Introduzione alla fisica degli acceleratori di particelle

Catia Milardi

Stages per studenti di scuola media superiore Frascati 2-5 Febbraio 2009

Sommario

Importanza degli acceleratori di particelle Concetti di fisica di base Acceleratori elettrostatici ed acceleratori lineari Produzione dell'antimateria Gli elementi di un acceleratore e le loro funzioni Radiazione di sincrotrone Il ciclotrone Il betatrone Il sincrotrone Gli anelli di accumulazione Dinamica trasversa Dinamica longitudinale I collisori Concetto di luminosità Il complesso di acceleratori DA Φ NE Il nuovo schema di collisione implementato su $DA\Phi NE$ Panoramica e prospettive dei collisori esistenti I possibili collisori futuri

Le ragioni dello sviluppo degli acceleratori di particelle

Gli acceleratori di particelle sono stati sviluppati per studiare gli elementi costituenti della materia e le leggi che regolano la loro interazione



I dettagli di un microsistema (atomo o particella elementare) possono essere misurati solo con una sonda (radiazione elettromagnetica) che abbia caratteristiche (lunghezza d'onda) molto più piccole del sistema in esame

Ordini di grandezza della fisica nucleare e subnucleare

Le dimensioni caratteristiche della fisica delle particelle elementari Δx e lunghezza d'onda della luce visibile λ_{vis}

ellow mang Red Ĩ .446 .500 .578 1 600 .446 Visible — Spectrum wavelength 1km 1nm 1pm 1,44 m 1mm 1m radio x-rays long ultrainfra-red microwaves gamma-rays short wave wave violet hard soft -12 20.5 -10 18,5 -2 10.5 0 6.5 4.5 16.5 14.5 12.5 8.5 log wavelength (m) log frequency (Hz)

 $\Delta x < 10^{-15} \,\mathrm{m}$ $\lambda_{\rm vis} < 0.51 \cdot 10^{-6} \,\mathrm{m}$

Il principio di De Broglie dice che una particella con impulso \mathbf{p} può essere vista come un'onda elettromagnetica di lunghezza d'onda λ

$$p = rac{h}{\lambda}$$
 Maggiore p minore λ
Maggiore p maggiore E

di qui la necessità di avere fasci di particelle con energia sempre maggiore!

Un fascio di particelle (elettroni, positroni, protoni, ioni,...) che colpisce una targhetta o collide con un altro fascio produce reazioni nucleari, annichilazioni e crea nuove particelle. Lo studio di questi fenomeni con i rivelatori consente anche di far luce sull'origine dell'universo.



Diagramma dell'energia degli acceleratori dal 1930



Acceleratori per la produzione della radiazione di sincrotrone

La radiazione emessa da acceleratori di elettroni viene usata per studiare sia la materia inerte che biologica su scala atomica



Virus Proteine Funzioni dei tessuti



Acceleratori per applicazioni medicali

- Preparazione di isotopi radioattivi e traccianti da usare nelle indagini diagnostiche
- Terapia oncologica, produzione di ioni e protoni (adroni) da usare nel trattamento delle aree tumorali
- Molti strumenti diagnostici in medicina sono basati su conoscenze derivanti dallo sviluppo degli acceleratori di particelle



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c1/PET-schema.png



Positron Emission Tomography (PET)

Campi elettrici E per accelerare



Una carica elettrica **Q** genera nello spazio che la circonda una entita' fisica, il campo elettrico **E**, capace di esercitare una forza su un'altra carica \mathbf{q}_0 posta nelle vicinanze.

Il campo elettrico puo' compiere un lavoro su una particella carica e quindi puo aumentare la sua energia

Il potenziale elettrico V e' l'energia che compete ad una carica per il fatto di trovarsi in un dato punto di un campo elettrico



1 eV rappresenta un'energia molto piccola 1 eV = $1V \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}$ C = $1.602 \cdot 10^{-19}$ joules

Lampadina da 100 W accesa per 1 ora



360.000 joules 2.24•10²⁴ eV



4.500.000 joules 28.•10²⁴ eV Caldaia 12.600 Kcal in funzione per un' ora



La 'TeV-ape'

... ancora a proposito di electron volt!

Consideriamo un'ape che vola percorrendo 50 cm ogni 10 secondi

$$m_{ape} = 0.0001 \text{ Kgr}$$

 $v_{ape} = 0.05 \text{ m s}^{-1}$
 $E_c = 1/2^* \text{m}^* \text{v}^2 = 1.25 \cdot 10^{-7} \text{ joules}$
 $E_c = .78 \text{ TeV}$

Ha senso spendere miliardi di euro per costruire LHC ???

Assumiamo che la TeV-ape sia fatta al 100% di ⁶₁₂C

 $\mathcal{N}_{a} = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ N}_{\text{atomi}}/\text{mole}$ $\text{N}_{\text{atomi}} = \text{m}^{*} \mathcal{N}_{a}/\text{peso}_{\text{atomico}} = 5 \cdot 10^{21}$ $\text{N}_{\text{nucleoni}} = 6 \cdot 10^{22}$

- Ogni singolo protone accelerato nel Tevatron ha una energia pari a
 .98 TeV
- I protoni accelerati in LHC dovrebbero arrivare fino a 7 Tev

Campi magnetici costanti ed uniformi B per trasportare e confinare



• q particella carica



$$F_B = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$
$$L = F_B \cdot s_{AB} \cdot \cos(90^\circ) = 0$$

Un campo magnetico **costante** non puo' compiere un lavoro su una particella carica e quindi non puo' variare la sua energia

Moto in un campo magnetico uniforme

Un campo magnetico **uniforme** può essere usato per mantenere una particella carica q in moto su un'orbita circolare



La forza di Lorentz

Campi magnetici ed elettrici hanno le proprietà giuste per:

Determinare la traiettoria di una particella mantenere una particella in moto su un'orbita circolare Contenere la divergenza angolare delle traiettorie

Aumentare la loro energia

 $F_{M} + F_{F} = Forza di Lorentz$

Primi Acceleratori Lineari Elettrostatici

Il primo acceleratore fu un apparecchio, realizzato da Roentgen (Premio Nobel), costituito da un'ampolla a vuoto con dentro un catodo connesso al polo negativo di un generatore di tensione. Riscaldato, il catodo, emetteva elettroni che fluivano accelerati dal campo elettrico verso l'anodo (a tensione positiva). Dall'urto con l'anodo gli e⁻ producevano raggi X.

Gli **elettroni** sono estratti dal catodo e, viaggiando verso l'anodo positivo, acquistano un'energia uguale alla loro carica moltiplicata per la differenza di potenziale applicata tra catodo e anodo



PRINCIPIO: La differenza di potenziale tra due

elettrodi viene usata per accelerare le

particelle.

d d

L'energia massima raggiungibile è data dalla massima tensione applicata. Quando ΔV è molto alta si possono avere scariche elettriche

$$\Delta E = -e\Delta V$$

 ΔE pochi MeV per unità di carica

Moderni Acceleratori Lineari

PRINCIPIO: Le particelle emesse da un filamento vengono accelerate dal campo elettrico longitudinale generato da *elettrodi susseguenti*.

 $V(t) = V_0 \sin \omega t$

L'idea di Ising (1924) fu applicata da *Wideroe* (1927) che applicò una tensione variabile nel tempo (sinusoidale) ad una sequenza di *tubi di drift*. In questo caso le particelle non sentono campo accelerante quando si muovono all'interno di ciascun tubo di drift (regione di spazio equipotenziale) e vengono accelerate in corrispondenza dei *gaps*. Tali strutture si chiamano LINAC a Tubi di Drift (DTL).



Se la lunghezza dei tubi cresce con la velocità delle particelle in modo tale che il *tempo di attraversamento* di ciascun tubo sia sempre uguale a *mezzo periodo* del generatore di tensione, è possibile sincronizzare la tensione accelerante col moto delle particelle ed ottenere un guadagno di energia $\Delta E = q \Delta V$ ad *ogni attraversamento* di un gap.



v4 > v3 > v2 > v1

Accelerazione con campi elettrici a radiofrequenza

Dall'idea di Wideroe (1927) di applicare, al posto di un campo elettrico statico, un campo oscillante con frequenza opportuna tale che la fase cambi di π durante il tempo di volo fra due gap successivi si è progressivamente passati al concetto di accelerazione con campi a radiofrequenza.



La struttura accelerante consiste in una cavità risonante in cui viene accumulata l'energia di campi elettromagnetici RF. Similmente ai DTL, la struttura deve essere tale che il campo elettrico oscillante sia sincronizzato con fascio.



Come si ottiene l'antimateria

Un fascio di particelle incidendo su una targhetta metallica viene frenato ed emette radiazione (fotoni γ) caratterizzati da energia $E\gamma$. I fotoni γ interagiscono con i nuclei degli atomi della targhetta producendo coppie particella antiparticella.



Raggi Cosmici

Sulla terra arriva una radiazione altamente energetica costituita in gran parte da **protoni**, poi da **elettroni**, **particelle** α , **fotoni**, con piccole componenti di **antimateria** (positroni ed antiprotoni)

La gran parte dei raggi cosmici viene fermata dall'atmosfera terrestre dando vita a sciami di particelle di gran lunga meno energetici.

I protoni al di fuori dell'atmosfera possono arrivare ad avere energie strabilianti dell'ordine di



 $E_{p} \sim 10^{20} \, {\rm eV}$

100 milioni di volte piu' alta che negli acceleratori che si possono concepire

Tali particelle potrebbero rappresentare la nuove frontiera della ricerca nel campo della della fisica fondamentale mediante la realizzazione di esperimenti scientifici installati su satelliti !!

Concetti di relativita' speciale

La luce si propaga nel vuoto a velocita' costante indipendentemente dal sistema di riferimento da cui la si osserva e dalla velocita' dell'oggetto che la emette.

 $c = 2.99792458 \cdot 10^8 m s^{-1}$

Per una particella relativistica valgono le seguenti relazioni:

energia

$$E = mc^{2} \qquad m = m_{0}\gamma$$
impulso
energia ed impulso

$$\frac{E^{2}}{c^{2}} = p^{2} + m_{0}c^{2} \qquad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^{2}}} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

Per una particela ultrarelatistica v~ c $\beta \approx 1$ $E \approx pc$

Unità di misura della massa a riposo

Carica dell'elettrone

 $e = 1.6021 \cdot 10^{19} Coulombs$

Energia e massa a riposo

electron Volt

energia in eV

elettrone

protone

 $1[eV] = 1.6021 \cdot 10^{-19} Joule$ $E[eV] = \frac{m_0 c^2}{e}$

$$m_0^e = 9.109 \cdot 10^{-31} [Kg] = 0.511 \left[\frac{MeV}{c^2}\right]$$
$$m_0^p = 1.673 \cdot 10^{-27} [Kg] = 938.3 \left[\frac{MeV}{c^2}\right]$$

Come ottenere particelle relativistiche

È molto più facile ottenere elettroni relativistici che non protoni o ioni relativistici.



Un elettrone diviene relativistico quando la sua $E_c > 1 \text{ MeV}$ un protone ha bisogno di un'energia 1000 volte più alta.

Al di sopra di una certa E_c la velocità della particella diviene costante ad un aumento di E_c corrisponde solo un aumento di massa relativistica

Perchè si ha solo un aumento di massa relativistica?

Quando v > 99.5 % C il parametro γ comincia a crescere indefinitamente



 $\gamma >> 1$ particella ultrarelativistica

Per gli elettroni ed i positroni accumulati negli anelli di DAFNE γ = 1000

Magnete curvante dipolo

Consentono di curvare la traiettoria delle particelle Dipolo elettromagnetico



i dipoli elettromagnetici vengono usati per produrre B non oltre $B_{MAX} \le 2 T$ Cosa fare per ottenere campi magnetici più intensi?

Magneti superconduttori

I materiali superconduttori al di sotto di una certa temperatura offrono una resistenza trascurabile al passaggio della corrente. Possono essere usati per generare B fino a

B ≤ 10 T





Basse temperature 2 Kelvin = -271° C

Ottenute raffreddando i conduttori con un dispositivo frigorifero che usa He superfluido, il criostato

Focheggiamento debole



Questa configurazione funziona fino a quando l'inclinazione delle faccie dei poli è tale da garantire una F_x in grado di mantenere le particelle sulla traiettoria voluta

Radiazione di Sincrotrone

Particelle in moto su un'orbita circolare quando passano all'interno di un magnete curvante emettono radiazione in direzione tangente alla loro traiettoria



- A parità di **E** e ρ un elettrone emette molta più radiazione di sincrotrone di un protone
- La radiazione di sincrotrone emessa da protoni è stata osservata per la prima volta al Tevatron

Limiti imposti dalla Radiazione di Sincrotrone

L'energia persa per emissione di radiazione di sincrotrone deve essere compensata mediante una cavità RF

$$E_{MAX} [GeV] \propto \left(\rho[m]U_{MAX}\right)^{1/4}$$
$$U_{MAX} = P_{MAX}^{RF}$$

- Data una certa potenza RF si può costruire un acceleratore con energia maggiore aumentandone il raggio
- Raddoppiare l'energia a parità di potenza RF richiede un acceleratore con raggio 4 volte maggiore

e⁺ e⁻	DAΦNE	U~9.7 KeV	E = .51 GeV	L = 97.58 m	1
e⁺ e⁻	LEP	U ~ 700 MeV	E = 70 GeV	L = 27 Km	>
рр	LHC	U~7 KeV	E = 7000 GeV	L = 27 Km	J

Acceleratori con energia E >> 100 GeV devono accelerare adroni (protoni, antiprotoni o ioni) oppure devono essere acceleratori lineari

Applicazioni della Radiazione di Sincrotrone

La radiazione di sincrotrone è emessa entro un cono di stretta apertura $\boldsymbol{\theta}$



Magnete focheggiante Quadrupolo

Focheggia le traiettorie delle singole particelle così come fa una lente con la luce





Caratteristiche di B

- B=0 al centro
- L'intensità di B cresce linearmente ed in maniera proporzionale allo spostamento rispetto all'asse di riferimento



Focheggiamento a gradiente alternato

Un quadrupolo è focheggiante \blacktriangleright in una delle direzioni del piano trasverso (x,y) e defocheggiante \blacktriangleright nell'altra

La definizione di un quadrupolo come QF viene fatta relativamente all'asse **x**



Focheggiamento forte

Per ottenere il focheggiamento complessivo di un fascio di particelle lungo un canale di trasporto o in un acceleratore circolare bisogna usare una sequenza di quadrupoli con il segno alternato

Tale configurazione è in grado di garantire traiettorie stabili con piccole deviazioni dai valori nominali



Sestupolo

Abberrazioni cromatiche I quadrupoli focheggiano in maniera diversa particelle con diversa energia



Sestupolo Genera un campo nullo nel centro del magnete La variazione del campo magnetico dipende quadraticamente dallo spostamento trasversale

Cavità a radiofrequenza

Fornisce un campo elettrico E variabile nel tempo ad alta frequenzaE è generato da una tensione variabile nel tempo

$$V(t) = V_0 \cos \omega t$$

Le particelle passando nella cavità RF vengono accelerate

Ciclotrone

Proposto nel 1930 da Lawrence Principio di funzionamento dimostrato nel 1931da Livingston

Sorgente di particelle al centro degli elettrodi E= E(T) tra le due sezioni della camera da vuoto Le particelle vengono accelerati e si muovono su una traiettoria spiraleggiante

$$\omega_z = \frac{e}{m} B_z$$
 frequenza di ciclotrone

frequenza di rivoluzione costante raggio di curvatura aumenta usato per elettroni, deuteroni e particelle α

Betatrone

Idea proposta da KERST (1941) Usato per accelerare e⁻ ad un'energia E~ 2.3 MeV

- Le particelle sono accelerate da un campo elettrico E prodotto da un campo magnetico che varia nel tempo e nella direzione x
- Regolando opportunamente **B** si può far compiere alle particelle un'orbita circolare
- Ad ogni giro un e⁻ viene accelerato e tanto maggiore il numero dei giri tanto più alta è l'energia che si raggiunge
- Il Betatrone è stato il primo acceleratore in cui le particelle erano accelerate lungo traiettorie circolari chiuse orbite
- Sul betatrone furono osservate per la prima volta le oscillazioni delle particelle accelerate intorno all'orbita di riferimento
- Tali oscillazioni furono chiamate oscillazioni di betatrone!

Sincrotrone

1945 idea proposta nel da Veksler (URSS) and McMillan1946 Goward e Barnes costruirono il primo sincrotrone1949 Wilson et al. accumularono il primo fascio in un sincrotrone

- Le particelle ad ogni passaggio successivo aumentano la loro energia grazie alla cavità RF
- **B** aumenta in modo da tenere il raggio dell'orbita costante

$$B\rho = \frac{p}{e} \approx \frac{E}{ce}$$
$$E[GeV] \approx 0.3B[T]\rho[m]$$

Il valore di **B** non è illimitato quindi per raggiungere alte energie è necessario costruire acceleratori con un raggio molto grande

Dinamica trasversa delle particelle in un anello di accumulazione $x' = \frac{\Delta x}{\Delta x}$

$$\omega = 2\pi f_r = \frac{v}{r}$$

orbita nominale è quella che corrisponde all'energia per cui l'acceleratore è stato progettato E_0

Una particella che viene iniettata sull'orbita nominale con $x_0 = 0$ $x_0' = 0$ $y_0 = 0$ $y_0' = 0$ E = E0 particella ideale rimane sull'orbita nominale

Se una delle variabili iniziali x_0 , x'_0 , y_0 , y'_0 è diversa da zero la particella si muove lungo l'obita compiendo oscillazioni in ognuno dei due piani trasversi (x,s) ed (y,s) le oscillazioni di betatrone
Oscillazioni di betatrone

$$x(s) = \sqrt{\beta(s)\varepsilon(s)}\cos(\varphi(s) + \varphi_0)$$

Le oscillazioni di betatrone:

- non sono periodiche
- la loro ampiezza è varibile lungo s ed è modulata dalla funzione $\beta(s)$ beta
- la loro massima ampiezza definisce l'inviluppo del fascio di particelle accumulato $\Delta \varphi_{-1}$
- la loro fase varia lungo s come 1/ $\beta(s)$ $\Delta s = \overline{\beta(s)}$
- Il numero di oscillazione di betatrone ν_x e ν_y compiute sul giro descrive globalmente il focheggiamento nell'anello
- v_x e v_y si possono cambiare cambiando rispettivamente l'intensità dei quadrupoli Q_F e Q_D

La funzione beta è:

- sempre positiva
- misurata in metri
- periodica in s ossia riassume gli stessi valori ad ogni giro $\beta(s) = \beta(s+L)$
- Ha un massimo nei Q_F un minimo nei Q_D
- descrive globalmente l'effetto dei campi elettromagnetici nell'anello



Perchè $v_x e v_y$ non possono assumere valori interi

Se così fosse qualsiasi imperfezione nei campi guida dell'acceleratore produrrebbero effetti che si sommerebbero giro dopo giro dando luogo a risonanze che potrebbero essere distruttive per le particelle accumulate



Nonostante ciò esistono ancora delle risonanze che vanno evitate

 $n \cdot v_x + m \cdot v_y = p$ con n,m e p sono interi

Oscillazioni di betatrone nello spazio delle fasi

$$x(s)_{MAX} = \sqrt{\beta(s)\varepsilon(s)}$$

Se si considera una particella che ha $x=x_{MAX}$ e si grafica la sua posizione in funzione di x' ad un dato punto s su molti giri

$$A = \pi \varepsilon$$



ε è l'emittanza del fascio

si misura in [mm mrad] dà una misura di quanto le traiettorie delle particelle accumulate si discostano dalla traiettoria della particella ideale

Evoluzione dell'emittanza



La forma dell'ellisse varia lungo l'anello di accumulazione ma la sua area rimane costante finchè l'energia rimane costante L'emittanza è un invariante del moto trasverso

Fascio di DAΦNE sul monitor di luce di sincrotrone



Effetto dei dipoli sul moto trasverso di particelle con energia E diversa da quella nominale E₀



La particella con $Dp/p \neq 0$ compie oscillazioni di betatrone intorno ad un'orbita diversa da quella nominale

La funzione che decrive di quanto l'orbita fuori energia si discosta da quella nominale si chiama dispersione $\eta(s)$ [m]

Effetto dei quadrupoli sul moto trasverso di particelle con energia E diversa da quella nominale E₀

Dp/p > 0le particelle sentono un focheggiamento minore $--> v < v_0$ Dp/p < 0</td>le particelle sentono un focheggiamento maggiore $--> v > v_0$



La dipendenza del numero di oscillazione di betatrone delle particelle accumulate dall'energia è cruciale per la stabilità del fascio

 ξ deve essere corretto accuratamente

Fine del primo tempo



Dinamica trasversa

$$V(t) = V_0 \sin \omega t = V_0 \sin \psi$$



$$\omega = 2\pi f_{RF} = 2\pi n f_r$$

f_r frequenza di rivoluzione f_{RF} frequenza della cavità n numero armonico

$$n = \frac{f_{RF}}{f_r}$$

 $\Delta p/p > 0$ $Dp/p = 0 \quad V = V_s \quad \text{partice}$ $Dp/p > 0 \quad V_2 < V_s \quad \text{partice}$ $Dp/p < 0 \quad V > V \quad \text{partice}$

Le particelle oscillano in energia oscillazioni di sincrotrone v_s = numero di oscillazioni per giro quelle che arrivano in cavità con una fase ψ $t \notin t_2 - t_1$ sono perse il che determina la formazione di pacchetti di particelle

Dinamica di un fascio in un acceleratore

Un fascio di particelle **accumulato** in un acceleratore di particelle si muove lungo l'orbita circolare eseguendo delle oscillazioni nei piani trasversi **(x,s)** e **(y,s)** le **oscillazioni di betatrone**, i cui parametri caratteristici sono:

 $\beta_x, \beta_y, \nu_x, \nu_y, \eta_x, \xi_x, \xi_y$ Contemporaneamente il fascio oscilla anche in energia **oscillazioni di sincrotrone** in un giro compie ν_s oscillazioni.

Generalizzazione della **condizione di stabilità** $n \cdot v_x + m \cdot v_y + o \cdot v_s = p$ con n,m,o e p numeri interi

Cinematica delle collisioni tra fasci

VANTAGGI



Parte dell'energia del fascio incidente è spesa nel loro rimbalzo sulla targhetta

Tutta l'energia dei due fasci è a disposizione per realizzare le collisioni

LIMITE

La densità dei fasci relativistici che si sanno realizzare è molto bassa rispetto a quella della materia condensata di una targhetta.

Uno dei fasci circolanti in DAFNE contiene un numero di particelle n_p $N_p = 100 \cdot 10^{10}$

Uno dei pionieri di questo concetto

Bruno Touschek (1921-1978) concepì la brillante idea di accumulare elettroni e positroni che, nella loro annichilazione, avrebbero rilasciato tutta la loro energia per dar vita a nuove particelle.



ADA (1962) il primo collisore e⁺ e⁻



Incroci parassiti ed angolo d'incrocio tra fasci collidenti

Far colidere fasci composti da molti pacchetti di particelle con un angolo consente di mitigare gli effetti negativi degli incroci parassiti



Collisori circolari

I collisori circolari possono essere composti da 1 o due anellii $q_1 e q_2$ sono le cariche delle particelle collidenti caratterizzate da energie $E_1 E_2$ Si possono avere le seguenti configurazioni



II CONCETTO di SEZIONE D'URTO

Due particelle che collidono possono produrre tipi diversi di eventi, alcuni più probabili di altri

la sezione d'urto **o** di un determinato evento è proporzionale alla probabilità che l'evento avvenga si misura in cm²

Luminosità L

 σ_p è la probabilità di ottenere un dato evento dall'urto tra particelle collidenti (sezione d'urto del processo da studiare)

L è il numero di collisioni realizzate per unita' di superficie A per unità di tempo

 N_e è il numero di particelle prodotte dalle collisioni



Come si ottiene un'alta Luminosità ?



- Aumentando le correnti dei singoli fasci ed il numero di pacchetti da cui sono costituiti
- Diminuendo le dimensioni trasverse dei fasci
- Nei collisori ad anelli separati ottimizzando la sovrapposizione dei pacchetti collidenti trasversalmente e longitudinalmente



Fattori limitanti: Più alte sono le correnti:

- maggiori sono le loro instabilità
- maggiore è l'energia U persa per emissione di radiazione di sincrotrone
- Maggiore è la perturbazone elettromagnetica di un fascio sull'altro nel punto di collisione

Diminuire $\sigma_x e \sigma_y$ comporta una diminuzione della vita media dei fasci con conseguente aumento del rumore sul rivelatore

Giochiamo con la luminosità di DA Φ NE

e⁺ e⁻ collidendo con E_{CM} = 1.02 GeV producono mesoni Φ

$$L = \frac{N^{+}N^{-}}{4\pi\sigma_{x}\sigma_{y}} \times f_{r}b \approx 10^{32} [cm^{-2}s^{-1}] \qquad \begin{array}{l} N^{+} = N^{-} = 10^{10} \\ \sigma_{y} = 10 \ \mu = 10^{-5} \ m \\ \sigma_{x} = 1 \ mm = 10^{-3} \ m \\ b = 100 \\ f_{r} = 3076923 \ s^{-1} \end{array}$$

 $\sigma_{\Phi} = 3 \cdot 10^{-30} \text{ cm}^2$ L · $\sigma_{\Phi} \sim 300 \text{ eventi s}^{-1}$ frequenza di produzione dei mesoni Φ



THE Φ -FACTORY COMPLEX



FISICA DELLE PARTICELLE a DA Φ NE

Dalla collisione di e⁻/e⁺ all'energia di 1.02 GeV si produce la particella Φ . Questa decade in kaoni (K) carichi o neutri.



I K sono utilizzati dagli esperimenti KLOE, FiNUDA, DEAR e SIDDHARTA



Gli anelli di collisione di DA Φ NE



L a DAΦNE 2001 ÷ 2007



L _{logged} (fb ⁻¹) 2001÷2007			
	DEAR	0.2	
	KLOE	3.0	
	FINUDA	1.2	
L _{logged} = luminosità acquisita dagli esperimenti			

NUOVO SCHEMA DI COLLISIONE (P. Raimondi, et al.2006)

(crab-waist collision scheme)

1. Grande angolo di incrocio e piccola area di sovrapposizione tra i fasci nel piano x,s

2. β_y^* ha lo stesso ordine di grandezza della regione di sovrapposizione tra i fasci

3. β_y^* è modulato dai sestupoli in modo tale da essere minimo lungo tutta la regione di sovrapposizione tra i due fasci



La nuova sezione d'interazione di DA Φ NE



Il nuovo schema di collisione ha funzionato?

A partire da metà Giugno 2008

- sono state implementate le modifiche su $\mathsf{DA}\Phi\mathsf{NE}$
- Il collisore è stato rimesso in funzione
- la luminosità di picco è aumentata di un fattore 2.5
- la luminosità integrata giornaliera è aumentata di un 30%



SI HA FUNZIONATO!



С Ε R S



LEP (Large Electron Positron) CERN 1988-2001

LEP1

1300•10⁶ CHF costo dell'acceleratore e delle relative infrastrutture

- 1989 prime collisioni E = 46 GeV energia della Z_0
- 1994 massima luminosità $L_{picco} = 2.210^{31} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1} E_{fascio} = 45 \text{ GeV}$
- LEP2

1995 cavità superconduttrici **E = 104 GeV** per studiare il bosone di HIGGS

LEP è a tutt'oggi l'acceleratore che ha raggiunto le più alte energie per elettroni e positroni



LHC (Large Hadron Collider) CERN



LHC date e costi

6•10⁶ EUR Marzo 2005 Aprile 2007 10 Settembre 2008 19 Settembre 2008 costo dell'acceleratore installazione del primo magnete installazione dei magneti completata parte la messa in funzione incidente e fermo delle operazioni

ATLAS

LHC 'B'

Il dipolo di LHC

B_{MAX} = 83800 Gauss I = 11700 A T = 1.9 °K B_{terra} = 0.2 - 0.7 Gauss (equatore - poli)

°K = -273.15 °C





Il dipolo criogenico di LHC



Ingresso dei dipoli criogenici nel tunnel di LHC (un solo pozzo di accesso)





LHC è installato 100 m di profondità!





Traiettoria e profilo del fascio in LHC


19 Settembre – Incidente nell'LHC



Incidente dovuto ad una connessione elettrica difettosa tra due magneti che ha causato una scarica elettrica che a sua volta ha provocato un foro nel circuito dell'elio superfluido ...

Il collisore pp a più alta energia 2 TeV (finchè LHC non sarà in funzione) $L_{picco} = 3.5 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$



Beauty-Factory: Stanford Linear Accelerator Center (chiusa nel 2008)

Circonferenza degli anelli = 2.2Km

Linac per e-

L~ 3Km E = 50GeV





Due anelli di accumulazione uno su l'altro e^- 9 GeV e^+ 3.1 GeV $E_{CM} \sim 10$ GeV

L'annichilazione di e+/eproduce quarks-b L_{picco}= 1.2•10³⁴ cm⁻²s⁻¹



...e progetti futuri (per la ricerca

fondamentale)

Arrivare a energie dell'ordine del TeV per e⁺e⁻ 10 volte di più del LEP

> Linear colliders









Acceleratori Lineari e⁻ per i *Free Electron Lasers* (FEL)

I Laser ad Elettroni Liberi sono potenti sorgenti di radiazione elettromagnetica coerente (microonde, UV, raggi X) con alta potenza di picco e alta brillanza (ordini di grandezza superiori agli anelli di luce di sincrotrone).

PRINCIPIO del FEL-SASE (=Self Amplified Spontaneous Emission) : Un linac ad e- accelera pacchetti di elettroni di alta qualità (brillanza) che entrando nell'ondulatore generano radiazione EM coerente, con un'amplificazione esponenziale.



Accelerazione a plasma

Un impulso laser passando in un gas produce un plasma chegenera campi E molto alti che possono essere usati per accelerare e⁻



.... e poi?

Magari qualcuno di voi avrà qualche nuova idea!

Grazie per l'attenzione.

Materiale usato: presentazioni LNF Scuole del CAS CERN M. Sands, "The Physics of electron Storage Rings: an Introduction", SLAC-0121, Nov 1970. 172pp. (scaricabile dal sito SLAC <u>http://www-library.desy.de/spires/hep/</u>) Fermilab web pages MIT web pages SLAC web pages <u>www.particleadventure.org</u>