γ SOTTO FORMA DI RAGGI γ DI BASSA ENERGIA.

Questo calcolo si riferisce al calorimetro costituito da un blocco cilindrico di piombo di altezza 15 cm. e diametro 10 cm., la cui realizzazione è curata dal prof. Cialdea e collaboratori per la dosimetria del fascio γ uscente dal sincrotrone.

Il calorimetro (fig.1) verrà posto col suo asse centrato sull'asse del fascio di raggi γ . Supponiamo che il diametro del fascio dei γ , dove incontra il calorimetro sia 5 cm. e che l'energia massima sia di 1000 MeV

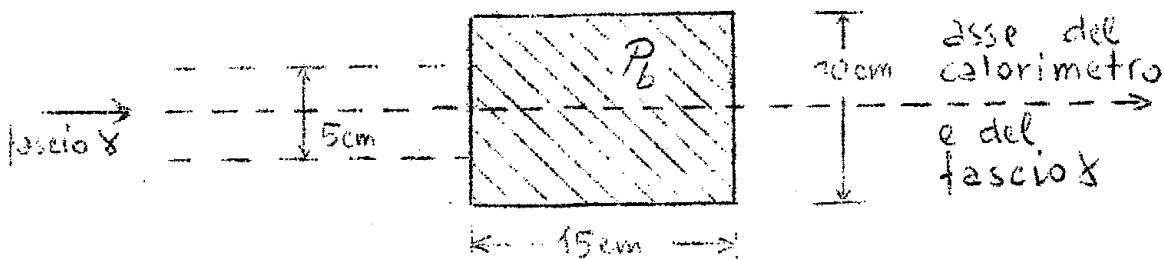


fig.1

Dal lavoro di R.R. Wilson su Nuclear Instruments Vol I, 101 (1957), e dall'articolo ivi citato di W. Blocker, R. Kenney e W. Panofsky, Phys. Rev. 79,419 (1950) risulta che a profondità abbastanza grande, anche in direzione normale all'asse del fascio, l'energia depositata dallo sciame nel piombo per ionizzazione decresce esponenzialmente con lo spessore attraversato, con una attenuazione caratterizzata dal minimo valore del coefficiente di assorbimento del piombo per i raggi γ ; nel piombo, tale cammino di assorbimento è ~ 4 lunghezze di radiazione, cioè circa 2 cm., e corrisponde ad una energia dei fotoni di circa 3 MeV.

Per un calcolo approssimato conviene servirsi di una teoria molto schematica della cascata, e fare sempre delle approssimazioni in senso pessimistico. Le considerazioni seguenti sono basate sui risultati riguardante lo sviluppo dello sciame ottenuti da R.R. Wilson (Phys. Rev. 84,100 (1951); Phys. Rev. 86,261 (1952)) e su quanto è detto nel libro di D.J.X. Montgomery - Cosmic Ray Physics, Princeton University Press, 1949, pag. 73 - 74 a proposito dello sparpagliamento laterale dello sciame.

Si può osservare prima di tutto che lo sciame iniziato da uno spettro di bremsstrahlung con energia massima di 1000 MeV è molto simile a uno sciame iniziato da un elettrone di 1000 MeV; ci riferiremo quindi a quest'ultimo caso.

Dato le dimensioni del fascio γ e del blocco di piombo, è facile vedere che i quanti γ molli emessi dagli elettroni di alta energia (cioè nella parte iniziale della cascata), essendo collimati in avanti, sono tutti assorbiti nel piombo; infatti il massimo della cascata si ha dopo circa

$$\left[\ln (E_0/E_c) \right] / \ln 2$$

lunghezza di radiazione, essendo E_0 l'energia iniziale dello elettrone ed E_c l'energia critica (7,8 MeV); nel caso considerato quindi dopo circa 7 lunghezze di radiazione (3.5 cm.). Rimangono cioè più di 5 cammini liberi (10 cm.) per assorbire questi γ molli. Quindi la perdita d'energia sarà sostanzialmente dovuta ai γ molli emessi dagli elettroni che hanno energia dell'ordine di 15 MeV o meno: questi elettroni, e solo questi, sono infatti distribuiti in modo circa isotropo a causa del loro scattering multiplo, ed emettono dei raggi γ molli.

Lo sparpagliamento laterale della cascata iniziata da un elettrone è dell'ordine di una lunghezza di radiazione al più per quel che riguarda gli elettroni di energia maggiore di ~ 15 MeV.

Per avere quindi un limite superiore della perdita di energia attraverso le pareti laterali del blocco di piombo, basterà quindi valutare il numero degli elettroni della cascata con energia maggiore di ~ 15 MeV, attribuire ad essi un'energia di 15 MeV (prima o poi ogni elettrone della parte iniziale della cascata finisce per avere quest'energia), assumere che tutta l'energia emessa per radiazione venga proiettata ad una distanza dall'asse uguale alla metà del diametro del fascio + una lunghezza di radiazione, e assumere ancora che questa energia venga assorbita con un cammino libero uguale a quello dei raggi γ di 3 MeV, cioè 2 cm. di piombo; poichè però solo metà di questa energia è emessa in direzione tale di essere rivolta verso la parete laterale più vicina (l'altra metà dell'angolo solido è rivolta verso l'asse del fascio e quindi viene certamente assorbita prima di arrivare alla parete laterale, dato le dimensioni del fascio), si moltiplicherà ancora per 1/2 il risultato. Non si tiene conto così facendo dell'energia emessa all'indietro, ma è sperimentalmente provato che essa contribuisce poco alle perdite (vedi P.D. Edwards and D.W. Kerst, Rev. Sci. Instr. 24,490 (1953)).

Il numero degli elettroni della cascata con energia $>$ di 15 MeV è approssimativamente:

$$N_c \approx \frac{2}{3} \cdot 2 \frac{\ln (E_0/15 \text{ MeV})}{\ln 2} = \frac{2}{3} \frac{E_0}{15 \text{ MeV}} \approx 44$$

Così:

$$N_0 \cdot 15 \text{ MeV} = 667 \text{ MeV} = \frac{2}{3} E_0 = \text{energia totale degli elettroni da 15 MeV (limite superiore)}$$

Si ha poi che gli elettroni da 15 MeV perdono solo $\sim 3/5$ della loro energia per radiazione, cioè:

$$\frac{3}{5} \cdot 667 \text{ MeV} \approx 400 \text{ MeV} \quad \text{al massimo.}$$

Quest'energia va ancora moltiplicata per $1/2$ e per $e^{-\frac{\delta}{2cm}}$, essendo δ la distanza minima della parete laterale, cioè:

$$\delta = 5 \text{ cm. (raggio cilindro)} - 2.5 \text{ (raggio fascio } \gamma) - 0.5 \text{ cm. (lunghezza di radiazione)}$$

$$\delta = 2 \text{ cm.} = 1 \text{ cammino libero dei } \gamma \text{ molli}$$

Da questo segue:

$$400 \text{ MeV} \cdot \frac{1}{2} \cdot e^{-1} = 74 \text{ MeV}$$

$$\text{Così } \frac{74 \text{ MeV}}{500 \text{ MeV}} \approx 14.7\%$$

dell'energia incidente è un limite superiore della frazione di energia perduta.

Si può dire che il limite superiore ora trovato è certo notevolmente maggiore della perdita reale. Si può per esempio ignorare l'allargamento del fascio dovuto allo sparpagiamiento laterale della cascata (stimato sopra in ~ 1 lunghezza di radiazione) perchè esso tende a riportare particelle anche verso l'interno del fascio oltre che verso l'esterno; si arriva così ad un valore dell'11.5% come limite superiore. Poichè poi gran parte dell'energia è emessa vicino all'asse del fascio γ e non tutta sull'orlo, si può facilmente concludere che la perdita reale sarà certamente minore del 10%.