

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-59/4 (19. 1. 59)

A. Turrin: PROPOSTA PER LA REALIZZAZIONE DI ESPERIENZE DI SCATTERING ELETTRONE-NUCLEONE MEDIANTE L'ELETTROSIN-CROTRONE ITALIANO DA 1 GeV.

Nota interna: n° 10
9 Febbraio 1959

A. Turrin: PROPOSTA PER LA REALIZZAZIONE DI ESPERIENZE DI SCATTERING
ELETTRONE - NUCLEONE MEDIANTE L'ELETTROSINCROTRONE ITALIA
NO DA 1 GeV.

Sommario: Si mette in rilievo la possibilità di esecuzione di esperienze di scattering elettrone - protone col Sincrotrone di Frascati, inserendo un target di idrogeno liquido nella doughnut e facendo compiere al beam attraversamenti multipli del target.

Questo meccanismo dà velocità di conteggio degli eventi cercati comparabili con le velocità di conteggio ottenute mediante l'acceleratore lineare di Stanford, purchè gli attraversamenti del target avvengano ogni terza rivoluzione, e purchè il diametro del bersaglio di idrogeno liquido non sia superiore a $\frac{1}{2}$ cm.

Nel § 1 si descrive brevemente l'efficienza dell'acceleratore lineare alla esecuzione di questo tipo di esperienze.

Nel § 2 si esamina la situazione generale dei Sincrotroni a questo proposito.

Nel § 3 si considera la prestazione che può dare il Sincrotrone di Frascati quando si perturbi il campo magnetico in modo da ottenere risonanza delle oscillazioni radiali di betatrone.

1) - Situazione a Stanford

Hofstadter e Collaboratori¹⁾ hanno portato a termine una

1) - R. Hofstadter, F. Bumiller, M.R. Yearian; Rev. Mod. Phys. 30,
482(1958).

serie di esperienze con l'acceleratore lineare da 650 MeV, il cui risultato è sintetizzato nella figura 13 della referenza¹⁾.

L'insieme dei risultati ha permesso di escludere l'ipotesi di una distribuzione radiale di carica del protone di tipo gaussiano ($\sim e^{-z^2}$), ma con questa raccolta di dati non si può ancora discriminare tra altre distribuzioni a priori possibili, per esempio la distribuzione esponenziale ($\sim e^{-z}$) e quella di Clementel e Villi²⁾. Tali discriminazioni potrebbero realizzarsi estendendo le misure per valori del momentum transfer dell'elettrone più grandi, oltre che riducendo l'entità degli errori statistici delle misure.

E' da richiamare l'attenzione su due delle più importanti caratteristiche dell'elevata tecnica di queste esperienze:

- a) dall'acceleratore lineare si riescono ad ottenere³⁾ intensità fino a $N = 8 \times 10^{10}$ elettroni/impulso, con frequenza $f = 60$ impulsi/secondo;
- b) per le più recenti esperienze (ad energie di 650 MeV) sono stati usati targets di idrogeno liquido³⁾ (densità $\rho = 7 \times 10^{-2}$ gr/cm³) con l'ovvio vantaggio - rispetto il polietilene - di eliminare il background dovuto al C. Tutto ciò per mantenere una ragionevole velocità di conteggio degli eventi cercati, nonostante la rapida decrescita della sezione d'urto con l'energia e con l'angolo.

A tutt'oggi tutto ciò che potevano fare con l'acceleratore lineare da 650 MeV relativamente allo scattering elastico elettrone-protone l'hanno fatto, e pertanto il loro programma futuro è il seguente⁴⁾:

Fermarsi due anni per allungare l'acceleratore fino a 1000 MeV e per costruire un analizzatore magnetico adeguatamente più grande.

2) - E. Clementel, C. Villi, N. Cim. 4, 1207 (1956)

3) - M.R. Yearian, R. Hofstadter; Phys. Rev. 110, 552 (1958)

4) - Ce l'ha detto Hofstadter quando è venuto a visitare i nostri Laboratori lo scorso settembre.

2) Situazione generale dei Sincrotroni

Le velocità di conteggio massime raggiungibili per le esperienze eseguite a Stanford per una data energia e per un dato angolo solido di accettazione degli apparati di rivelazione sono ovviamente proporzionali al prodotto dei tre numeri N, f, e .

$$\left(N \times f \times e \right)_{\text{Stanford}} = 8 \times 10^{10} \times 60 \times 7 \times 10^{-2}$$

Per i Sincrotroni la situazione sotto questi riguardi non sembra a prima vista molto promettente. Infatti, riferendoci p. es. al Sincrotrone di Frascati, disponendo di un target di idrogeno liquido interno e localizzato in una sezione diritta, la velocità di conteggio risulta ~ 500 volte minore, avendo a disposizione una intensità di circa 5×10^8 elettroni/impulso (nè a Cornell nè a Caltech sono riusciti finora ad ottenerne di più), con $f = 20$ impulsi/secondo.

Il fatto però che i Sincrotroni sono macchine circolari può mutare radicalmente questo poco incoraggiante risultato (causato principalmente dal valore della intensità del fascio che è ~ 100 volte minore di quella dell'acceleratore lineare). In altre parole se si riesce a far compiere al beam un numero sufficiente di attraversamenti del target (~ 100) il prodotto $(Nf e)_{\text{sincrotrone}}$ diviene dell'ordine del prodotto $(Nf e)_{\text{Stanford}}$.

Ciò è stato segnalato dal Prof. Wilson⁵⁾. Si riporta qui per comodità di lettura una parte del discorso che il Prof. Wilson ha fatto a questo proposito (referenza 5, pag. 15, penultimo capoverso):

..... However, I think we have the straight sections; we have a beam that is few millimeters in diameter, and that is the place to do the experiments. You can hold the beam and you can get the Hydrogen there. You can get a factor of 100 - 1000 by letting the

5) - R.R. Wilson; Meeting Roma - Frascati after Geneva. Verbale della riunione del 10.7.58 ai Laboratori di Frascati: Future exchange of experimental information among Cornell, Caltech Bonn, Frascati.

beam make multiple traversals.

That has been done at Cornell: we have put a liquid Hydrogen target right in the beam of our machine (Edwards⁶) is doing this). Unfortunately the first time the target blow up and filled the whole doughnut with H₂. What we did do, was to put in an Aluminum foil, a very thin foil.

We did see the beam go into the foil, many times, and there is an increase in intensity of many many times: I don't know yet of how many times exactly. In other words if you can make 100 traversals, the intensity is 100 times higher

..... Here we have a beam with perfect geometry, long times, all the advantages. So this place (in the doughnut) is the place to do experiments. I don't see any advantage in getting the beam out, and wouldn't worry about it"

Dettagli su tutto ciò ci sono stati forniti dal Prof. Silverman, e le informazioni avutene sono le seguenti:

Il target di idrogeno di Edwards e Zipoy era di forma cilindrica (raggio ≈ 1 cm) ed era posto con l'asse in direzione verticale. La finestra (mylar di 1/4 mil di spessore) si estendeva per un angolo pari a 180°.

Con le precisazioni avute dal Prof. Silverman si possono computare gli effetti delle perdite di energia e delle deviazioni angolari sul beam.

Scogliamo un target di $\frac{1}{2}$ cm di diametro, con finestra di mylar di spessore 1/4 mil e calcoliamo cosa accade quando un elettrone lo attraversa ad ogni rivoluzione.

Si trova che per effetto del mylar la perdita di energia più probabile per urti di ionizzazione è ⁷⁾ ≈ 1.4 KeV, mentre per effetto dell'idrogeno liquido è ⁷⁾ ≈ 71.5 KeV ad ogni attraversa-

6) - Insieme a Zipoy, come precisatoci dal Prof. Silverman

7) - E. Segrè Editor - Experimental Nuclear Physics, I; form. 54 c, pag. 257.

mento. A queste va sommata la perdita di energia L che la particella di energia $E = 1000 \text{ MeV}$ subisce ad ogni rivoluzione ($L \approx 25 \text{ KeV}$) per irraggiamento di orbita circolare, e allora in tutto si hanno $\approx 100 \text{ KeV}$ per giro, non avendo ancora messo in conto le perdite di energia per urti di Bremsstrahlung.

Ora, possono compiere attraversamenti multipli del target solo le particelle che mantengono la stabilità di fase delle oscillazioni di sincrotrone, e, per mantenerla, la condizione è che la tensione di picco U della cavità risonante sia $eU \gg 100 \text{ KeV}$. In altre parole sono "recuperabili" tutte le particelle che perdono per Bremsstrahlung ad ogni rivoluzione (cioè ad ogni urto) una energia $\Delta E \leq eU - 100 \text{ (KeV)}$, e di queste particelle ve ne sono tante di più quanto più grande è il ΔE ammesso.

Sia a Frascati che a Cornell si riesce ad ottenere dalle cavità in possesso al massimo $U = 60 \text{ kV}$. Non sappiamo quanto di più si possa ottenere oggi a Caltech.

3) Situazione per il Sincrotrone Nazionale

Esiste⁸⁾ un calcolo a proposito del sincrotrone Nazionale che dimostra la possibilità di far passare un'orbita di betatrone attraverso un bersaglio ogni tre rivoluzioni, (oscillazioni radiali di betatrone) mediante una perturbazione magnetica di forma opportuna. Il modo di realizzarla è descritto in una lettera manoscritta⁹⁾ (correnti nei circuiti correttivi).

In ⁸⁾ l'entità della perturbazione supera un certo valore critico, ed è tale da dar luogo ad una divergenza esponenziale nel tempo delle ampiezze delle oscillazioni di betatrone. Se tale perturbazione è invece di entità inferiore a tale valor critico, le ampiezze raggiungono un valor massimo finito (fluttuano periodicamente tra un massimo ed un minimo) ed è questo comportamento che

8) A. Turrin; N. Cim. 8, 511 (1958)

9) Indirizzata al Prof. Salvini ed ad alcune persone del nostro Gruppo, in data 17.IV.58.

presentemente ci interessa.

In (9) è stata fatta la richiesta di impulsare le correnti perturbative con tempi di salita il più brevi possibile.

Presentemente, invece, una tale richiesta non è affatto necessaria.

Con un target come quello scelto vediamo cosa succede quando un elettrone lo attraversa ogni tre rivoluzioni.

Si può far vedere che in questo caso le oscillazioni di sincrotrone si comportano proprio come se la perdita di energia ad ogni rivoluzione (non mettendo in conto la sola perdita per Bremsstrahlung) fosse

$$\left(\frac{73}{3} + 25\right) \text{ KeV} \approx 50 \text{ KeV per un elettrone da } 1000 \text{ MeV.}$$

Se $U = 60 \text{ KV}$, possono allora mantenere la stabilità di fase delle oscillazioni di sincrotrone tutte le particelle che perdono per Bremsstrahlung ad ogni urto (cioè ogni tre rivoluzioni) una quantità di energia $\Delta E \leq 30 \text{ KeV} = \Delta E_{\text{max}}$.

Ora, se un certo numero I_0 di elettroni di energia E compie un attraversamento del target spesso t ($\ll 1$) unità di radiazione, il numero I_1 di elettroni che hanno perduto per Bremsstrahlung una certa quantità di energia inferiore a ΔE_{max} è ¹⁰⁾

$$I_1 = I_0 \left(\frac{\Delta E_{\text{max}}}{E} \right) \frac{t}{c n_2} \quad , \text{ e questa è la intensità}$$

degli elettroni "recuperabili" dopo un attraversamento.

Per elettroni da 1000 MeV col target detto si ottiene che dopo 290 attraversamenti l'intensità totale è $N = 135 I_0 = 135 \times 5 \times 10^8 = 6.8 \times 10^{10}$ elettroni/impulso.

A questo modo

$$(N \times f \times e)_{\text{Stanford}} = 3.5 (N \times f \times e)_{\text{Frascati}}$$

Per quanto riguarda lo scattering coulombiano si trova che ad ogni attraversamento l'angolo (di deviazione) quadratico

10) - E. Segrè Editor - Experimental Nuclear Physics, I; form. 66 pag. 272.

medio proiettato è¹¹⁾ sempre per particelle di 1000 MeV.

$$\langle \theta \rangle_{\text{proiettato}} = 0.21 \times 10^{-3} \text{ rad.}$$

Si trova di conseguenza che:

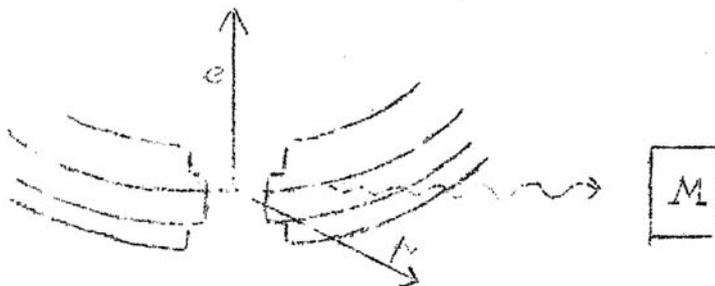
- a) Per le oscillazioni radiali, all'azimuth dove è posto il target l'orbita deviata per effetto di scattering si interseca con l'orbita non deviata. Ciò dipende dal fatto che le oscillazioni radiali sono in risonanza.
- b) Per le oscillazioni verticali, la loro ampiezza quadratica media per effetto di scattering è, dopo 290 attraversamenti

$$\langle Z_{\text{max}} \rangle = 1.2 \text{ cm}$$

4) Osservazioni finali

- a) Vale la pena di approfittare dal lungo duty cycle del Sincrotrono, e tentar di sistemare in qualche modo un sistema di coincidenze¹²⁾ per gli elettroni diffusi ed i protoni rinculati.

Per $E = 1000 \text{ MeV}$ si potrebbe aspettare l'elettrone diffuso a 90° ed il protone a $25^\circ 45'$, come in figura:



- b) Raccogliendo una statistica di eventi con l'elettrone scatterato a 90° fino a 1000 MeV, l'intervallo delle q^2 esplorate da Hofstadter¹⁾ si allunga del 50%.

11) - W.H. Barkas, A. H. Rosenfeld; Data for Elementary - Particle Physics (U.C.R.L. 8030) pag. 8.

12) - E. Amaldi, G. Jona - Lasinio, G.C. Moneti, G. Morpurgo - Urto elettrone - nucleone - Esperienze in progetto con l'eletrosincrotrone II° Vol. I.N.F.N. Sezione Acceleratore.

- c) Sarebbe interessante verificare direttamente sulla macchina al le basse energie che la perturbazione proposta⁸⁾ forza le orbite nel modo calcolato.
- d) Con questo genere di esperienze, tutta l'area della sala esperienze rimane disoccupata, e se ne può approfittare per fare esperienze con un intenso fascio gamma.