

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-61/5 (27. 1. 61)

F. Amman, C. Bernardini, R. Gatto, G. Ghigo, B. Touschek:
ANELLO DI ACCUMULAZIONE PER ELETTRONI. ADONE.

Laboratori Nazionali di Frascati del CNEN
Servizio Documentazione

Nota interna n° 68
27 Gennaio 1961

F. Amman, C. Bernardini, R. Gatto, G. Ghigo, B. Touschek:
ANELLO DI ACCUMULAZIONE PER ELETTRONI E POSITRONI (ADONE)

ANELLO DI ACCUMULAZIONE PER ELETTRONI E POSITRONI (ADONE)

F. Amman, C. Bernardini, R. Gatto,
G. Ghigo, B. Touschek.

- 1.- La conservazione del momento del baricentro nell'urto tra due particelle limita fortemente l'uso di macchine tradizionali. Per esempio, nell'urto di un positrone di energia E ($\gg m_e$) contro un elettrone fermo nel laboratorio, soltanto l'energia

$$E' = (2 m_e E)^{\frac{1}{2}}$$

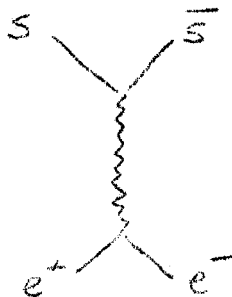
è disponibile per la produzione di nuove masse nell'annichilamento $e^+ e^-$. In questo senso, un esperimento con fasci incrociati è equivalente ad una macchina tradizionale di energia enormemente più grande, quale non esiste al giorno d'oggi.

Diamo ora un breve sommario dei problemi fisici e tecnici relativi ad una macchina "colliding beams", del tutto nuovi sotto molti rispetti, avendo in mente un anello di accumulazione (Adone) per elettroni e positroni da 1.5 GeV ciascuno. L'energia equivalente di una macchina tradizionale sarebbe di 2.200 GeV.

- 2.- Disponendo di 3 GeV nel baricentro si può pensare di ottenere dall'annichilamento $e^+ e^-$ la produzione, in coppie, di tutte le masse conosciute. Si tratta di ben 16 reazioni a due corpi presumibilmente osservabili in cattiva geometria senza compromettere seriamente l'informazione (i prodotti sono monocromatici, tra l'altro). L'annichilamento in 2γ va considerato, tra queste reazioni, come quello che permette la misura della luminosità della sorgente grazie: alla sua grande intensità, all'attendibilità della sezione d'urto calcolata (i momenti trasferiti sono dell'ordine di $2 m_e$) ed alla caratteristica di-

stribuzione angolare concentrata attorno alla linea di volo dei primari (entro un angolo m_e/E).

Delle 16 reazioni a due corpi 3 interessano l'elettrodinamica ed un suo eventuale breakdown: $e^+ + e^- \rightarrow 2 \gamma$ (a grande angolo), $e^+ + e^-$ (Bhabha scattering), $\mu^+ + \mu^-$. Le rimanenti, riassunte dal grafico:



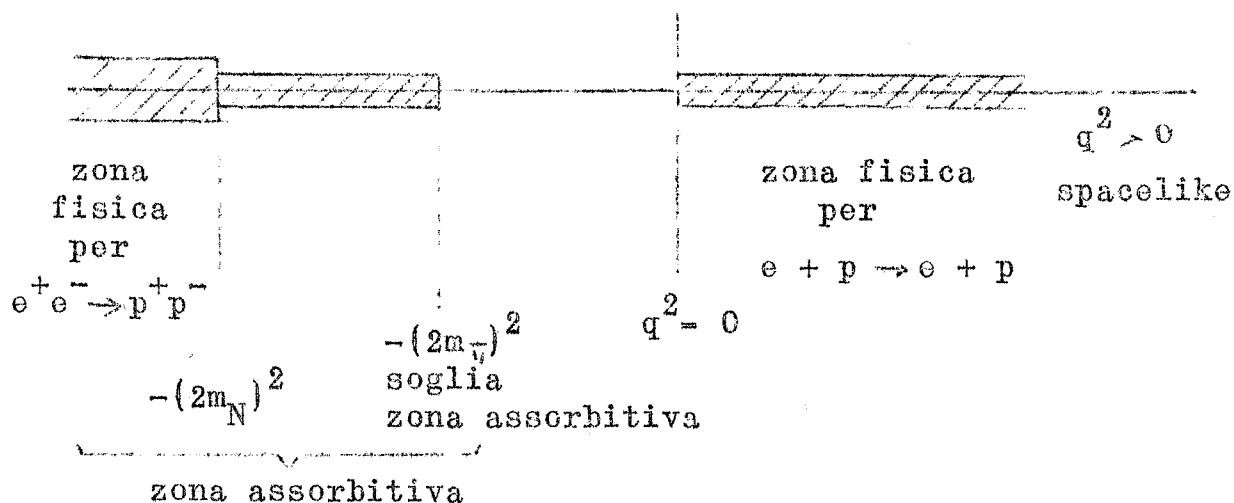
(a parte $e^+ + e^- \rightarrow \pi^0 + \gamma$, che è, in pratica, una reazione a 3 corpi per il rapido decadimento del π^0), mettono in evidenza i fattori di forma di S. Una novità rispetto agli esperimenti usuali sta nel fatto che il fotone virtuale del diagramma ha momento completamente time-like, di modulo ≥ 2 masse prodotte.

Precisamente, indicando con p^+ e p^- i quadri-momenti del positrone e dell'elettrone finale, il grafico precedente corrisponde alla produzione ed annichilamento di un protone virtuale di massa:

$$q^2 = (p^+ + p^-)^2 = -4 E^2 < -4 M_S^2$$

dove M_S è la massa di S. Pertanto i fattori di forma elettromagnetici di S vengono esplorati per valori di q^2 minori di $-4 M_S^2$.

La situazione è illustrata dal grafico seguente, che si riferisce, per esempio, al fattore di forma vettoriale di spin isotopico del nucleone.



Nel grafico è riportato l'asse di q^2 reale e sono segnate le zone fisiche per le quali il fattore di forma è sperimentalmente esplorabile con esperienze di scattering o di annichilamento e la zona assorbitiva nella quale è necessario conoscere le parti immaginarie per potere, usando regole di dispersione, determinare l'intera ampiezza. I valori dei fattori di forma a $q^2 = 0$ sono determinati dalla gauge invariance. Come si vede i valori richiesti per il calcolo della sezione d'urto da $e^+ - e^-$ si riferiscono a valori di q^2 molto lontani da questo limite e generalmente anche molto lontani dalla zona più facilmente calcolabile cioè quella poco a sinistra di $-(2m_\pi)^2$ dove lo stato di due pioni è l'unico che contribuisce. Quindi è in generale impossibile fare previsioni sicure sui valori e sul comportamento delle sezioni d'urto da $e^+ e^-$. Una situazione eccezionalmente favorevole si presenta per $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$ e per $e^+ e^- \rightarrow \pi^0 + \gamma$. Nel primo caso se esiste una risonanza sullo stato di due pioni con momento angolare uno e spin isotopico uno, questo dovrebbe venire direttamente rilevato dalla esperienza. Per i valori proposti da Fraser e Fulco si ottiene una sezione d'urto alla risonanza di $4.6 \times 10^{-31} \text{ cm}^2$. Simili considerazioni si applicano al secondo processo ed

anche in questo caso, sulla base dello stesso modello si può calcolare un enhancement di un fattore dell'ordine di 15 rispetto al valore perturbativo.

Queste risonanze rientrano in una classe più vasta di stati risonanti la cui esistenza può venire rilevata da questi esperimenti. Si può dimostrare che solo risonanze di spin 1 e numero di charge conjugation -1 possono essere osservate da e^+ e^- : altre risonanze risultano osservabili solo per termini di ordine superiore in e^2 . L'esistenza di tali risonanze potrebbe in alcuni casi portare le sezioni d'urto a valori dell'ordine di 10^{-29} cm². E' chiaro che la progettazione della macchina e soprattutto la decisione sulla energia massima deve essere subordinata ad una analisi approfondita delle possibilità sperimentali, basata più o meno su ragionevoli ipotesi circa il comportamento delle sezioni d'urto ad alti q^2 . Questa analisi è tuttora in corso ed i risultati verranno presentati quanto prima.

- 3.- La contropartita della grande energia disponibile in Adone sta nell'intensità. Se vi sono N_+ (N_-) positroni (elettroni) circolanti in k bunches dalla radiofrequenza, vi saranno $2k$ regioni di incontro lungo la circonferenza (di lunghezza n). La luminosità (numeri di eventi al secondo) d'una reazione di sezione d'urto σ è:

$$L = \frac{1}{k} N_+ N_- \left(\frac{\sigma}{q} \right) \frac{c}{u}$$

dove q è l'area della sezione trasversa di ciascuno dei beams e si suppone che essi si sovrappongono completamente nelle regioni d'incontro. I valori di σ sono presumibilmente tra 10^{-32} e 10^{-34} cm²; si stima che q possa ridursi a circa 10^{-3} cm². Pertanto, con $k = 2$ ed $n = 50$ metri (v. avanti), per avere un evento ogni 5 minuti, de-

ve essere

$$N_+ N_- \simeq 10^{20} + 10^{22}$$

questo numero non sembra irrealizzabile.

Se si stima il tempo necessario per misurare le sezioni d'urto delle 16 reazioni a due corpi con un errore statistico del 10% e con una distanza in energia di 25 MeV tra i punti sperimentali, si vede che sono necessarie circa 3.000 ore macchina per realizzare questo programma. Quindi, pur trascurando per il momento la possibilità di osservare annichilamenti in tre corpi, si può contare su un tempo d'impiego ininterrotto, di circa tre anni, di Adone.

- 4.- La realizzazione dell'anello si varrà, in parte, dell'esperienza fatta su AdA. E' bene precisare tuttavia che AdA non è propriamente un modello di Adone, se non per la verifica del meccanismo d'accumulazione.

Adone ricorda grosso modo un elettrosincrotrone da 1.5 GeV, per il magnete e l'impianto a RF. L'iniezione, invece, è un elemento di differenziazione da ogni altra macchina. Di essa, l'elemento essenziale è un linac da 30 MeV, in commercio con tempo di consegna di circa 9 mesi: esso può erogare 10^{11} elettroni per impulso e per la durata di 0.1 μ sec.

Si possono ottenere positroni producendo uno scia_{me} in una targhetta pesante; pensando di prelevare dallo sciame positroni di 15 MeV con uno spread $\simeq 1\%$, si può contare su una sorgente di circa 10^7 positroni per impulso.

L'ottica d'iniezione termina con un deflettore pulsato che ha la funzione di "mettere in orbita" le particelle provenienti dalla sorgente. Tuttavia, per impedire che nei successivi impulsi d'iniezione si distruggano i

beams già accumulati, è necessario allontanare questi dalla foca del deflettore. Per questo, si può pensare (ma non è detto che questa sia la soluzione più conveniente) di inniettare beams con grandi ampiezze orizzontali di betatrone, portarli di volta in volta a 500 MeV, dove la radiazione di sincrotrone smorza queste oscillazioni irreversibilmente, e ritornare all'energia d'iniezione per catturare un nuovo impulso. L'operazione richiederebbe circa 1 sec; perciò, con questo meccanismo, per arrivare ad $N_+ N_- \approx 10^{22}$ (vedi 3) occorrerebbero circa 3 ore.

Abbiamo considerato, in alternativa, una macchina strong focusing ed una weak focusing. La prima presenta la difficoltà dell'effetto di antidamping delle oscillazioni orizzontali di betatrone, che si può sormontare con l'inserimento di speciali magneti tecnicamente difficili o rischiosi da realizzare.

Di queste due macchine, la tabella 1 dà in succinto le caratteristiche più interessanti.

In quanto all'ambiente che le circonda, è stata curata la possibilità di avere molto spazio alle sezioni dritte, per alloggiare dispositivi sperimentali anche fuori del piano mediano (che è il luogo di massimo fondo). Inoltre, è stato previsto un laboratorio di basse energie a latere, per l'impiego del Linac durante le ore in cui Adone "fatto il pieno" si comporta come una sorgente radioattiva.

Il costo presunto dell'impianto è riassunto nella tabella 2. Il tempo previsto per la realizzazione è dell'ordine di 2 a 3 anni; inoltre, anche nel caso di un pieno impiego dei Laboratori di Frascati in tale periodo, bisogna pensare ad un incremento del personale di più di 30 unità.

TABELLA 1

DATI PRELIMINARI PER UN ANELLO DI ACCUMULAZIONE PER
ELETTRONI E POSITRONI A FOCHEGGIAMENTO

	FORTE	DEBOLE
Energia	1500 MeV	1500 MeV
Raggio	700 cm	500 cm
Coefficiente di allungamento	1,6	1,4
Lunghezza sezioni dritte	(290+140)x6 cm	160x8 cm
Peso magnete	~150 ton	~ 150 ton
Peso bobina	~ 15 ton	~ 15 ton
Numero settori	12 (1/2F, D, 1/2F+AD)	8
Indice del campo	n = 40	n = 0,6
Potenza alimentazione	~ 200 kW	~ 200 kW
Vuoto	10^{-9} mmHg	10^{-9} mmHg
Armonica RF	k = 6	k = 2
Tensione di picco RF	120 KV	290 KV
Positroni per impulso	2×10^7 a 15 MeV	10^7 a 15 MeV
Elettroni per impulso	2×10^{11} a 30 MeV	10^{11} a 30 MeV
Limite carica spaziale $e^+ \times e^-$	$10^{22} - 10^{23}$	$10^{22} - 10^{23}$
Dimensione orizzontale del fascio	0,2 cm	2,4 cm
Dimensione verticale del fascio	?	10^{-3} cm

TABELLA 2

COSTO PRESUNTO PER UN ANELLO DI ACCUMULAZIONE PER ELETTRONI E POSITRONI

Acceleratore lineare da 30 MeV	L. 550.000.000.-
Edificio	" 250.000.000.-
Magnete alimentazione	" 250.000.000.-
Radiofrequenza	" 200.000.000.-
Vuoto	" 50.000.000.-
Ottica iniezione	" 100.000.000.-
Controlli	" 100.000.000.-

T O T A L E L. 1.500.000.000.-
