

**Prirodno-matematički fakultet
INSTITUT ZA FIZIKU**

Природно-математички факултет
Радна заједница заједничких послова
Н О В И С А Д

Датум : 7. XII. 1982			
Ор . -	Број	Предмет	Вредност
03	10/63		

PROJEKT LEP (Large Electron Positron Collider)
-Diplomski rad-

Komsn Svetislav

Novi Sad, 1982.

Zahvaljujem se profesoru Dr Milenu Nikoliću na pomoći i sugestijama koje mi je pružio prilikom izrade diplomskog rada.

S A D R Ž A J

	strana
UVOD	1
1. Neša sadašnje znanje o strukturi materije	1
2. Interakcija čestice	3
3. Izbor jednog elektron-pozitronskog prstena	5
4. Luminozitet	7
I PRIKAZ OSTALIH PROJEKATA	12
1. Protonske mašine	13
2. Elektron-protonske mašine	18
3. Elektronske mašine	19
II FIZIČKA MOTIVACIJA ZA LEP	22
1. Napredak ka ujedinjavanju interakcija	22
2. Eksperimenti sa LEP-om	23
III OPIS LEP-a	27
LITERATURA	35

U V O D

1. Naše sadašnje znanje o strukturi materije

Dok se bar 50 godina odlikuje neprekidnim nizom otkrića novih čestica, kojih se sada ima na stotine, jedno od najsuštinskih dostignuća je u zadnjih 15 godina, to što je shvaćeno da se one mogu prikazati preko mnogo kraće liste osnovnih sestojaka.

Lista čestica za koje znamo da su fundamentalne komponente materije, svedena je na šesticu leptona i kverkova.

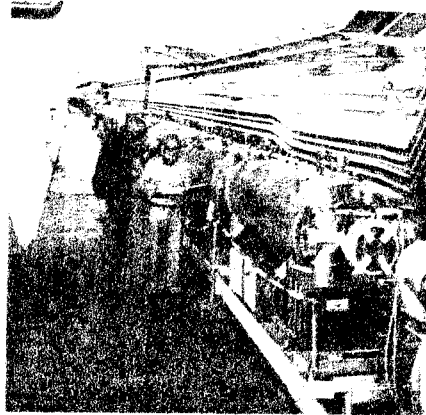
Naš uobičajeni svet je u biti gradjen od samo četiri čestice: dva kverka (gornji "up" kverk i donji "down" kverk) i dva leptona (elektron i elektronski neutrino) i njihovih antičestice. Dva gornje kverke sa električnim nabojem $+\frac{2}{3}$ i jedan donji kverk sa nabojem $-\frac{1}{3}$, grade proton, koji nosi jedinično naelektrisanje. Dva donje kverke i jedan gornji grade neutron nultog naelektrisanja. Protoni i neutroni zajedno grade na stotine različitih tipova jezgre. Zajedno sa elektranima, te jezgre grade različite tipove atoma. Elektronski neutrini su dodatno potrebni za objašnjenje slabih interakcija (beta raspad). Znači da se ovim česticama možemo analizirati strukturu našeg sveta.

Da budemo kompletni, trebamo dodati da se kverkovi javljaju u tri varijante, tri boje (na primer: crveni gornji kverk, plavi gornji kverk i žuti gornji kverk) iako to nema nikakve veze sa našom uobičajenom koncepcijom boje. Takođe imamo i antičestice kao parove našim česticama (na primer, pozitron koji je antielektron što ima pozitivno naelektrisanje umesto negativnog). Ipek se razlogom možemo govoriti o našem svakodnevnom svetu da je u suštini gradjen od kvarteta čestice, slike 1.

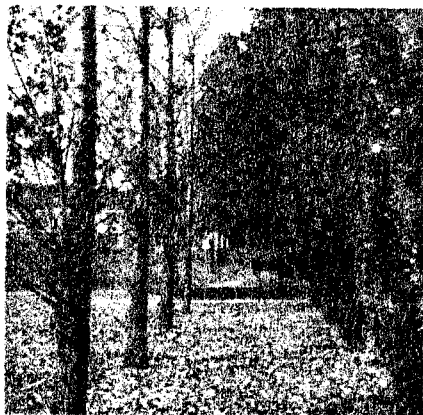
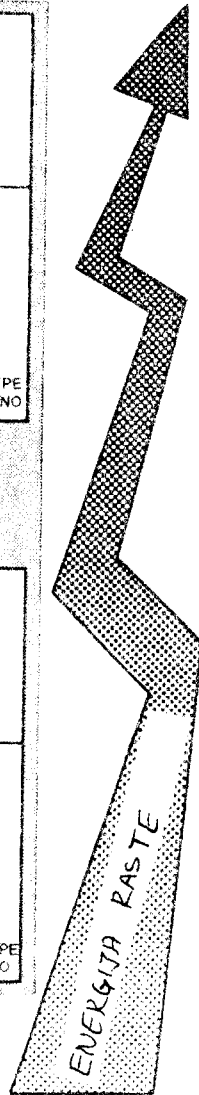
Ali priroda se ne zaustavlja ovde. U kosmičkom zračenju su otkrivene čestice koje pripadaju drugom težem kvartetu: dva kverka (čudan "strange" kverk i šarm "charm" kverk) i dva leptona (mion "muon" i mionski neutrino) i njihove antičestice.



Quarks	Leptons
○ TOP	○ TAU
○ BOTTOM	○ TAU-TYPE NEUTRINO



Quarks	Leptons
⊘ CHARM	⊘ MUON
⊘ STRANGE	⊘ MUON-TYPE NEUTRINO



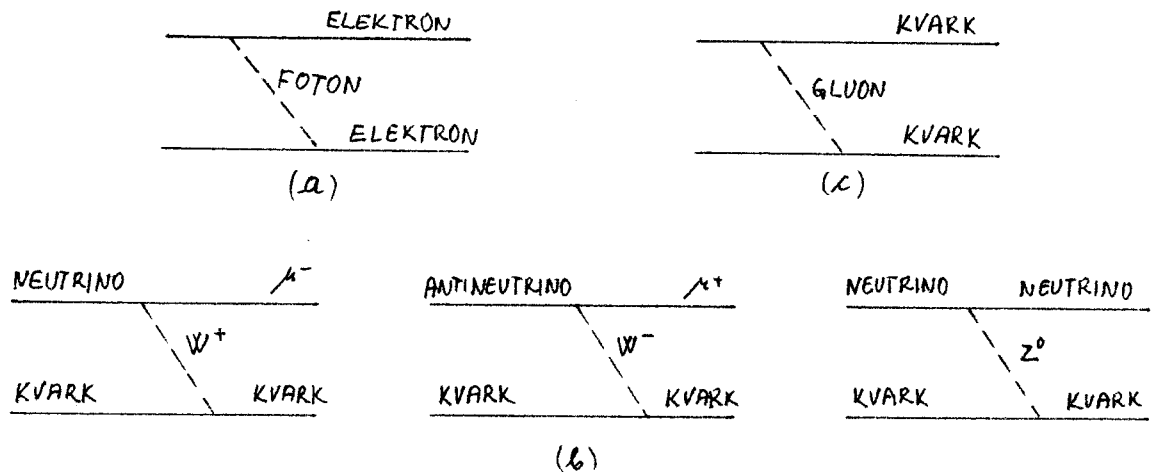
Quarks	Leptons
● UP	● ELECTRON
● DOWN	● ELECTRON-TYPE NEUTRINO

SLIKA 1

Nedavno je evidentiran deo trećeg, još težeg kvarteta: jedan kverk (dno "bottom" kverk) i jedan lepton (tau lepton) i njihove antičestice. Drugi deo kvarteta, kverk vrh "top" i tau neutrino, kao i njihove antičestice, još nisu vidjeni ali se se sigurnošću pretpostavlja njihovo postojanje.

2. Interakcije čestice

Interakcije čestice se dele u tri kategorije prema uočljivo različitim relativnim jačinama raznorodnih efekata za koje smo govorili da su kontrolisani od strane elektromagnetne sile, slabe sile i jake sile, slike 2,



SLIKA 2

Shvatanje elektromagnetne sile tj. elektromagnetne interakcije, pre svega u ujedinjenju električnih i magnetnih fenomena a zatim u formulaciji kvantne elektrodinamike (QED) je jedan od blistavih uspeha savremene fizike. Ponašanje čestice pod dejstvom ove interakcije moguće je proračunati sa savršenom tačnošću. U kvantnoj elektrodinamici, koja je kompletna fizička teorija (sleganje teorije i eksperimenta je savršeno), elektromagnetne interakcije se prenosi posredstvom razmene čestice nulte mase, nazveni fotoni, slike 2 (a), između čestice koje su osetljive na ovu interakciju. Fotoni se mogu manifestovati kao radio-talasi, vidljive svetlost, infracrveni zraci, x - zraci, ...

Pokušaji da se shvate druge dve interakcije idu po istoj analogiji.

Za slabu interakciju, sadašnja interpretacija je toliko zavisna od elektromagnetne interakcije, da više ne priличи govoriti o njima razdvojeno i sada su one kombinovane u tzv. elektroslabu teoriju (Salam - Weinberg-ov model).

Slaba interakcija je razjašnjena razmenom čestice zvanih intermedijerni vektorski bozoni, slike 2 (b). Za interakcije neneutralnih struje, gde leptoni i kvarkovi razmenjuju električni naboj, posredničke čestice su nazvane W^+ i W^- bozoni i za interakcije neutralnih struje, koje su otkrivene u CERN-u (Evropske organizacije za nuklearne istraživanja) 1973. godine, posredničke čestice nosi ime Z^0 bozon. Njihove mase se predviđaju da budu oko 75 GeV-a (za W^+ , W^- bozone) i 85 GeV-a (za Z^0 bozon). Pri tim energijama postaće bezrazložno da se prvi razlika između slabih i elektromagnetnih interakcija, makar se i dala tako lako razdvojiti pri mnogo nižim energijama današnjih eksperimenata. Sadašnja formulacija slabe interakcije vodi osobini da njen intenzitet raste sa porastom energije (tj. povećanje efikasnog preseka sa energijom), sve do tačke kada bi se eventualno javio konflikt sa unitarnošću. Ekstrapolišući primećen porast iz energije postojećih akceleratora, nalazi se da bi slaba i elektromagnetna interakcija trebale da imaju uporedive intenzitete na energiji reda 100 GeV-a u centru mase. Ovo se odnosi kako na neutralne, tako i na naelektrisane struje. Što se tiče slabe interakcije neutralnih struje, ona ima dodatnu osobinu da može da interferira sa elektromagnetnom interakcijom, pa se očekuje njihovo stepanje na način koji zahteva ujedinjen opis, kao što je to predloženo elektroslabom teorijom.

Sadašnje teorije pokušavaju da opišu dejstvo jake interakcije postulišući druge čestice razmene, kojima je dato ime gluoni, slike 2 (c). Ove čestice (gluoni), prenose boju među kvarkovima koje je osnovna osobina jake interakcije. Na teorijskom planu, kvantna hromodinamika (QCD) je postala veoma jak i jedini kandidat za teoriju jake interakcije. Daleko je od toga da bude potpuna ali ima brojnih uspeha i protekle godine je dobila eksperimentalnu potvrdu iz rezultata merenja skledišnog prstena PETRA u

DESY laboratoriji gde je vidjena indirektna potvrda gluona.

3. Izbor jednog elektron-pozitronskog prstena

U odnosu na čestice koje ubrzavaju, postoje četiri tipa mašine i svakom od njih je moguće itraživati određene fenomene u fizici, što šematski i tabelarno (I) možemo prikazati na sledeći način:

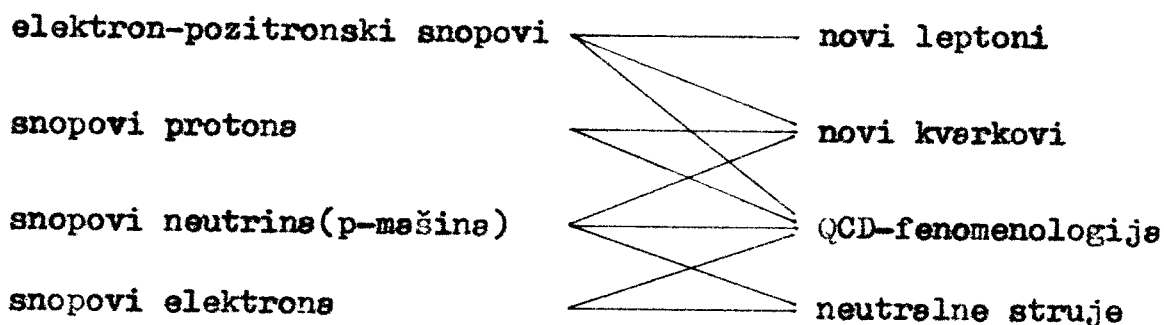


TABELA I

fizike	tip mašine		
	e^+e^-	e^-p	pp ili $p\bar{p}$
provera testovima QED	L	N	N
broj sromata	L	N	N
identifikacije novih kvarkova	L	T	T
identifikacije novih leptona	L	T	T
pronalaženje Higgs-ovih čestica	L	T	T
merenje $\sin^2\theta$, itd.	L	T	T
broj neutrina	L	N	L
provera testovima QCD	L	L	L
otkriće Z^0	L	T	L
otkriće W^+, W^-	T	T	L
ukupni hadronski efikasni presek	N	N	L

L - lako (često mislimo teško)
 T - teško (često mislimo nemoguće)
 N - nemoguće

U razmišljanju o novoj mašini, trebalo je voditi računa da se svi tipovi kvarkova i leptona mogu izučavati.

Protonski kolejder (dva snopa se ubrzavaju u jednom prstenu) može lako da dostigne željenu energiju. Ipak, iako se protoni relativno lako ubrzavaju, za njih se zna da su složeni objekti. Kada se dva protona (ili proton i antiproton) sudareju, veliko pozadinsko zračenje uzrokovano mnogim sekundarnim efektima, bi detaljnoj studiji slabih i elektromagnetnih efekata pričinjavalo nesevledive probleme.

Elektroni imaju samo slabu i elektromagnetnu interakciju i zbog toga su vrlo pogodni za sondiranje nukleona u izučavanju elektromagnetne i slabe interakcije kvarkove. Ipak, elektroni jako zrače pri ubrzavanju i velike elektronske mašine su već odevno poznate kao tehnički vrlo teške za izgradnju. Sinhrotronske radijacije raste se E^4/R , gde su E i R energija snopa i radijus krivine. Optimizacije između izdatka izgradnje i izdatka korišćenja, vode izboru R koji raste se kvadratom energije (E^2).

To je slučaj visokoenergetskog elektron-pozitronskog skladišnog prstena (LEP), koji je CERN odebrao kao svoj budući skcelerator. Anihilacije elektrona i pozitrona preko virtuelnog fotona ili Z^0 rezultuje skoro jednaku produkciju svih različitih tipova kvarkova i leptona. Na taj način, bilo da hoćemo dokazivanjem postojanja nosioca slabe interakcije (W^+, W^- i Z^0 bozone), sintezu slabe i elektromagnetne interakcije ili studiju novih kvantnih brojeva, LEP se čini idealnom mašinom.

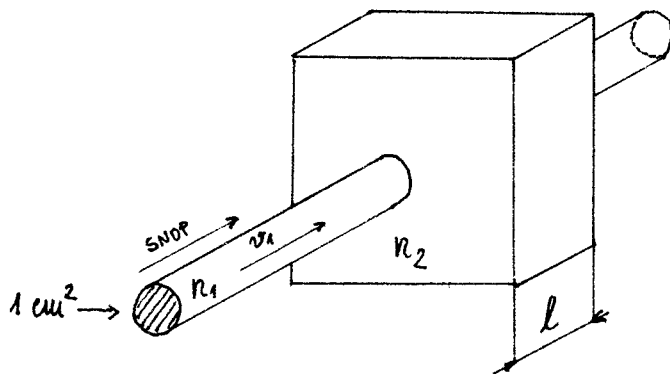
Dodavno na ove fizičke razloge za izbor LEP-a kao Evropske mašine budućnosti tu je i plan međunarodne saradnje u razvoju drugih postrojenja za istraživanje fizike čestice širom sveta. U SAD, Brookhaven gradi proton-protonske skladišne prstenove od 400 GeV-a (ISABELLE) a Fermilab gradi proton sinhrotron (energetski dvojnjak) od 1 TeV-a koji će se transformisati u proton-antiproton kolejder energije 2 TeV-a u centru mase. U SSSR, Serpukhov planire klasičan proton sinhrotron od oko 3 TeV-a. Daljnje dopunske postrojenja mogu nastati u Evropskom DESY (HERA), Američkom Stanfordu u Japanu u Tokiju (TRISTAN) i u Kini u Pekingu.

Neke od ovih mašina su klasične, sa nepomičnom metom, gde je glavni parametar intenzitet snopa (tj. broj čestice u snopu) a neke su na principu skladišnih prstenova i kolajdera. Kod ovih drugih glavni parametar je luminozitet.

4. Luminozitet

Luminozitet ili "respoločivi broj interakcije" može biti definisano kao broj interakcije po jedinici vremena koje proizvodi određene reakcije krajnje (finalne) stanje. U slučaju sudarejućih snopova, ta veličina može biti izračunata iz geometrije snopova, njihove gustine, energije i njihovog ugla ukrštenja.

Posmatrajmo prvo snop poprečnog preseka 1 cm^2 koji se sudare sa nepokretnom metom, slike 3.



SLIKA 3

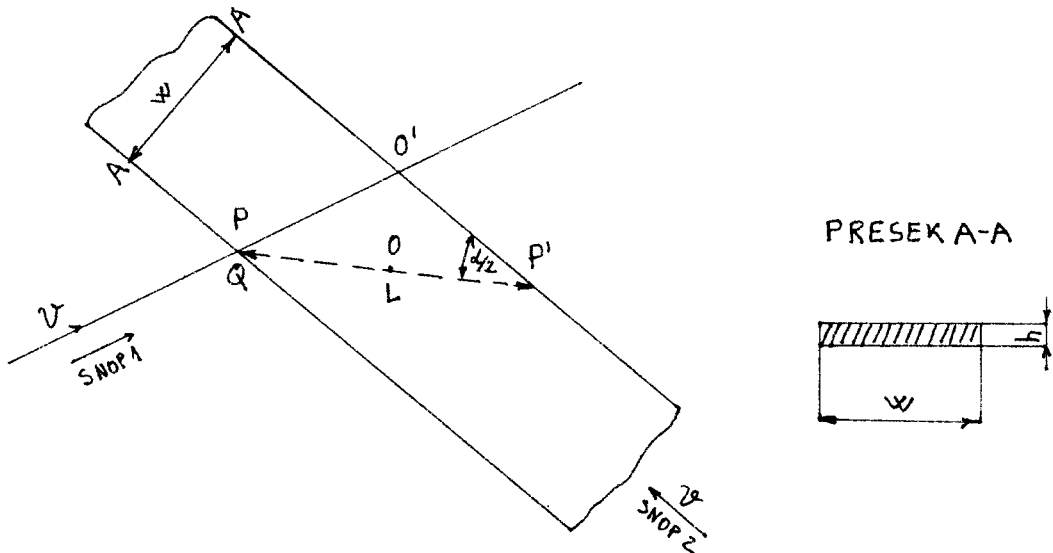
Gustine snopa i mete neke budu n_1 i n_2 . Čestice snopa imaju brzinu v_1 . Broj reakcije biće proporcionalan broju čestice koje pristižu u jedinici vremena ($n_1 v_1$) i broju čestice ($n_2 l$) koje snop može pogoditi za vreme prolaska kroz metu debljine l . Znači

$$\frac{dN}{dt} = \sigma (n_1 v_1) n_2 l \quad \dots\dots 1$$

Konstanta proporcionalnosti σ se naziva efikasni presek interakcije i ima dimenziju površine (cm^2). Broj interakcije po prolasku jedne čestice je

$$= \sigma n_2 l \quad \dots\dots 2$$

Posmatrajmo sada geometriju domena gde se dve snopove sudareju pod uglom α , kao kod ISR (ukršteni skladišni prstenovi) u CERN-u, slike 4.



SLIKA 4

Pošto je meta u pokretu, situacija je komplikovanije. Uočimo jednu česticu Q koja prolezi kroz drugi snop koji ima oblik pljosnate trake, visine h i širine w . Broj čestice izbrojenih po prolezu mora biti isti za sve posmatrače. U skladu sa jednačinom (2) to je proporcionalno gustini, puta dužine proleza. Posmatraćemo od centre mase (tačke O) čestice Q i P' . Usled konačnog ugla ukrštenja, center mase (tačke O) će se pomeriti do tačke O' na kraju proleza, sa brzinom

$$v_0 = v \sin \frac{\alpha}{2}$$

gde je v brzina čestice. Usled Lorentz-ove kontrakcije jedinične zapremine, gustina snopa 2 izgleda manjom za faktor

$$\gamma_0 = \left[1 - \left(\frac{v_0}{c} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

u sistemu centre mase u odnosu na laboratorijski sistem. Efektivna dužina proleske je

$$L = \frac{w}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

u sistemu centre mase, pošto sve čestice između P i P' mogu biti pogodjene. Koristeći jednačinu (2), broj interakcije je

$$= \mathcal{G} \frac{n_2}{\gamma_0} L \cong \mathcal{G} n_2 \frac{w}{\tan \frac{\alpha}{2}}$$

za $v=c$. Množeći se totalnim brojem čestice ($n_1 v_1 w h$) koje u sekundi prolaze snop 2, za deo sudara dobijamo

$$\frac{dN}{dt} = \sigma n_1 n_2 v_1 w^2 h \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^{-1}$$

Izreživši gustinu (n) strujnog snops (I) kao

$$n = \frac{I}{e w h v}$$

dobijamo za $v=c$

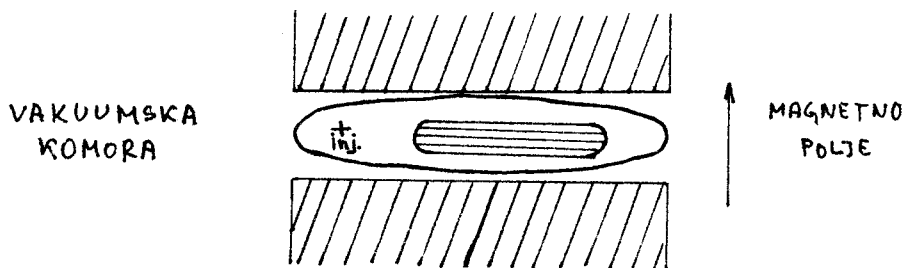
$$\frac{dN}{dt} = \frac{\sigma}{c e^2} \frac{I_1 I_2}{\operatorname{htg} \frac{\alpha}{2}} \dots\dots 3$$

Normalizacije efikasnim presekom daje veličinu zvenu luminozitet (L)

$$L = \frac{1}{\sigma} \frac{dN}{dt} = \frac{1}{c e^2} \frac{I_1 I_2}{\operatorname{htg} \frac{\alpha}{2}} \dots\dots 4$$

koje je broj interakcije za jedinicu efikasnog preseka. Jednačine (4) pokazuje da luminozitet ne zavisi od širine snops (w), ali zavisi od njegove visine (h) i jačine struje snopova (I_1, I_2).

Struje snops predstavljaju broj elektrona i pozitrona koji se mogu akumulirati u vakuumskoj cevi. Taj broj je ograničen se mogućim otvorom i gustinom ubačenog snops. Na slici 5, je skiciran presek vakuumske komore u magnetnom procepu.



SLIKA 5

U cilju da se produktuje visoko uniformno magnetno polje, rastojanje izmedju polova mora biti manje nego njihova širina. To dovodi do pljosnate komore i zbog toga do nagomilavanja u horizontalnoj ravni. Prostor pogodan za akumulaciju je prikazan horizontalnim linijama na slici 5.

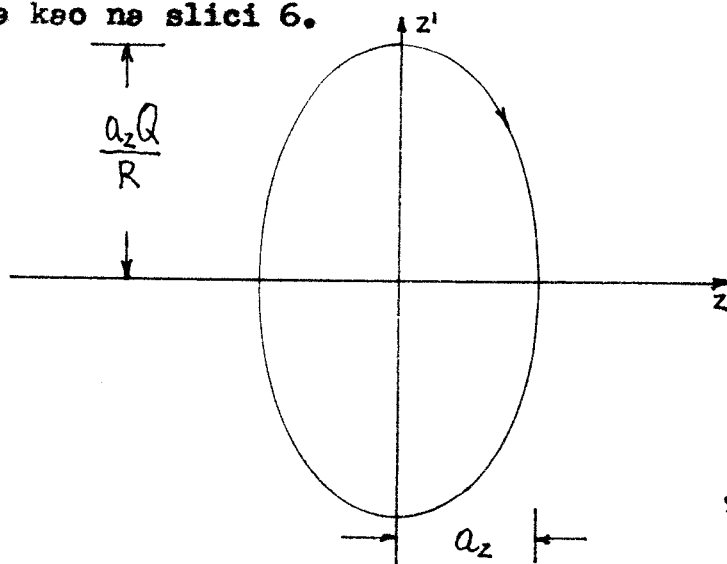
Visina snops je odredjena fokusiranjem i emitencijom snops. Snaga fokusiranja se meri brojem transverzelnih oscilacija (Q) oko ravnotežne orbite koje čestice učini tokom jednog obrta u prstenu. To su betstronske oscilacije i približno se mogu opisati jednačinom harmonijskog oscilatora, pod pretpostavkom da se po obimu prstena fokusiranje ne menja suviše. Za vertikalnu ravan

$$z = s \sin\left(Q \frac{s}{R} + \phi\right) \quad \dots\dots 5a$$

tj.

$$z' = \frac{dz}{ds} = \frac{2Q}{R} \cos\left(Q \frac{s}{R} + \phi\right) \quad \dots\dots 5b$$

Nezavisno promenljive s je koordinata uzduž orbite, čija je totalna dužina $2R\pi$. Izgled putanje u z, z' ravni je elipse kao na slici 6.



SLIKA 6

Predpostavimo da sve čestice imaju amplitudu jednaku ili manju od a_z čime obuhvatemo sve trajektorije. Može se pokazati da površina snops u z, z' prostoru ostaje konstantna bez obzira na fokusiranje i predvidjeni longitudinalni moment snops ostaje nepromenjen. Površina je karakteristika snops i naziva se emitencijom (E)

$$E = z_{\max} z'_{\max} \pi = \frac{\sigma_z^2 Q}{R} \pi \dots\dots 6$$

Pošto prenosom od jednog akceleratora na drugi ne menja svoju vrednost, emitansa je definisana se proton sinhrotronom (PS), ubacivačem ISR. Stoga je radijus snope determinisan sa njegovom emitansom i Q vrednošću. Iz jednačine (6) za σ_z dobijamo

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{E R}{\pi Q}} \dots\dots 7$$

Na primer, za visinu snope (h) u ISR skladišnim prstenovima dobijamo:

$$\begin{aligned} E &\approx 0,5 \times 10^{-6} \pi \text{ red m} \\ Q_{\text{ISR}} &= 8,7 \\ R &= 150 \text{ m} \\ h = 2\sigma_z &\approx 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

I PRIKAZ OSTALIH PROJEKATA

Tabela II prikazuje postojeće i planirane mašine za istraživanje čestice u oblasti visokoenergetske fizike:

TABELA II

Oblast i laboratorije	MAŠINA	ČESTICE	Energija (GeV)		mogući razvitek
			u laboratoriji	u centru mase	
EVROPA CERN	PS	p	26	7,11	
	ISR	p+p	2048,10*	31+31	
	SPS	p	450	29,09	
	SPS	p+p	155436,16*	270+270	
	LEP ?	e ⁺ +e ⁻		65+65(I feza)	
DESY	PETRA	e ⁺ +e ⁻		19+19	$\left\{ \begin{array}{l} e^+ + e^- \\ e^- + p \end{array} \right.$
	DORIS	e ⁺ +e ⁻		5+5	
	DESY II ?	e+p e ⁺ +e ⁻			
SAD BNL	AGS	p	33	7,97	$\left\{ \begin{array}{l} \bar{p} + p \\ e + p \end{array} \right.$
	ISABELLE	p+p	341150*	400+400	
FNAL		p	500	30,65	$\left\{ \begin{array}{l} p + p \\ \bar{p} + p \end{array} \right.$
	TEVATRON	p	1000	43,33	
SLAC	SLAC	e	22		
	PEP	e ⁺ +e ⁻		18+18	
CORNEL	PEP II ?				
	CESR	e ⁺ +e ⁻		8+8	
SSSR SERPUKHOV		p	76	12,01	$\left\{ \begin{array}{l} p + p \\ \bar{p} + p \end{array} \right.$
	UNK ?	p	3000	75,032	
JAPAN KEK		p	12		$\left\{ \begin{array}{l} e + p \\ e^+ + e^- \\ \bar{p} + p \end{array} \right.$
	TRISTAN ?	p+p	85287*	200+200	
KINA		p	50	9,77	

? — mašine u izgradnji

* — laboratorijske energije za slučaj akceleratora sa jednim snopom

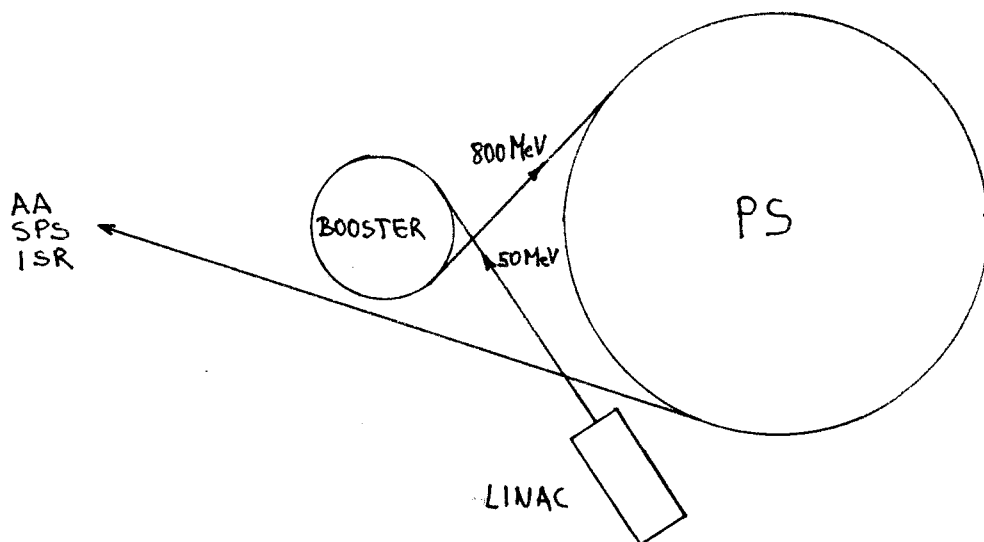
1. Protonske mašine

Proton sinhrotron (PS)

28 GeV-e proton sinhrotron u CERN-u je bila prva mašina koja je kompletno koristila neizmjenični gradijent polje tj. princip jakog fokusiranja.

Na istom principu radi AGS akcelerator od 33 GeV-e u Brookhaven-u.

Protoni za PS se dobijaju iz gasovitog vodonika, pa se ubrzavaju sa 750 KeV-e elektrostatičkim akceleratorom a zatim bivaju ubačeni unutar linearnog akceleratora (LINAC) koji im daje 50 MeV-e, slika 1.



SLIKA 1

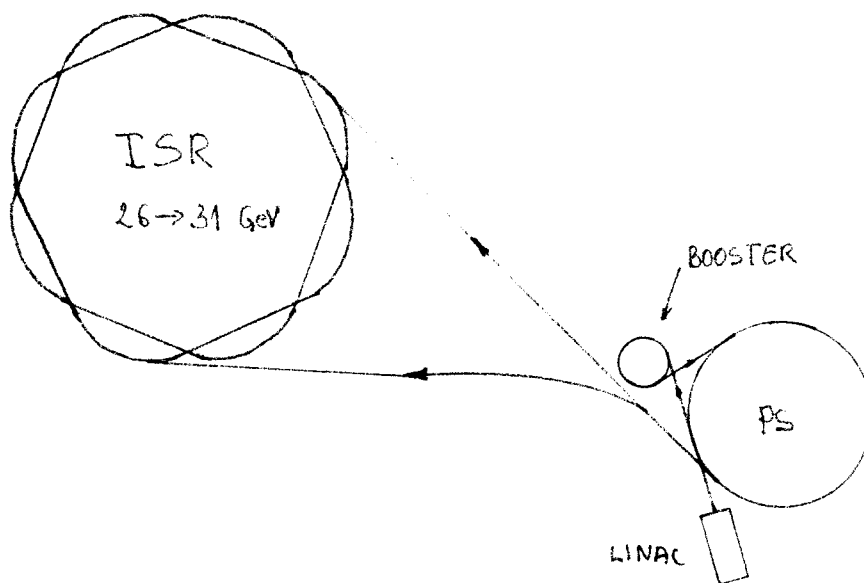
Se tom energijom protonski snop ulazi u Booster, četvorospratni sinhrotron za sabijanje u kome se protoni ubrzavaju do 800 MeV-e a zatim ubacuju u glavni prsten PS radi daljeg ubrzanja.

Glavni zadatak PS danas je proizvodnja i ubacivanje protona u SPS (super proton sinhrotron), punjenje ISR (ukršteni skladišni prstenovi) sa protonima određene energije i obezbeđuje protone za produkciju antiprotona.

Ukršteni skladišni prstenovi (ISR)

ISR u CERN-u se sastoji od dva ukrštena prstena okružena magnetima. Ti magneti vode i fokusiraju protone kroz vakuumske cevi koje se presecaju na osam mesta.

Protonski snopovi ubačeni iz PS se energijom od 26 GeV-e se ubrzavaju do 31 GeV-e u ISR prstenovima a zatim dovode u skoro direktne sudare, slike 2.



SLIKA 2.

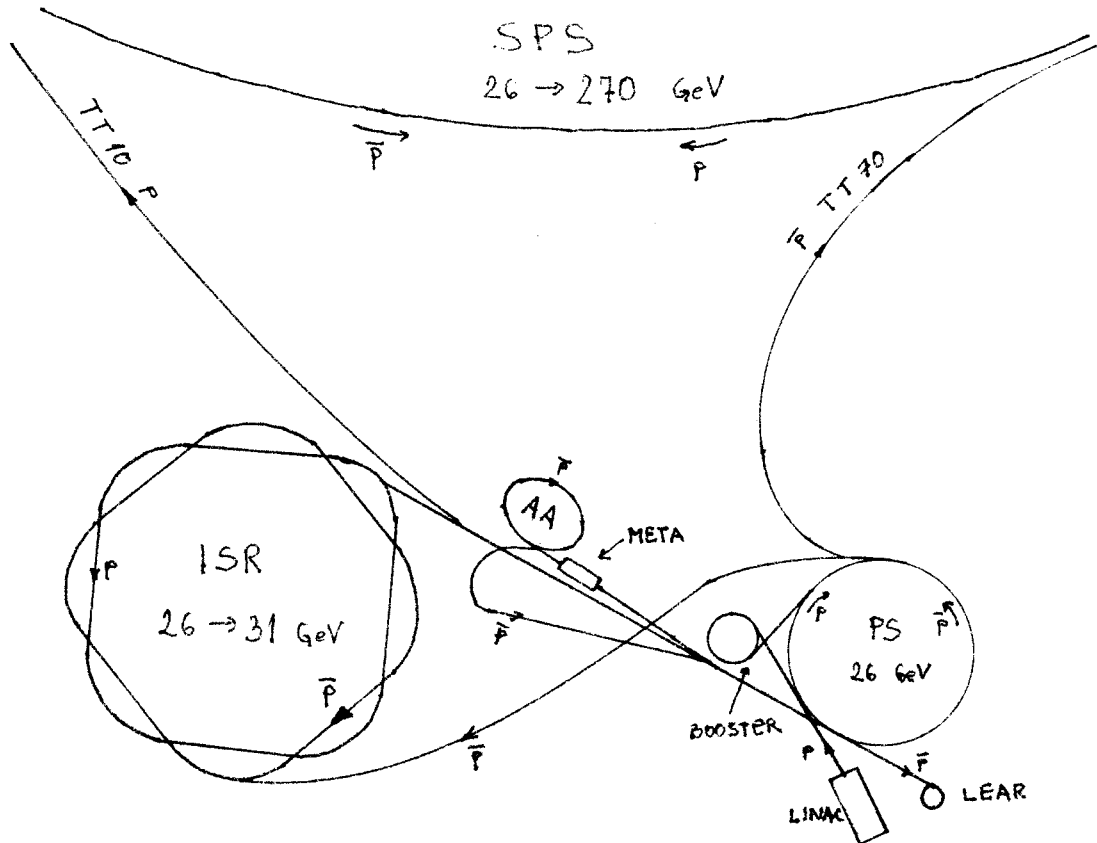
Na ovaj način se skoro sve kinetičke energije troši na kreaciju novih čestica ili za transformaciju protona. Pored protonskih interakcije se ISR prstenovima možemo posmatrati interakcije antiprotona, deuterona i α - čestica.

ISABELLE

Posle nedavnog uspeha se novim superprovodnim magnetima, budućnost ISABELLE - 400 GeV-e proton-proton skladišnog prstena u Brookhaven-u (kao skladišni prstenovi ISR u CERN-u) odjednom izgleda mnogo svetlije. Ovi magneti su potrebni radi što tačnijeg vođenja dva protonske snopove.

Super proton sinhrotron (SPS)

Zahvaljujući tehničkom napretku, postojeći 400 GeV-s SPS u CERN-u od 1981. godine radi kao kolajder tj. ubrzava protone i antiprotone u istom prstenu. Protoni, energije 26 GeV-s se dobijaju direktno iz PS linijom TT 10, slike 3.



SLIKA 3

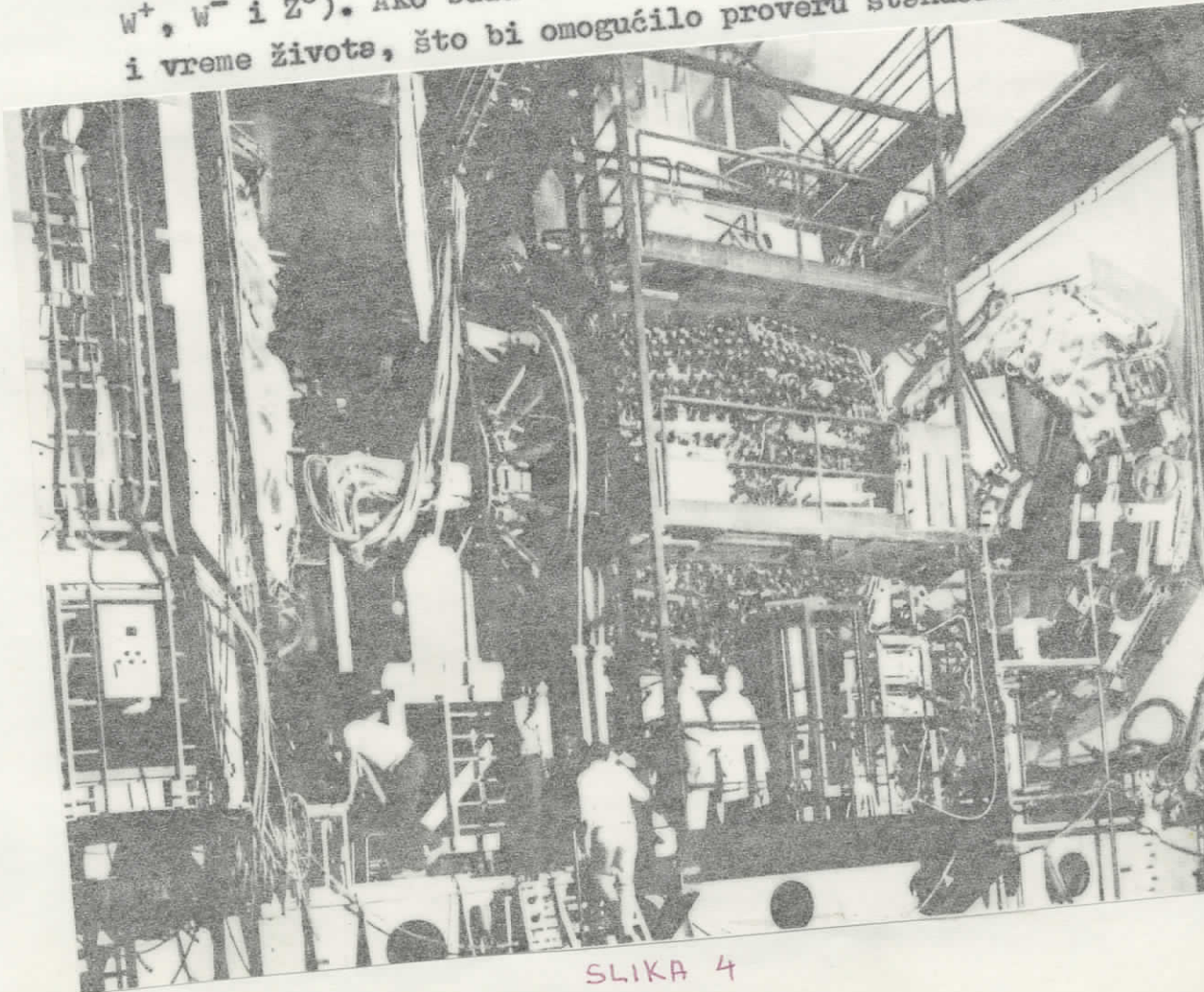
Antiprotoni, energije 3,5 GeV-s se dobijaju bombardovanjem nepomične mete sa visokoenergetskim protonima iz proton sinhrotrona i bivaju akumulirani u AA (antiprotonski skumulator). Kad je dovoljno antiprotone akumulirano u AA, 6×10^{11} \bar{p} po impulsu se izvlači i ponovo vraće u PS.

Zato što je prostor ograničen u AA, ubacivački i izbacivački sistem je lociran na istom mestu u prstenu.

Dospevši u PS, antiprotoni se ubrzavaju do 26 GeV-s i prenose dalje do SPS (linijom TT 70) ili ISR za eksperimente.

Antiprotoni se mogu i uspoređivati u PS, redukujući svoju energiju na 0,3 GeV-a. Zatim se izvlače iz PS i ubacuju u mali skladišni prsten LEAR (nisko-energetski antiprotonski prsten). Svrha LEAR-a, nije da postigne proton-antiproton sudare, već da snop antiprotona raste po intenzitetu. Intenzitet je hiljadu puta većim nego kod postojećeg snopa antiprotona u PS. Korišćenje ovog snopa će dati veliki npreradak u poznavanju ponašanje čestica na niskim energijama.

Snopovi protona i antiprotona koji su ubačeni u SPS se kreću u istom prstenu ali u suprotnom pravcu, ubrzavaju se do 270 GeV-a svaki i na kraju bivaju dovedeni u direktne sudare. Ovoj energiji od 540 GeV-a u centru mase odgovara protonski i antiprotonski snop energije 155000 GeV-a u odnosu na laboratoriju. Specijalne detektorska oprema postavljena na dva mesta okolo prstena, registruje rezultate tih sudara. Sada se postavlja eksperimentalna tehnika, slike 4, kojom se predviđa mogućnost dobijanja i registrovanja nosilaca slabe interakcije (intermedijarnih vektorskih bozona W^+ , W^- i Z^0). Ako budu vidjeni biće teško izmeriti im masu i vreme života, što bi omogućilo proveru standardnog modela.



SLIKA 4

TEVATRON

U Fermilab-u je u toku izgradnja protonskog akceleratora Tevatron I od 1000 GeV-a sa superprovodnim magnetima koji bi trebao biti gotov tokom 1983. godine, a planira se dalje izgradnja proton-antiprotonskog kolajdera Tevatron II, u kojima bi se kao i u CERN-ovom SPS-u kretali protoni i antiprotoni. Tevatron II bi trebao biti gotov 1986. godine. Biće to superprovodna mašina i maksimalna energija koju će dostići u centru mase je 2000 GeV-a.

UNK

Mašina veće energije, sa nepomičnom metom, koja će biti stavljena u pogon u sledećoj dekadi je UNK, 3000 GeV-a proton sinhrotron u Serpukhov-u. To je povećanje intenziteta postojeće 70 GeV-a mašine na 5×10^{13} protona po impulsu. Ovaj 70 GeV-a proton sinhrotron služiće kao injektor (ubacivač) za UNK. Projektovani akceleratori kompleks (UNK) biće dvostepen. Prvi stepen, koristeći standardne magnete ubrzaće protone sa energijom od 70 - 400 GeV-a. U drugom stepenu koristiće se superprovodni magneti, što će omogućiti ubrzanje protona do 3000 GeV-a. Pošto će se protoni energije 400 GeV-a kretati u istom prstenu kao i protoni energije 3000 GeV-a, moći će se radi potrebe eksperimenata dovoditi u direktne sudare. Tunel za UNK će biti dosta širok da bi dopustio dodatak još jednog skladišnog prstena i dozvolio 3000 GeV-a na 3000 GeV-a proton-protonsku fiziku.

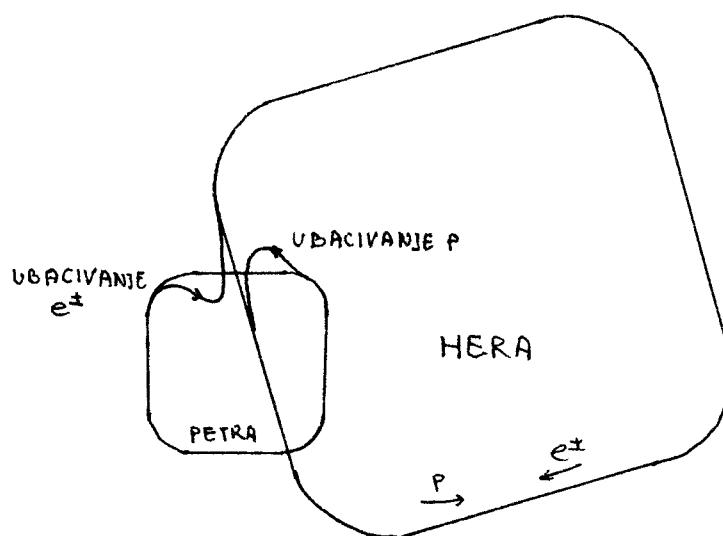
Protonske mašine će obezbediti fizičke uslove za:

- a) postojanje i proizvodnju intermedijernih vektorskih bozona W^+ , W^- i Z^0 ,
- b) proveru standardnog modela kao teorije za elektroslabu interakciju,
- c) proveru kvantne hromodinamike kao kandidata za teoriju jake interakcije,
- d) mogućnost velike unifikacije jake interakcije i elektroslabe interakcije,
- e) postojanje Higgs-ovih čestica i
- f) vrlo teške nova kvark-antikvark vezana stanja.

2. Elektron - protonske mašine

HERA

Projekt HERA, pri DESY laboratoriji u Hamburgu predstavljaće veliki akcelerator u kome će se sudarati snopovi elektrona i protona. U sebi uključuje akcelerator PETRA, što se vidi na slici 5.



SLIKA 5

U ovom proton-elektron kružnom akceleratoru moći će se posmatrati sudari elektrona energije 30 GeV-a sa protonima energije 920 GeV-a. Superprovodni prsten za protone je instaliran oko elektronskog prstena koji je isti kao kod mašine PETRA. Elektroni će biti ubrzavani ovim redom: DESY LINAC II (500 MeV-a) → DESY sinhrotron (7 GeV-a) → PETRA (14 GeV-a) ⇒ HERA. Protoni će biti ubrzavani ovim redom: proton LINAC (50 MeV-a) → DESY (7,6 GeV-a) → PETRA (40 GeV-a) ⇒ HERA.

Ovaj unapredjen program će nam dopustiti:

- studiju za slabo-elektromagnetno ujedinjavanje sa mogućim nagoveštajima intermedijernih vektorskih bozona,
- traženje za novim prirodnim stanjima (novi kvarkovi i teški leptoni) i
- studiju mlazeve (jets) sa mogućnošću razlikovanja između mlaze kvarkove i mlaze gluone.

3. Elektronske mašine

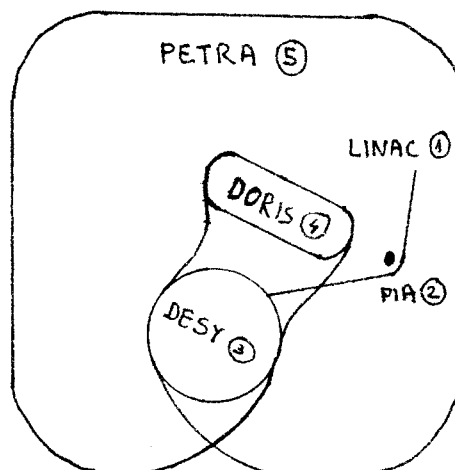
DORIS i PETRA

U Hamburgu pri DESY laboratoriji, elektron-pozitron akceleratori DORIS i PETRA imaju važan plan unapređenja postojećih mašina.

U DORIS će biti sagradjen još jedan prsten za DORIS II - elektron-pozitronski akcelerator. Sa novim radiofrekventnim uređjima maksimalna energija će biti od $2 \times 5,1$ GeV-a do $2 \times 5,6$ GeV-a.

PETRA pruža se 1000 MHz radiofrekventnim sistemom, maksimalnu energiju za sudarejuće snopove od $2 \times 18,4$ GeV-a. Tokom 1982-83. godine snaga radiofrekventnog sistema će biti udvostručena od 4,8 MW do 9,6 MW a energija će porasti do $2 \times 20,5$ GeV-a. Instaliranjem superprovodnog kvadrupola i 200 m superprovodnih rezonatora, PETRA može dostići 1985. godine energiju od 2×30 GeV-a.

Relativna veličina i geometrija za elektron-pozitron skladišne prstenove može se lako ilustrovati planom laboratorije DESY, slike 6.

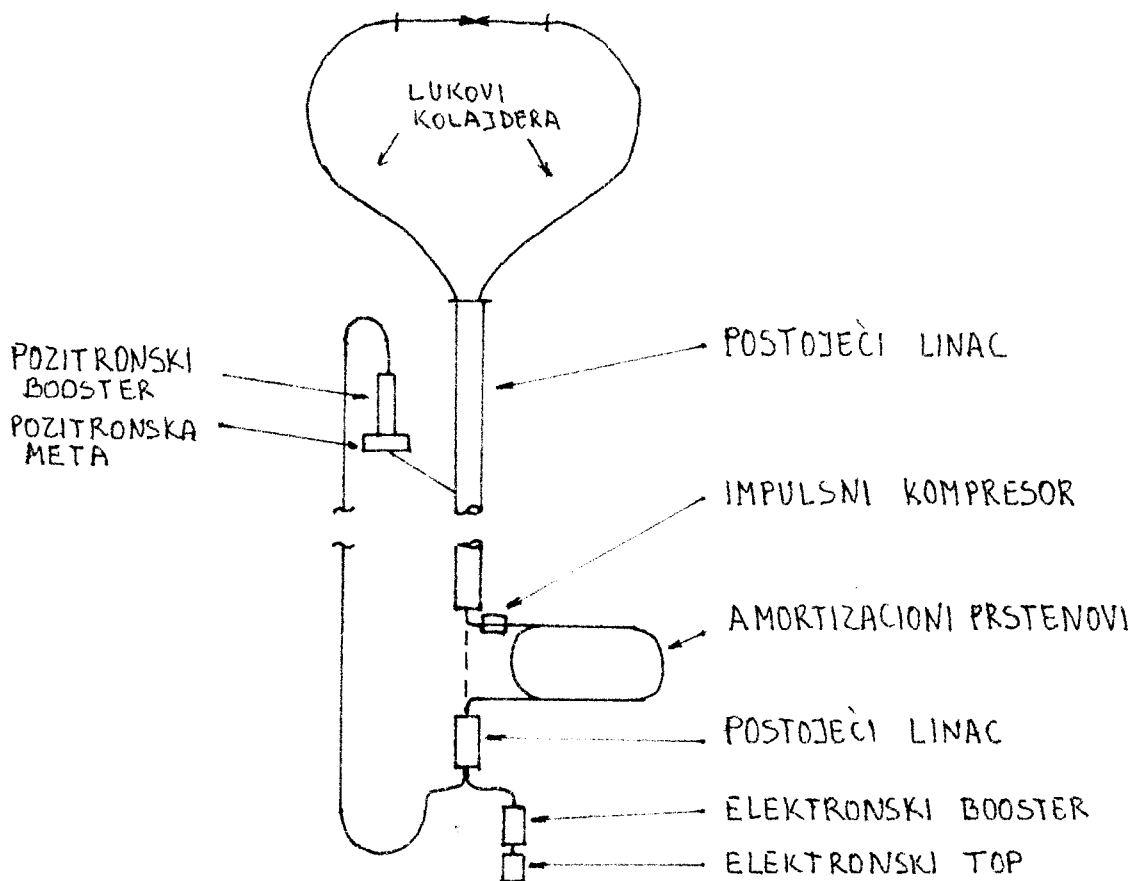


SLIKA 6

Elektroni i pozitroni se proizvode u 400 MeV-a linearnom akceleratoru LINAC (1), čuvaju i razdvajaju u skladišnom prstenu PIA (2), prenose do akceleratora DESY (3), ubrzavaju se i tada usmeravaju dalje do DORIS (4) ili PETRA (5) radi fizičkih itraživanja.

SLC kolajder

Ideje elektronskog linearnog SLC kolajdere u Stanfordu je sušta jednostavnost - dva linearna akceleratora se spajaju u jednu tačku u kojoj se sudareju elektroni i pozitroni, slike 7. Projekt zahteva konstrukciju dva zakrećuća prstena, novi elektronski ubacivač, pozitronsku metu i povratnu liniju, sudarajuće lukove i finalni fokusirajući sistem da dovede čestične pakete do sudara. SLC će koristiti postojeći, 3 km dug linearni akcelerator SLAC za proizvodnju i elektronskog i pozitronskog snopa za sudare sa energijama u centru mase do 100 GeV-s.



SLIKA 7

Elektronski top proizvodi potrebnih 5×10^{10} elektrona, u paketima dužine oko 1 mm. Sa tim elektronima ubrzanim do oko 35 GeV-s, izbacuje se dovoljno nisko-energetskih pozitrona iz mete teških elemenata a zatim se vraćaju na kraj ubacivače linearnog akceleratora da bi se načinio pozitronski snop zahtevnog intenziteta.

Iako će pozitronski i elektronski paketi biti dovoljno intenzivni i kratki, nijedan neće biti dovoljno kolimiran za upotrebu u kolajderu. Ta dva paketa trebaju biti ubrzanе do oko 1 GeV-a i skladištene u novim prstenovima amortizacije (Damping rings), odakle se mogu ponovo ubacivati u linearni akcelerator za sledeće ubrzavanje.

Pozitronski i elektronski prstenovi imaju po dva paketa. Na "kreni", obe elektronske pakete i samo jedan pozitronski paket se vade iz prstenova i ubacuju u linearni akcelerator. Pozitronski paket i prvi elektronski paket na kraju linearnog dela su podeljeni u dve luke za kružni put do tačke sudara. Drugi elektronski paket kasni za dve trećine puta, udara u pozitronsku metu, dajući positrone koji se ubrzavaju do 200 MeV-a i vraćaju do ulaznog kraja linearnog akceleratora. Tu se ponovo ubrzavaju do 1,2 GeV-a i ubacuju u pozitronski amortizacioni prsten. U isto vreme, elektronski top je isporučio dva nova elektronske pakete koji se ubacuju u sada prazan elektronski prsten, tako kompletirajući ciklus. Ceo proces će trajati nekoliko desetina mikrosekundi i biće ponavljen 180 puta u sekundi.

Elektronske mašine predviđaju novo energetske područje istraživanja:

- a) tačnosti standardnog modela slabe i elektromagnetne interakcije, preko otkrića nosilaca slabe interakcije,
- b) traženje novih kvarkova (pre svega t - kvark) i teških leptona i
- c) otkriće Higgs-ovih čestice.

II FIZIČKA MOTIVACIJA ZA LEP

1. Napredak ka ujedinjavanju interakcije

Fazne teorije (gauge teorije) pokušava da da kompletan i korektan opis cele fizike (jake interakcije, slabe interakcije i elektromagnetne interakcije) izvan gravitacije. Postoje dvanaest faznih (gauge) bozona, od kojih osam nisu direktno primećeni (8 gluona), tri će možda, eksperimentom $p\text{-}\bar{p}$ u SPS-u, biti vidjene (intermedi-jarni vektorski bozoni Z^0 , W^+ i W^-) a jedan se vrlo dobro vidi (γ).

Salam-Weinberg-ove teorije, kojom je ujedinjene slaba i elektromagnetna interakcija zasjed sasvim dobro funkcioniše. Uspeh ove teorije je posebno značajan pošto ona sadrži samo jedan slobodan parametar, Weinberg-ovo ugao (θ), koji meri relativnu jačinu elektromagnetne (e) i slabe (g) interakcije

$$\sin^2 \theta = \frac{e^2}{g^2}$$

Srednja vrednost Weinberg-ovog ugla iznosi

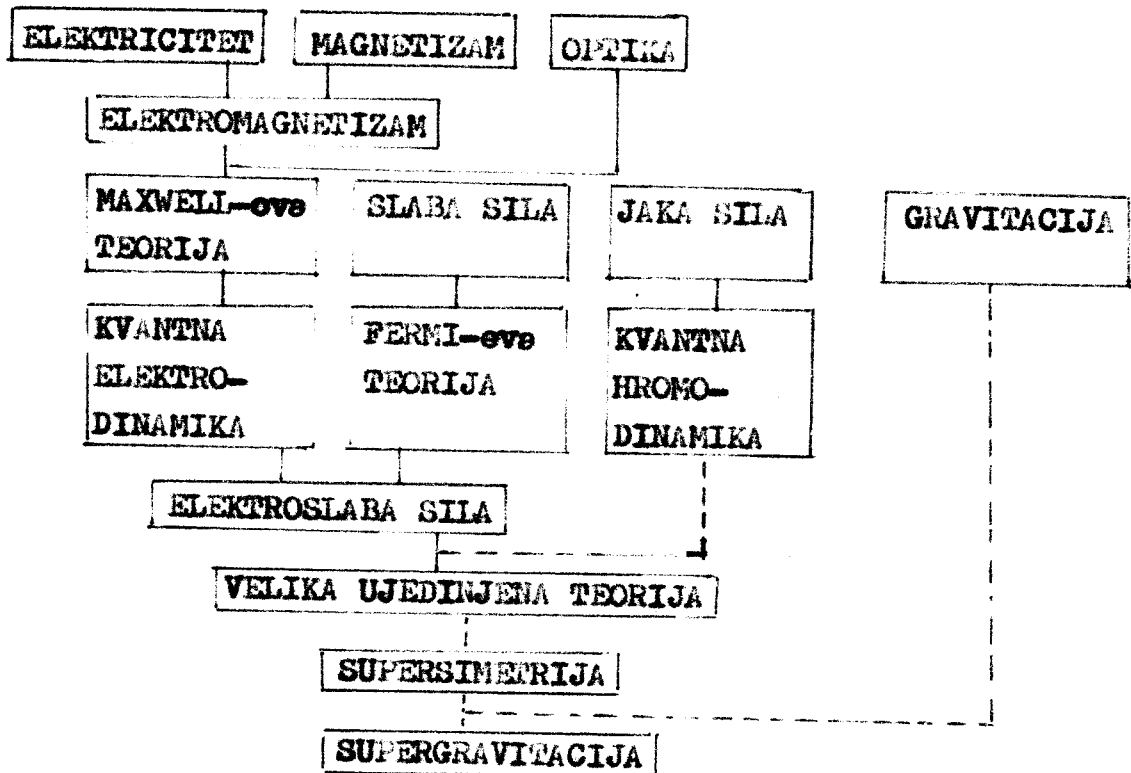
$$\sin^2 \theta = 0,23 \pm 0,02$$

Kvantna hromodinamika nam je dala osnovu za dobro uopšteno tumačenje hadronskih mlazova (jets) tj. korektno opisuje anihilaciju leptona u hadrone. Vezivanje kvarkova u hadrone (na primer: tri kvarka grade barion, tri anti-kvarka grade antibarion i par, kvark-antikvark gradi mezon) tumači bojom kao nosiocem "jakog naboja" a da su sile izmedju kvarkova posredovane razmenom obojenih gluona nulte mase.

Ujedinjavanje teorija elektroslabe i jake interakcije u GUT (veliku ujedinjenu teoriju), predviđa mešanje leptona i kvarkova. Ova teorija je obnovila interes pitanja o stabilnosti materije. Velika unifikacija (GUT) može obezbediti odgovore na mnoga važna pitanja, uključujući mase kvarkova i leptona, vrednost $\sin^2 \theta$, itd. U ovim šemama proton obično gubi svoju stabilnost, raspadajući se se

poluživotom od 10^{32} godine. Sadašnje eksperimentalne granice je 10^{30} godine. Raspad protona je direktno uzrokovan vektorskim bozonima koji mogu biti veoma teški. Takav bozon može postojati tek pri energiji reda 10^{14} GeV-e.

Iza svega toga leži daleko veći posao, ostavljen od Einstein-a, da se postigne unifikacije se gravitacijom, silom koje uobličava svemir, ali je suviše slabe da bi se njeni efekti mogli proučavati na čestičnom nivou. Šematski, ovu unifikaciju bi mogli predstaviti na sledeći način:



2. Eksperimenti sa LEP-om

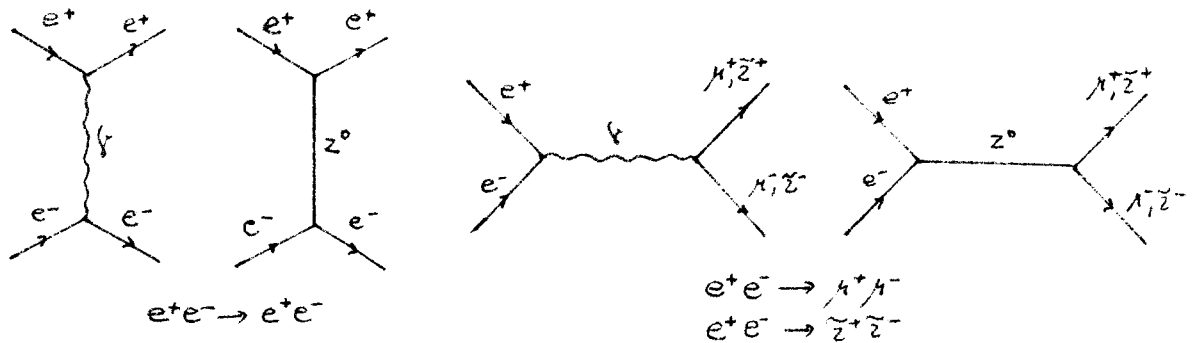
Eksperimenti sa mašinom LEP-om će nam dopustiti:

- A studiranje slabe interakcije i
- B studiranje jake interakcije.

A Studiranje slabe interakcije će voditi preko snihilacije elektronskih i pozitronskih snopova, proizvodnje intermedijarnih vektorskih bozona (Z^0, W^+ i W^-), proizvodnje Higgs-ovih čestica i nizom drugih eksperimenata.

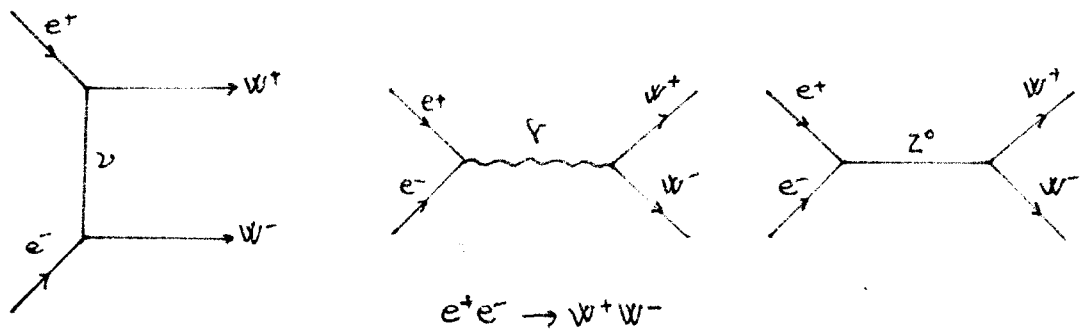
a) Anihilacija $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, $\mu^+\mu^-$, $\tilde{z}^+\tilde{z}^-$

Krećenje leptonskih parova pri anihilaciji visokoenergetskih elektrona i pozitrona nastupe pomoću posredničkog virtuelnog fotona (γ) ili bozona (Z^0).



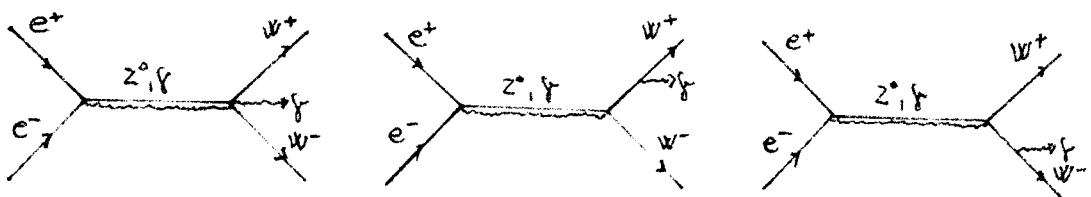
b) Reakcije $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$

Ove reakcije je moguće posredstvom neutrina (ν), fotona (γ) ili bozona (Z^0).



c) Reakcije $e^+e^- \rightarrow W^+W^- \gamma$

Ove reakcije je moguće posredstvom fotona (γ) i bozona (Z^0).



d) Mase intermedijernih vektorskih bozona Z^0 i W^\pm

Po Salam-Weinberg-ovoj teoriji za masu W^\pm bozona se dobije

$$M_{W^\pm} = \frac{37.4(\text{GeV})}{\sin\theta} = 74.8 \text{ GeV}$$

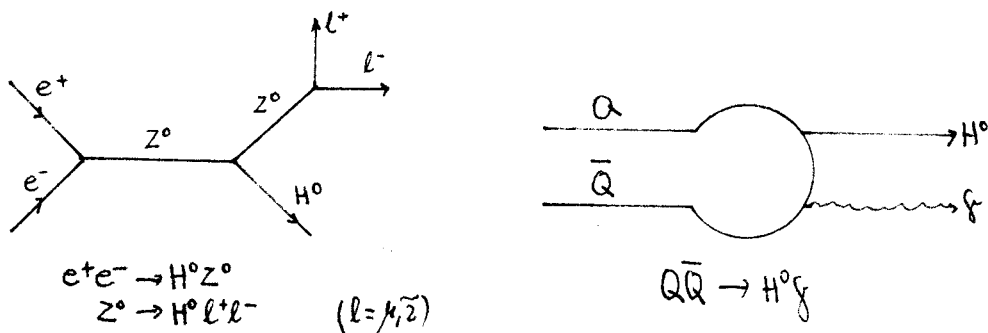
o za masu Z^0 bozona

$$M_{Z^0} = \frac{37.4(\text{GeV})}{\sin\theta\cos\theta} = 86.37 \text{ GeV}$$

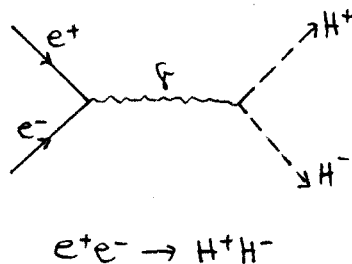
Weinberg-ov ugao u ova slučaja ima vrednost $\sin^2\theta = 0.23$.

e) Higgs-ove čestice

Ove čestice se mogu očekivati prilikom stvarenja Z^0 ili W^\pm bozona. Očekivani neutralni (H^0) Higgs-ov bozon se može dobiti pri raspadu unutar perove teških leptona ($\mu, \tilde{\tau}$) ili teških kvarkova ($Q\bar{Q}$).



Bozon Z^0 može pretriti raspade e^+e^- i $\mu^+ \mu^-$ a postojenje H^0 se može utvrditi na osnovu gubitka mase. Za dobijenje naselektrisanih (H^\pm) Higgs-ovih mezona proces anihilacije pretrijedan foton (f) izmene.



Predvidjena masa Higgs-ovih čestica je $M_H \approx 1.2 \text{ TeV}$

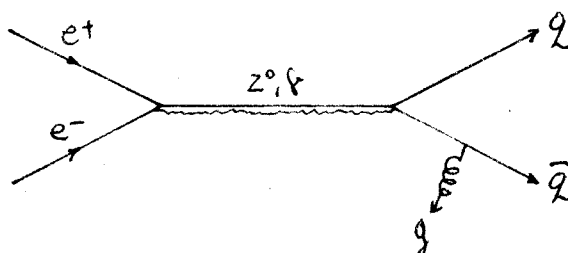
B Studiranje jake interakcije će se ogledati kroz postojenje novih aromata za kvarkove i leptone, otkrivanje gluona i testove kvantne hromodinamike.

a) Novi aromati za kverkove i leptone

Dosad su poznate tri familije kverkove i leptone (stim da se potvrdi postojanje ν_{τ} i t kverka). U velikoj unifikaciji, kosmologija ograničava broj familije ne maksimum četiri. Traženje za četvrtom familijom kverkove i leptone je jasno od fundamentalne važnosti. Ako postoje, biće ih lako naći se LEP-om. Novi leptoni se očekuju u e, μ dogedjajime a novi kverkovi u postojanju unije teških kverkova.

b) Otkrivanje gluona

Prema sadašnjem teorijskom shvatanju, gluoni se ne sprežu sa elektroslabim poljima, tj. ne podležu elektromagnetnoj i slaboj interakciji, već samo jakoj interakciji. Specijalan slučaj anihilacije elektrona i pozitrona ima za rezultat tri meza hadrone, od kojih, najverovatnije, jedan potiče od kverka, drugi od antikverka a treći od gluona.



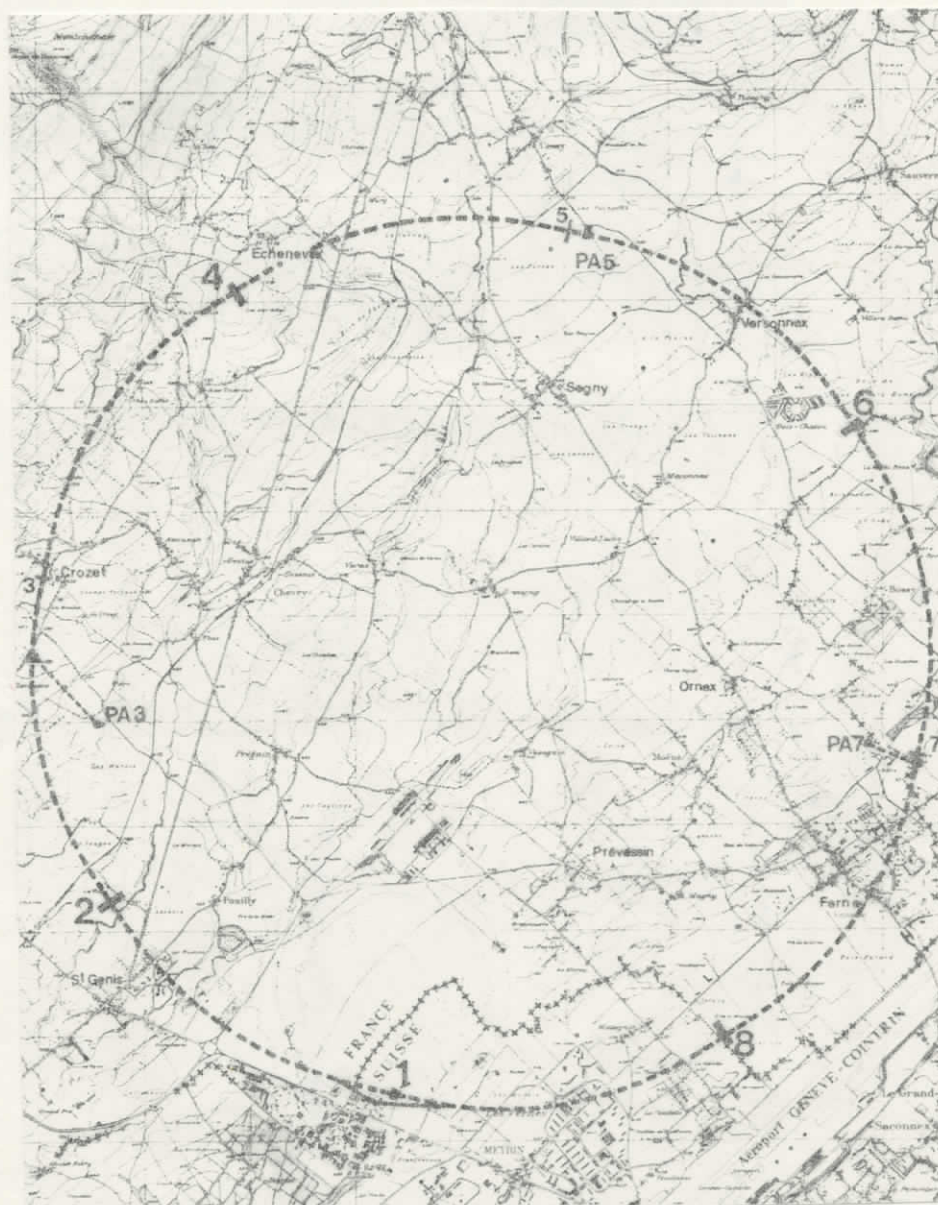
$$e^+e^- \rightarrow q\bar{q}g$$

c) Kvantna hromodinamika (QCD)

U suprotnosti sa kvantnom elektrodinamikom (QED), gde čestice razmene (fotoni) ne nose naselektrisanje, u kvantnoj hromodinamici (QCD) čestice razmene (gluoni) nose boju kao naselektrisanje i mogu uzajamno da interaguju jako. To dovodi do suštinske razlike medju silama; dok Coulomb-ov potencijal izmedju električnih naboja pri velikim rastojanjima opada kao $1/r$ (r -rastojenje izmedju naselektrisanih čestica), u QCD, sila izmedju kverkova može da se poveća. Sadašnje QCD je samo mogući ali i jedini kandidat za teoriju jake interakcije.

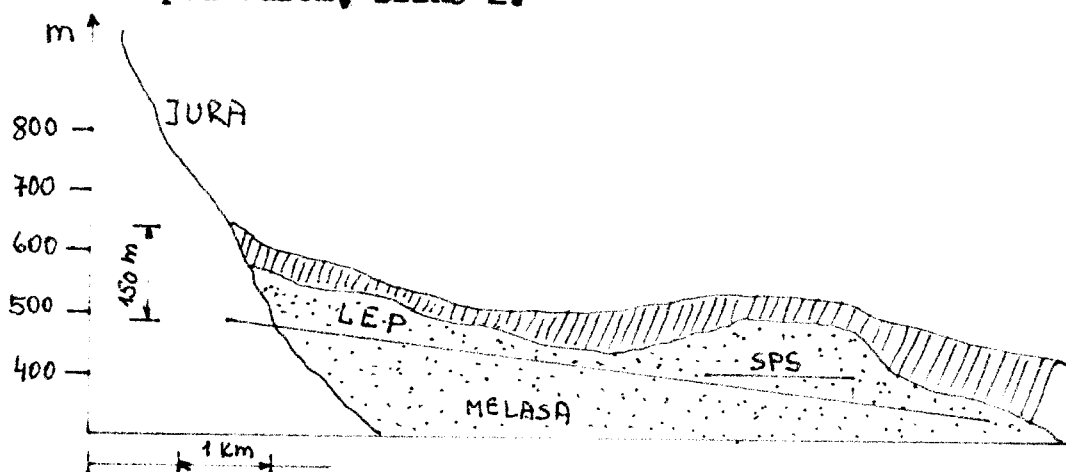
III OPIS LEP-e

Slika 1, prikazuje plan za LEP, prsten se obimom od 27 km na uvećanoj mapi laboratorije CERN, na području Švajcarsko-Francuske granice blizu Ženeve. LEP-ov prsten prolazi pored već postojećeg super proton sinhrotrona, tako da neće biti teško da se spoje te dva prstena negde u budućnosti, ako to plan istraživanja bude zahtevao. Predviđeno je osam eksperimentalnih hala (P1-P8) u dve od njih (P3 i P7) može se stići sa površine kroz vertikalne šahtove.



SLIKA 1

Prsten LEP-a se jednim svojim delom nalazi pod masivom planine Jure, prolazeći kroz melasu, koje je dobra za tuneliranje. Za ovaj deo LEP-a koji prolazi duboko ispod Jure se odavno zna da je najriskantniji deo inženjerijskog programa. Iskustva se izgređnjom SPS-a u podzemnom sloju melase na CERN-ovoj strani omogućava pouzdan proračun finansijskih izdataka i vremens gradnje većine tunela LEP-ovog prstena. Sadašnje lokacija gradnje akceleratora prihvata nagib prstena od $1,8^\circ$, kako bi prsten ostao u melasi i bio manje duboko pod Jurom, slika 2.



SLIKA 2

Tunel bi po ovom planu prolazio samo 3 km u živoj steni sa maksimalnom dubinom pod površinom od 150 m. To će omogućiti lakšu intervenciju sa površine ako dodje do kakvih problema prilikom tuneliranja.

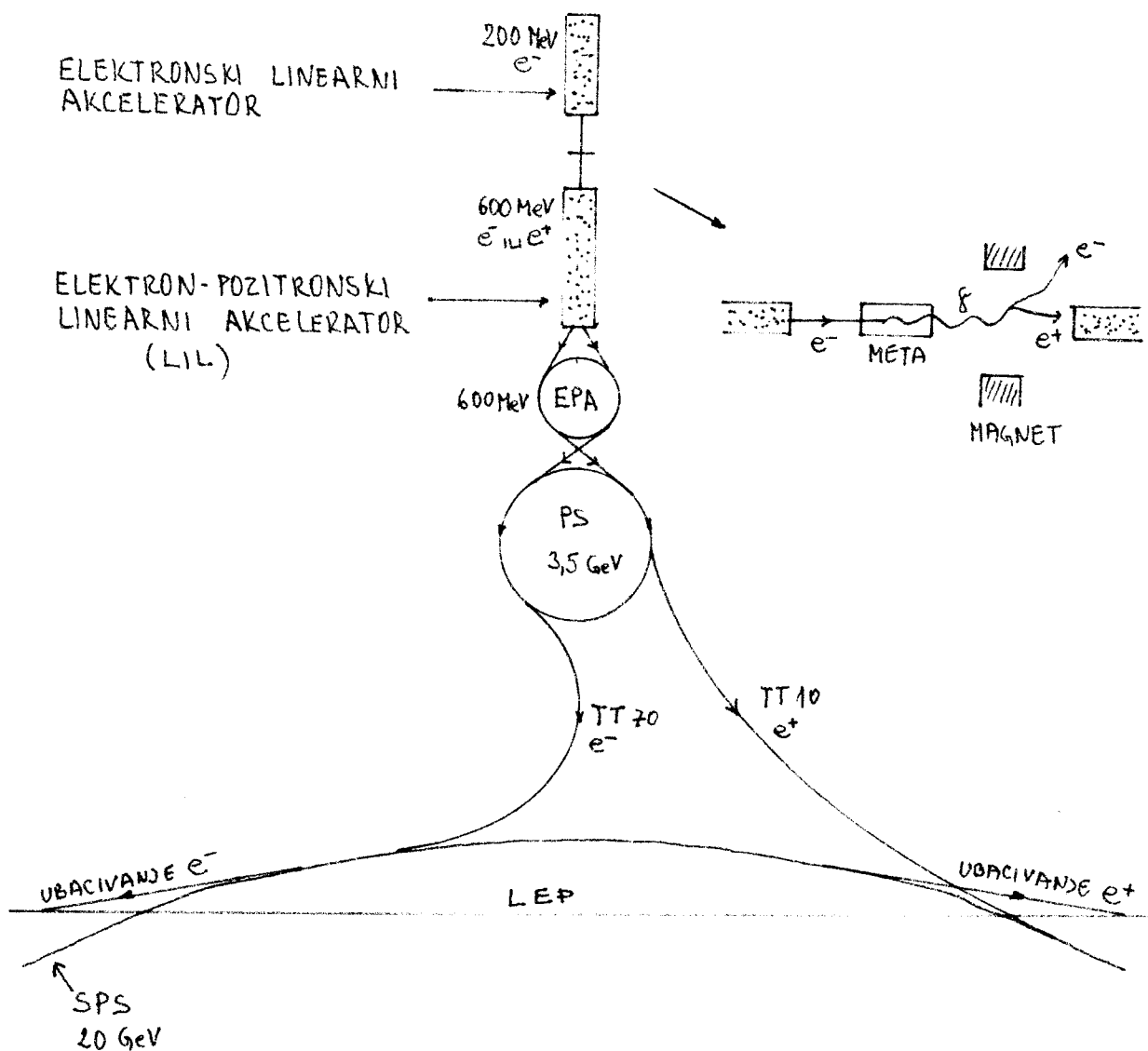
Druga prednost je da će pristup eksperimentalnim hemelama u osam sabirajućih regione biti lakši. Svih osam hemela su medjusobno povezane tunnelima a samo dve imaju vertikalne šahtove i izlaze na površinu. Ovi vertikalni šahtovi služiće prvenstveno za unošenje ili iznošenje eksperimentalne tehnike.

Za dvadeset minuta punjenje, injektor (ubacivač) će obezbediti LEP sa 3×10^{12} elektrona i pozitrona, nedopunjujući svake dva sata da bi se održao zahtevani luminozitet $1 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$. Čestice će biti grupisane u četiri ekvidistantne paketa u svakom od dva kružeće snopce za LEP. CERN-ov 28 GeV-a PS će ubrzavati snop elektrona i pozitrona do energije od 3,5 GeV-a, a zatim će snopovi biti preneti (linijom TT10 i TT70) do 450 GeV-a SPS-a radi daljeg ubrzavanja do

energije od 20 GeV-s. Sa energijom od 20 GeV-s, elektroni i pozitroni će biti ubacivani u glavni prsten LEP-s.

Da bi postojeći PS mogao ubrzavati elektrone i pozitronne, mora imati jedan pre-ubacivač. Pre-ubacivač se sastoji od postojećeg linearnog akceleratora velikog intenziteta uz dodatak linearnog akceleratora slabog intenziteta (LIL) i jednog elektron-pozitronskog akumulacionog prstena (EPA), šematski prikazano na slici 3.

Elektroni i pozitroni se ubrzavaju u mrtvo vreme SPS-s, između 450 GeV-a protonskog ciklusa. Za vreme ubrzanje, elektroni i pozitroni se neće mešati sa proton-antiproton programom za SPS.

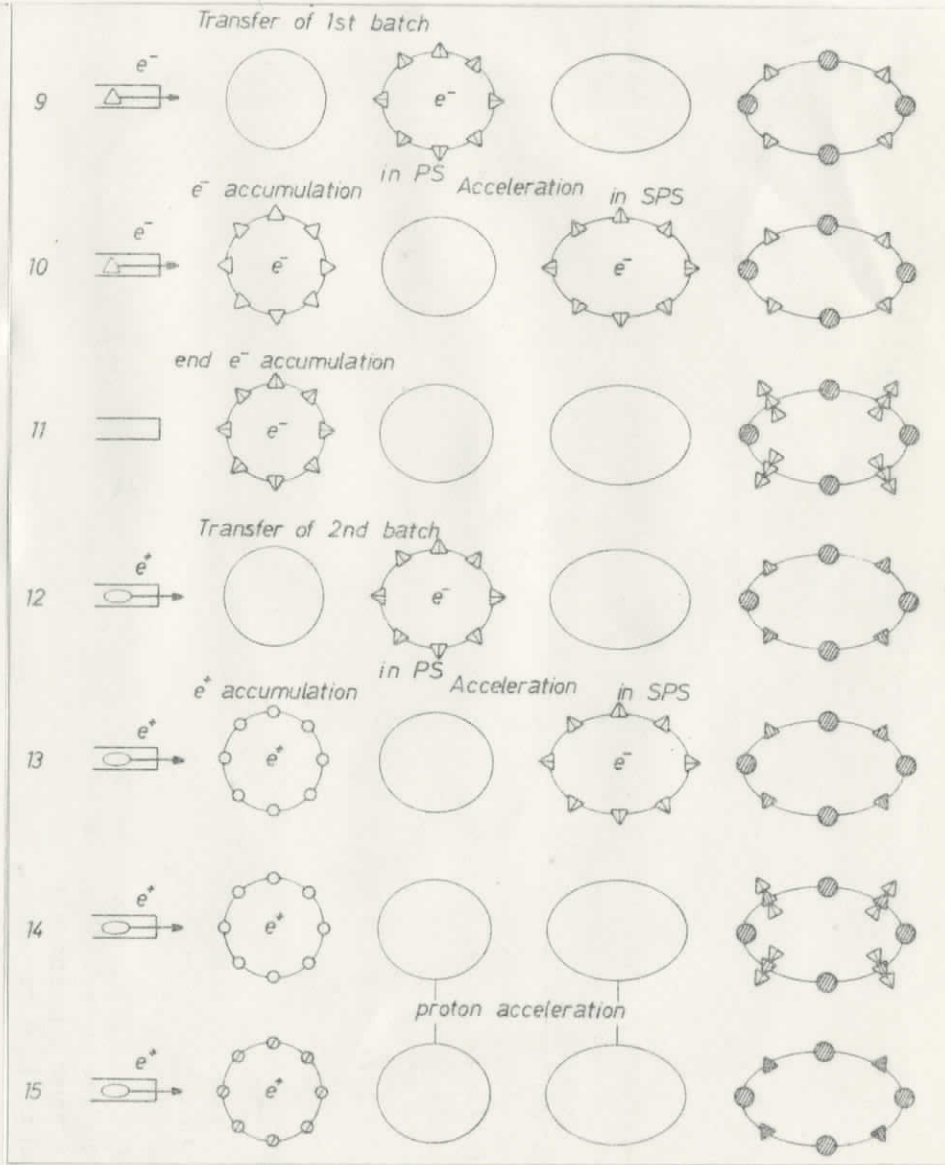
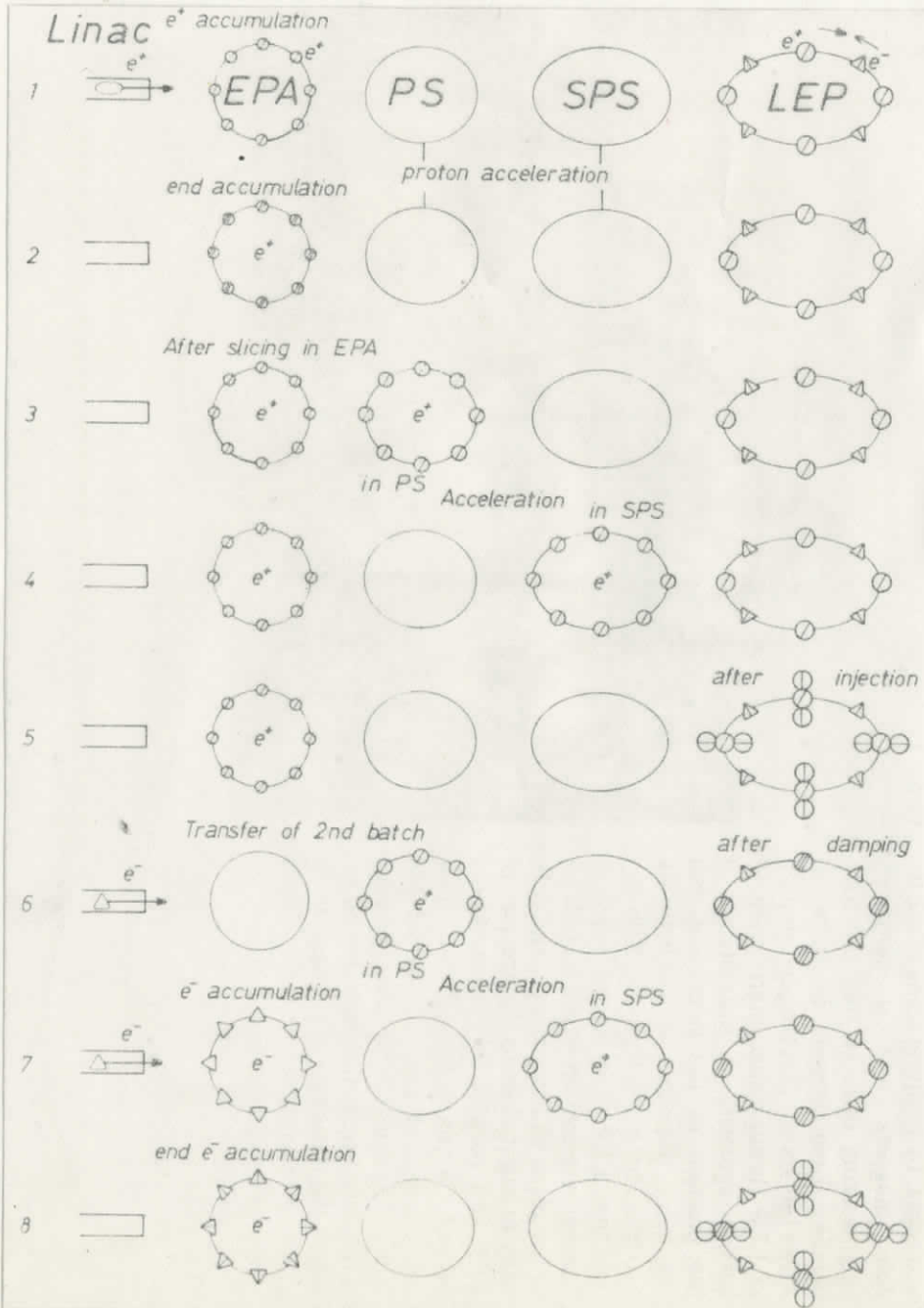


SLIKA 3

Rad ubacivačkog sistema u fazama dat je na slici 4.

Posmatrajmo prvo pozitronski ciklus tj. faze punjenja LEP-a pozitronima (na slici 4 pozitroni su označeni simbolom \ominus). Elektronski top, za prvi linearni akcelerator, proizvodi kratak, jako intenzivan elektronski impuls, koji putuje prema linearnom akceleratoru slabog intenziteta (LIL) i udara u konvertorsku (pretvaračku) metu od volframa sa energijom od 200 MeV-a. Tom prilikom se dobijaju pozitroni energije oko 10 MeV-a, ubrzavaju se linearnim akceleratorom (LIL) do 600 MeV-a i bivaju ubačeni u akumulacioni prsten EPA, (1. faza). Punjenje EPA iz linearnog akceleratora se vrši razdeljeno preko osam paketa, sve dok se ne postigne zahtevani intenzitet, (2. faza). Ovaj proces u akumulacionom prstenu traje za vreme protonskog ciklusa SPS-u. Za vreme izbacivanja iz EPA, svaki od osam paketa se elektrostatičkim vodjenjem seče na dve polovine. Osem polovina paketa se izvlače (3. faza) i prenose do PS, dok preostalih osam polovina paketa ostaju u EPA i oni se čuvaju za sledeći pozitronski ciklus u sinhrotronu. PS ubrzava prvih osam paketa pozitrona do 3,5 GeV-a i prenosi ih kroz protonski prenosni kanal TT 10, slike 3, unutar prstena SPS-a gde se ubrzavaju do 20 GeV-a, (4. faza). Pošto LEP radi sa četiri paketa, ovih osam paketa iz SPS-a mora biti rekombinovano. To se radi u LEP-u, gde se, prvo četiri paketa ubacuju veoma kratko iza već četiri postojeća za vreme prošlog ubacivačkog ciklusa i nakon nekoliko obrta, kasnije, drugi deo od četiri paketa se prenose od SPS-a, (5. faza). Tada će se ovih osam ubačenih paketa sjediniti sa već postojećim četiri paketa u LEP-u, (6. faza). Posle sledećeg pozitronskog ciklusa u sinhrotronima (6. i 7. faza), koji koristi osam polovina paketa iz EPA, čuvenih od pre, dve elektronske cikluse su umetnute.

Elektroni (na slici 4 označeni simbolom Δ), se obezbeđuju iz elektronskog topa lociranog blizu konvertora, bivaju ubrzani linearnim akceleratorom (LIL) do 600 MeV-a i čuvaju se takodje u osam paketa u EPA, (7. faza). Elektroni koji stoje na raspolaganju u EPA su četiri puta većeg intenziteta nego pozitroni, (8. faza). Svih osam paketa se dalje izvlače do PS (9. faza), ubrzavaju se i



SLIKA 4

prenose preko antiprotonskog kanala TT 70 do SPS-a, (10. faza). Tu se dalje ubrzavaju i ubacuju u LEP u istom pravcu kao i pozitroni, (11. faza). Međutim, sledeća količina elektrona je akumulirana (10. i 11. faza) i prenošena (12. i 14. faza) i novi ciklus počinje (13. faza). Faza 15. se slaže sa 1. fazom i ciklus može ponovo početi.

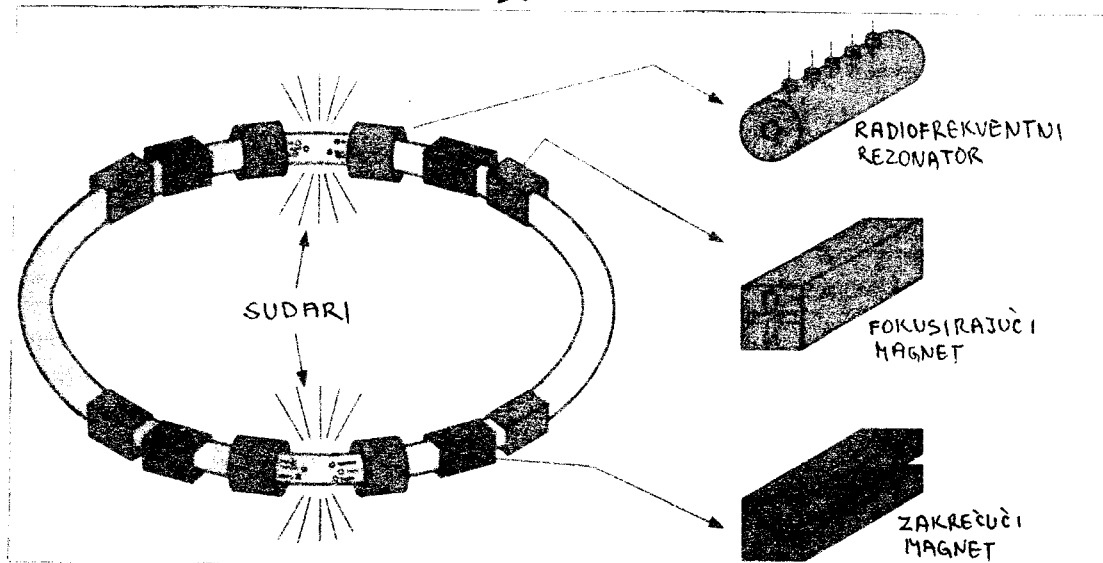
Poluživot snops usled zakačnog zračenja u sudaru snops se rezidualnim gasom treba da bude dvedeset časova, sa predviđenim vakuumom od 3×10^{-9} tora u glavnoj prstenastoj komori. Zbog sinhrotronske radijacije snops, potrebno je hlađenje prstena sa snagom od 1-2 KW po metru pri energiji od 86 GeV-a, koju će LEP postići u prvoj fazi izgradnje. Gubitak energije pri sinhrotronskoj radijaciji raste sa četvrtim stepenom energije snops ali je inverzno proporcionalan radijusu. Tako je radijus LEP-a morao biti velik. Ipek, biće potrebno da se računa sa gubitkom energije od nekih 25 MW pri radu na 86 GeV-a.

Veliki deo prstena (22 km) biće prevljen od zakrećućih magneta. Dodatno, tamo će biti barem 2000 fokusirajućih i korektujućih magneta (kvadrupole, sextupole itd.). Važna osobina zakrećućih magneta u odnosu sa onim u standardnim akceleratorima i skladišnim prstenovima je to, da oni trebaju da proizvedu samo vrlo slabo magnetno polje (0,123 T čak i pri energijama od 130 GeV-a). To je dovelo do nove ideje u konstrukciji magneta koje ima glavni udeo u smanjenju finansijskih izdataka. Umesto magnetnih jezgura gradjenih od blisko pakovanih čeličnih ploče, ploče su razmaknute i ti razmeci su punjeni sa specijalnim materom. To rezultuje izvanredne mehaničke osobine magneta sa zadovoljavajućim magnetnim osobinama.

Važna komponenta mašine je i radiofrekventni akceleratori sistem, pošto pobudjuje energetske postrojenja. Predviđeno je da se za početak instaliraju bakerni rezonatori koji rade na frekvenciji od 353 MHz. Da se postigne 86 GeV-a, biće potrebno 768 rezonatora, postavljenih sa obeju strane dugih pravih sekcija, duž cele dužine od 1629 m. Izvršeno je mnoštvo merenja za poboljšanje radiofrekventnog sistema. Važan doprinos ovom problemu doći će od razvoja superprovodnih rezonatora. Sa bakernim provod-

nicima teško je povećati energiju LEP-a dalje od 90 GeV-a, dok će superprovodni rezonatori, na kojima se intenzivno radi, sa manjom potrošnjom energije dostizati predviđenih 130 GeV-a.

Šematski prikaz principe ubrzanja i sudaranja elektrona i pozitrona u skladišnom prstenu uz pomoć radiofrekventnih rezonatora, fokusirajućih magneta i zakrećućih magneta se vidi na slici 5.



SLIKA 5

Drugi sistemi za LEP koristiće iskustva i aparature razvijene u CERN-u na postojećim akceleratorima. Kontrolni sistem, biće baziran na tehnici koja je tako uspešno razvijena tokom konstrukcije SPS-a. Potrebe sistema vodenog hladjenja i sistema električnog napajanja srećom mogu biti zadovoljene sa priključake i energetske linije koje su bile korišćene za SPS (sa CERN-ove strane iz Ženevskog jezera i Francuske električne centrale Génissiet).

Eksperimentalne hale i preve sekcije su planirane da omoguće detekcijski sistem za koji nije predviđeno da bude mnogo veći nego onaj najnovije instaliran u PETRA i PEP akceleratori (uz moguć napredak detektorske tehnike). Kompleks detektora će imati zadatak da odredi električno naelektrisanje, masu, energiju i angulernu raspodelu upadnih i novonastalih čestice. Čestice su veoma male (reda 10^{-16} m) i njihovo vreme života može biti vrlo kratko (reda 10^{-24} sec i kraće). Iz tih razloga to nisu samo čestice koje posmatramo već preteći efekti koje oni uzrokuju.

Prikupljeni podaci se obrađuju direktno kompjuterima a događaji se posle mogu vizuelno rekonstruisati u cilju da pomognu analizu događaja.

Vrlo je verovatno da će istraživački potencijal izvanrednih mašina koje su sada u pogonu u CERN-u biti prevaziđen sredinom osamdesetih godina od strane Tevatron-a i ISABELLA. Zbog toga je CERN jednoglasen da se LEP stavi u pogon što pre je to moguće, kako se ne bi izgubila vrlo jaka pozicija koju je Evropa izborila širom sveta medju laboratorijama visokoenergetske fizike.

Skoro sve komponente LEP-a trebaće da budu na svom mestu da bi se mogao početi rad. Ipak dve sprave su glavne. Jedna je pogon za radiofrekventnu snagu a druga su brojni detekcioni sistemi za eksperimente. Iz tih razloga će istraživački program biti podeljen u dve etape u zavisnosti od tekuće instalacije radiofrekventnih rezonatora, koje bi omogućile sve veće i veće energije i od tekuće gradnje eksperimentalne tehnike oko sudarejućih regiona.

Na prvom stepenu, koji treba da bude gotov 1988. godine, pošto budu instalirani samo bakarni rezonatori, moći će da se postigne radiofrekventna snaga od 96 MW sa energetske maksimumom na oko 90 GeV-a (dovoljno za produkciju Z^0 , W^+ bozone). Znatna porast energije do 130 GeV-a zahteva instaliranje superprovodnih radiofrekventnih rezonatora. Ali sve dok razvojni programi za proizvodnju takvih rezonatora ne dostigne viši stepen, nemože se odrediti vremenski rok završetka LEP-a.

Početak izgradnje LEP-a je 1982. godine.

Kratka lista LEP parametara na 70 GeV

Nominalna energija po snopu	E	70	GeV
Broj zona interakcije	N_x	8	
Broj paketa u snopu	K_b	4	
Obim mašine	c	22,208	km
Srednji radijus mašine	$c/2\pi$	3,535	km
Cirkulirajuća struja po snopu	I	10,54	mA
Broj čestice po snopu	N	$4,875 \times 10^{12}$	
Snop-snop bremsstrahlung srednje vreme	τ_{bb}	6,57	h
Snop-rezidualni gas bremsstrahlung srednje vreme	τ_{bg}	20	h
Ukupan srednji život snopa	τ	4	h
RF-frekvencije	f_{RF}	357	MHz
Sinhrotronski gubitak radijescije	U_s	906	MeV
Snaga sinhrotronske radijescije dva snopa	P_b	19,1	MW
Totale RF snage generatora	P_g	73,9	MW
Sinhrotrono slaganje	Q_s	0,1075	

L I T E R A T U R A

1. Les Houches and CERN
Proceedings of the LEP summer study
CERN 79-01, volume 1 and 2, Geneva, 14 February 1979.
2. Malente, Federal Republic of Germany, 8-21 June 1980.
Proceeding of the 1980 CERN school of Physics
CERN 81-04, Geneva, 9 April 1981.
3. K. Hübner
ISR performance for pedestrians
CERN 77-15, Geneva, 22 August 1977.
4. Sheldon L. Glashow
Overview
Lyman Laboratory of Physics, Harvard University,
Cambridge, HUTP-79/A040
5. U. Amaldi
European projects in High-Energy Physics
CERN-EP/81-149, Geneva, 11 November 1981.
6. CERN COURIER-Journal of High-Energy Physics, volume 20
(March, April, June, July/August, September, October,
November)
CERN, Geneva, 1981.
8. CERN COURIER-Journal of High-Energy Physics, volume 22
(January/February, March, May, July/August)
CERN, Geneva, 1982.
9. CERN in brief
High-Energy Machines
Document N^o CERN/PU-ED 81-8
10. Peter Lendshoff
The Large Electron Positron Collider(LEP) for Particle
Physics
University of Cambridge, Contemp. Phys. 1981. vol. 22,
England, 1981.

11.M. Jacob

Comments Nucl. Part. Phys.

CERN, vol. 9. N_o 2, pp 31-38, Geneva, 1980.

12.Hervig Schopper

The search for the basic laws of the cosmos

CERN/DG-14, Geneva, 17 May 1982.

13.LEP news, number 3,4 and 5.

CERN, Geneva, 1982.

14.Annual report 1981

CERN, Geneva, 1982.