čak729

Fizički fakultet
Univerziteta u Beogradu

Iris Borjanović

Pitija program za generaciju događaja na visokim energijama

seminarski rad

Beograd, novembar 2002.

Sadržaj

1 Uvod

U fizici visokih energija se kao priprema za početak akumulacije eksperimentalnih rezultata rade Monte Karlo (MC) simulacije karakterističnih događaja. Simulacije se rade da bi se stekao uvid koliko se često ti događaji mogu očekivati i koje su osobine tih događaja. Simulacije takođe mogu da posluže kao pomoć u projektovanju detektora i kao oruđe za pronalaženje strategije kojom bi se optimizovao odnos signal-fon.

Pomoću **MC generatora** se generišu događaji na visokim energijama, odnosno skupine izlaznih čestica dobijene u interakciji dve inicijalne čestice. Cilj je dobiti što tačniju predstavu o osobinama događaja. Postoji nekoliko višenamenskih MC generatora: **PYTHIA, HERWIG i ISAJET**, koji se mogu primeniti na različitim mašinama poput e^+e^-, ep, pp kolajdera. Ovi generatori daju detaljan opis događaja na hadronskom nivou. Generisani događaji se zatim mogu propuštati kroz punu ili brzu simulaciju detektora. Generacija događaja se radi na osnovu teorije:

- Standardnog Modela (Elektroslabu teorija i Kvantnu Hromodinamika);
- Modela izvan Standardnog modela (Supersimetrije, Technicolor modela, Ekstra dimenzija...)

Intenzivno se radi na međusobnom upoređivanju i usklađivanju ovih MC generatora kao i na usklađivanju ovih MC generatora sa rezultatima eksperimenta.

U ovom radu opisan je **Pitija MC generator**. Pitiju čini oko 53000 linija napisanih u FORTRANU 77. Postoji više verzija Pitije: PYTHIA 5.7, PYTHIA 6.1, PYTHIA 6.2 i druge. Pitiju 6.1 čine tri programa:

- JESET 7.4,
- PYTHIA 5.7,
- SPYTHIA.

JETSET se pojavio 1978 i generisao je e^+e^- sudare (na PEP-u, PETRI, LEP-u). On je deo LUND teorija. PYTHIA je dodata 1983 da generiše fiziku hadrona na visokim energijama (LEP, LHC). Ona generiše sudare leptona, hadrona i fotona prema "QCD receptima". Mada su odvojeno napravljeni, PYTHIA i JETSET programi se danas veoma često koriste zajedno i granica između njih je veštačka. SPYTHIA je supersimetrično proširenje Pitije 5.7 koje generiše produkciju i raspade čestica na leptonskim i hadronskim kolajderima u okviru Minimalnog Supersimetričnog proširenja Standardnog Modela.

Pitija generiše velik broj reakcija sa naglaskom na reakcije u kojima jaka interakcija igra direktnu ili indirektnu ulogu tako da se u finalnom stanju produkuje velik broj čestica. To mogu biti **"hard" interakcije**[1] između **elektrona, pozitrona, protona, antiprotona** i drugih čestica. Na osnovu teorije ili modela obrađuje različite fizičke aspekte:

[1]Interakcije u kojima su veliki transferi impulsa nazivaju se tvrde odnosno "hard" interakcije. Nasuprot tome "soft" ili meke interakcije su one sa malim transferima impulsa.

1. "hard" interakcije,
2. raspade rezonanci,
3. partonske distribucije,
4. inicijalna zračenja,
5. finalna zračenja,
6. višečestične interakcije,
7. ostatke snopova,
8. fragmentaciju,
9. raspade.

U programu je zastupljen **perturbativni pristup** u opisu kratkodometnih interakcija kvarkova, leptona i gejdž bozona. Za leptone i bezbojne bozone ovaj opis je zadovoljavajući. Za kvarkove i gluone ova slika mora biti dopunjena procesom **hadronizacije** (koji se može podeliti na fragmentaciju i raspade) u kome se obojeni partoni[2] transformišu u džetove bezbojnih hadrona, fotona i leptona. Ovaj proces još uvek nije u potpunosti objašnjen i zasnovan je na modelima. Postoje i **neperturnbativni procesi** obuhvaćeni Pitijom poput elastičnih, difraktivnih i nedifraktivnih ('minimum bias') procesa[3].

Sve značajne varijable su selektovane po željenim distribucijama verovatnoće što obezbeđuje stohastičnost u finalnom događaju.

Generacija događaja u programu se neradi u jednom koraku već se ceo problem faktoriše na nekoliko delova. Na primer: "hard" proces se koristi kao input za generisanje "bremsstrahlung"[4]

[2]Pod izrazom partoni misli se kao i uvek na kvarkove i gluone, ali i na leptone i fotone.

[3]Fizika hadron-hadron interakcija može se podeliti na elastične i neelastične procese. Obično se neelastična rasejanja dele na difraktivne i nedifraktivne procese. Ukupan presek je zbir elastičnog i neelastičnog:

$$\sigma_{tot} = \sigma_{elast.} + \sigma_{neelast.},$$

gde je neelastični presek suma difraktivnog, duplog difraktivnog i nedifraktivnog preseka

$$\sigma_{neelast} = \sigma_{dif.} + \sigma_{dupladifr.} + \sigma_{nedifr.}.$$

U sudarima protona ovi bi se procesi mogli predstaviti na sledeći način:

$$p + p \to p + p \quad \text{elastična rasejanja,}$$

$$p + p \to p + X \quad \text{difraktivna rasejanja,}$$

$$p + p \to X + Y \quad \text{dupla difraktivna rasejanja,}$$

$$p + p \to X \quad \text{nedifraktivni procesi.}$$

Nedifraktivni procesi se najčešće identifikuju sa 'minimum bias' procesima.

[4]Emisija fotona od strane elektrona u električnom polju jezgra naziva se bremsstrahlung.

korekcija. Onda se sa onim što se dobije kao rezultat ovih korekcija ulazi u proces hadronizacije. Logika ovog paketa se može podeliti na tri koraka:

1. Definiše se proces koji se izučava;

2. Generišu se inicujalna zračenja i fragmenti snopova;

3. Generišu se finalna zračenja, fragmentacija i raspadi.

U **odeljku §2** opisana je struktura jednog događaji na visokim energijama. Navedeni su procesi obuhvaćeni Pitijom. Objašnjeno je šta su inicijalna i finalna zračenja, fragmnetacija, raspadi, višečestične interakcije, ostaci snopova, partonske distributivne funkcije.

U **odeljku §3** navedeni su najvažniji zajednički blokovi, funkcije, parametri i uslovne naredbe Pitije.

U **odeljku §4** navedeni su osnovni elementi fortranskog programa koji koristi Pitija biblioteke i dat je konkretan primer jednog takvog programa.

U **odeljku §5** objašnjen je i dat je primer listinga jednog tipičnog događaja na visokim ener gijama.

U **odeljku §6** opisano je kako se Pitija instalira i testira.

U **dodatku §A** navedeni su kodovi aromata[5] svih čestica.

U **dodatku §B** nabrojani su svi procesi Pitija generatora.

Na veb-sajtu Pitija generatora:

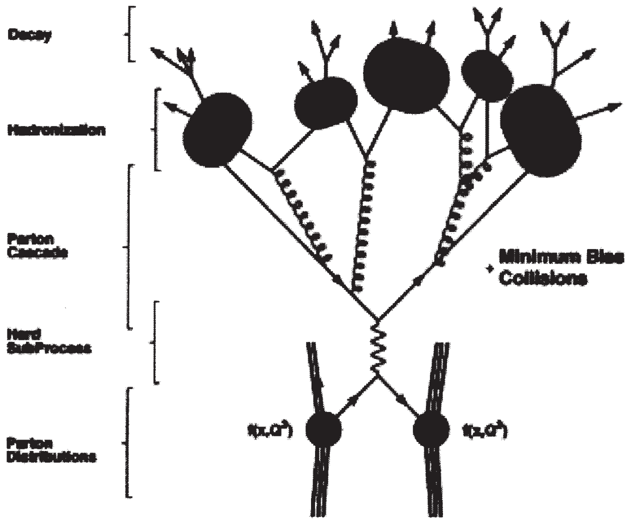
www.thep.lu.se/~torbjorn/Pythia.html

mogu se naći sve informacije o Pitiji.

[5]Kod aromata je jedinstven broj svake čestice.

2 Fizika događaja na visokim energijama

U opisu tipičnog događaja na visokim energijama (slika 1.),



Slika 1: Šematski prikaz događaja na visokim energijama.

sudari se u smislu vremenskog redosleda mogu opisati u sledećih sedam koraka:

1. Prvo se dva snopa čestica kreću jedan prema drugom. Svaka čestica je opisana skupom partonskih distributivnih funkcija koje definišu partonsku strukturu;
2. Parton inicijator pljuska iz svakog snopa započinje seriju grananja tipa $q \to qg$ što dovodi do formiranja inicijalnih pljuskova čestica;
3. Po jedan parton iz svkog pljuska učestvuje u "hard" procesu iz kog se dobija nekoliko, najčešće dva, izlazna partona. Ovaj proces u najvećoj meri utiče na osobine događaja;
4. Ovi izlazni partoni takođe mogu da se granaju i formiraju finalne pljuskove;
5. Kada se izdvoji inicijalna čestica iz snopa preostaje takozvani ostatak snopa. On može da ima unutrašnju strukturu i ukupno obojeno naelektrisanje koje ga povezuje sa ostatkom finalnog stanja.
6. Efekat zarobljenosti kvarkova obezbeđuje da se kvarkovi i gluoni nevide, već da oni fragmentiraju u hadrone.
7. Mnogo produkovanih hadrona je nestabilno i oni podležu daljim raspadima.

2.1 "Hard" procesi

U JETSET-u glavni "hard" proces jeste $e^+e^- \rightarrow \gamma^*/Z^0 \rightarrow q\bar{q}$ (zvezdica označava da je u pitanju virtuelni foton). Takođe postoje procesi sa tri gluona, ggg, ili fotonom i dva gluona, γgg, u finalnom stanju.

PYTHIA sadrži velik izbor procesa. Na osnovu fizičkog scenaria oni se mogu svrstati u sledeće grupe:

- "Hard" procesi (na primer: $qg \rightarrow qg$);
- "Soft" procesi kao što su elastična, difraktivna i nedifraktivna rasejanja;
- Produkcija teških kvarkova (na primer: $gg \rightarrow t\bar{t}$);
- Trenutna produkcija fotona (na primer: $qg \rightarrow q\gamma$);
- Procesi koje indukuje foton (na primer: $\gamma g \rightarrow q\bar{q}$);
- Duboka neelastična rasejanja (na primer: $ql \rightarrow ql$);
- W/Z produkcija (na primer: $e^+e^- \rightarrow \gamma^*/Z^0$ ili $q\bar{q} \rightarrow W^+W^-$);
- Produkcija Higsa po Standardnom modelu;
- Rasejanja gejdž bozona poput $WW \rightarrow WW$;
- Produkcija Higsa van Standardnog modela;
- Produkcija novih gejdž bozona;
- Produkcija četvrte generacije fermiona;
- Produkcija leptokvarkova;
- Devijacije od procesa Standardnog modela.

2.2 Inicijalna i finalna zračenja

U svakom procesu koji sadrži obojene ili naelektrisane čestice može doći do emisije gluona ili fotona, tako da su u okviru ovog programa mogući procesi tipa

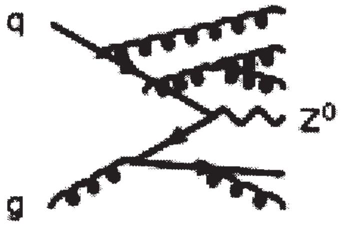
$$q \rightarrow qg, \quad g \rightarrow gg, \quad g \rightarrow q\bar{q}, \quad q \rightarrow q\gamma, \quad l \rightarrow l\gamma,$$

gde l označava lepton. Ova grananja unose velike korekcije u postojeću topologiju događaja. Tako polazeći od procesa $2 \rightarrow 2$ posle korekcija imamo procese tipa $2 \rightarrow 3$, $2 \rightarrow 4$ itd. Ove korekcije se mogu računati na dva načina:

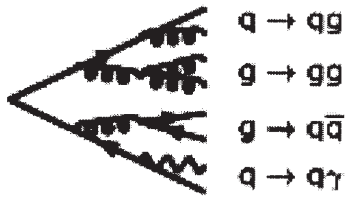
1. **Metodom matričnih elemenata** u kom se korekcije računaju perturbativnim metodom računajući red po red Fejnmanove dijagrame.

2. **Metodom partonskih pljuskova** koji se mnogo češće upotrebljava.

Kada pljusak iniciraju partoni iz ulaznih snopova to su inicijalni pljuskovi (slika 2.), a kada ga iniciraju partoni dobijeno kao rezultat "hard" interakcije onda su to finalni pljuskovi (slika 3.).



Slika 2: Inicijalna zračenja.



Slika 3: Finalna zračenja.

2.3 Partonske distribucije

Partonska distributivna funkcija (PDF) $\boldsymbol{f_i^a(x, Q^2)}$ parametrizuje verovatnoću nalaženja partona i sa relativnim udelom ukupne energije x kada čestica snopa a učestvuje u "hard" rasejanjima sa transferima impulsa Q^2.

Ako se rade eksperimenti sa sudarima protona, onda se koriste **protonske PDF**. One su ujedno i najbolje izučene, a dobijaju se fitom iz eksperimetalnih podataka. Na primer Pitija 5.7 koristi **CTEQ2L** PDF sa korekcijama nultog reda kao "default". Pored toga ona može da koristi i sledeće PDF:

- **EHLQ** setove 1 i 2 ,
- **DO** setove 1 i 2 ,
- **CTEQ2M , CTEQ2MS, CTEQ2MF, CTEQ2ML, CTEQ2D** ,
- **GRVLO** .

EHLQ, DO, CTEQ2L i GRVLO su PDF sa korekcijama nultog reda. CTEQ2D je PDF sa korekcijama prvog reda izračunata po DIS renormalizacionoj šemi, a sve ostale PDF su računate sa korekcijama prvog reda po $\overline{\mathrm{MS}}$ renormalizacionoj šemi. Pitija 6.2 kao najnovija verzija koristi modernije strukturne funkcije. Njen "default" je **GRV4L**, PDF sa korekcijama nultog reda. Pored toga Pitija 6.2 radi i sa sledećim PDF:

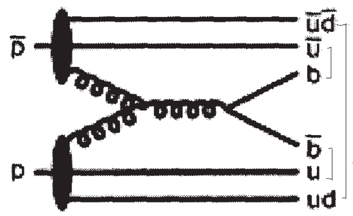
- **EHLQ** setovima 1 i 2 ,

- **DO** setovima 1 i 2 ,
- **GRV92L** ,
- **CTEQ3L, CTEQ3M, CTEQ3D** ,
- **GRV94L, GRV94M, GRV94D** ,
- **CTEQ5L, CTEQ5M1** .

Od ovih, EHLQ, DO, GRV92L, CTEQ3L, GRV94L i CTEQ5L jesu PDF sa korekcijama nultog reda, CTEQ3D i GRV94D su PDF sa korekcijama prvog izračunate po DIS renormalizacionoj šemi, a sve ostale su PDF sa korekcijama prvog reda računate po $\overline{\mathrm{MS}}$ renormalizacionoj šemi. Zbog novih eksperimentalnih rezultata postoji konstantan priliv novih protonskih PDF i Pitija ima interfejs za spoljnu biblioteku sa partonskim distributivnim funkcijama, **PDFLIB**. To je kolekcija svih protonskih, pionskih i fotonskih distributivnih funkcija od 70-tih na ovamo. Vebsajt sa detaljnim informacijama o PDFLIB-u je http://consult.cern.ch/writeup/pdflib/ .

2.4 Ostaci snopa

Algoritam za rekonstrukciju inicijalnih zračenja rekonstruiše po jednu česticu u svakom snopu koja inicira pljusak. Ove dve čestice grade interakcioni podsistem koji će sadržati sve partone koji učestvuju u inicijalnim pljuskovima, "hard" interakcijama i finalnim pljuskovima. Ono što ostaje po strani kada se izdvoje ove dve inicijalne čestice jesu dva ostatka snopa koja u prvoj aproksimaciji neučestvuju u "hard" interakciji. Na primer, za snop protona bi u-kvark inicijator pljuska ostavio iza sebe ud-dikvark ostatak snopa. Inicijalna čestica odnosi deo energije snopa, a ostatak snopa odnosi preostalu energiju. Ostatak snopa je preko boje povezan sa "hard" interakcijom (slika 4.) i deo je sistema koji podleže procesu hadronizacije.

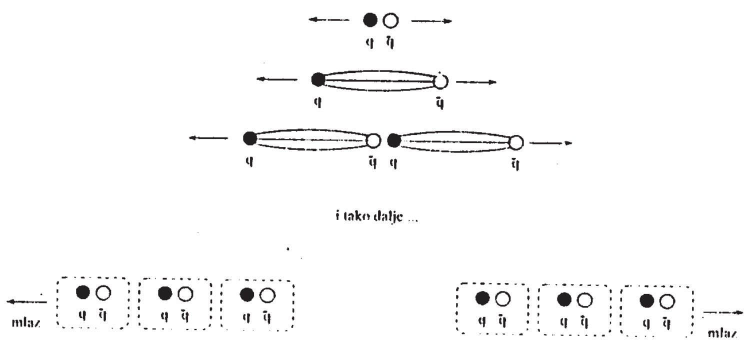


Slika 4: Ostaci snopova.

2.5 Fragmentacija

Perturbativan QCD važi na malim rastojanjima kada je konstanta interakcije mala i kada su kvarkovi skoro slobodni (oblast asimptotske slobode). Na velikim rastojanjima konstanta interakcije je velika i perturbativni razvoj nedaje rezultate. U ovoj oblasti zarobljenosti kvarkova obojeni partoni se transformišu u bezbojne hadrone i ovaj proces se naziva fragmentacija. Teorija još uvek nema objašnjenje ovog fenomena pa program koristi fenomenološki **string model**. U programu takođe postoji mogućnost rada sa **modelom nezavisne fragmentacije**.

Da bi se u okviru string modela opisao proces fragmentacije najjednostavnije je poći od od kvark-antikvark para. Dva kvarka su povezana linijama sile koje gluon-gluon interakcija primorava da formiraju tubu. U string modelu se pretpostavlja da su kvarkovi bezmaseni i da je gustina energije gluonskog polja po jedinici dužine tube konstantna, odnosno da je potencijal linearnog tipa. Kako se posle rasejanja kvark i antikvark udaljavaju jedan od drugog potencijalna energija polja raste i u trenutku kad postane veća od mase dva kvarka dolazi do formiranja kvark-antikvark para. Stvaranje kvarkova se nastavlja dok se nepotroši energija dobijena procesom rasejanja (slika 5.). Tako se umesto početnog kvark-antikvark para registruju dva mlaza hadrona. U okviru programa za svako grananje postoje pravila verovatnoće za stvaranje novih aromata, podelu energije i impulsa između produkata.



Slika 5: Proces fragmentacije.

2.6 Čestice i raspadi

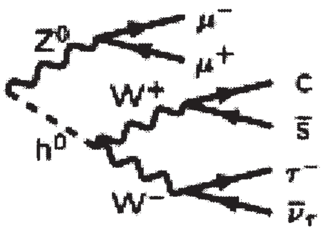
Čestice su gradivni elementi događaja. Reč čestice se u okviru Pitije koristi u širem značenju i podrazumeva:

- **Partone.** Parton je bilo koji objekat koji se može naći u talasnoj funkciji upadnog snopa i koji može da učestvuje u inicijalnim i finalnim zračenjima. To su, kao što se uvek podrazumeva pod partonima, kvarkovi i gluoni. Međutim ovde se u partone ubrajaju i leptoni i fotoni.

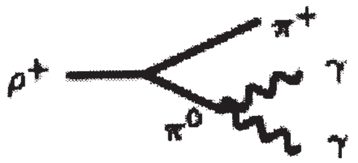
- **Rezonance.** To su nestabilne čestice produkovane u "hard" interakciji i njihovi raspadi (slika 6.) se tretiraju kao deo "hard" interakcije.

- **Hadrone.** To su mezoni i barioni produkovani kao rezultat fragmentacije, sekundarnih raspada, ili kao deo tretmana ostataka snopova, ali ne kao deo "hard" interakcija. Hadroni mogu biti stabilni ili nestabilni (slika 7.).

Svaku česticu karakterišu neke veličine poput mase i naelektrisanja. Velik broj čestica dobijenih u procesu fragmentacije je nestabilan i podleže daljim raspadima do stabilnih opservabilnih čestica.



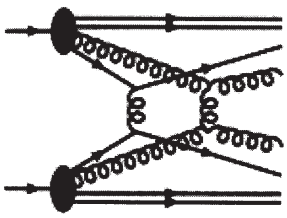
Slika 6: Raspadi rezonanci.



Slika 7: Raspadi hadrona.

2.7 Višečestične interakcije.

Kada u hadron-hadron sudarima nekoliko parova partona učestvuje u jakim interakcijama i tako doprinosi celokupnoj aktivnosti događaja, interakcija se naziva višečestična i obično se odvija u slučaju malih transvrzalnih impulsa (slika 8.). U Pitiji su višečestične interakcije obrađene na osnovu modela.



Slika 8: Višečestične interakcije.

3 Praktične informacije

U ovom odeljku opisani su najvažniji zajednički blokovi, funkcije, parametri i uslovne naredbe koje se koriste u Pitiji.

Inicijalizacija procesa

Inicijalizacija procesa generacije događaja vrši se pomoću naredbe

CALL PYYINIT(FRAME,BEAM,TARGET,WIN).

FRAME je znakovna varijabla koja opisuje sistem reference u kom se događaj generiše. Postoji mogućnost upotrebe sledećih referntnih sistema:

- 'CMS' je sistem centra mase sudarajućih čestica. Smer snopa je duž pozitivnog smera z-ose, a smer mete je duž negativnog smera z-ose;
- 'FIXT' je sistem reference u kom je meta nepokretna, a snop se kreće duž pozitivnog smera z-ose;
- 'USER', 'FOUR', 'FIVE' su sitemi reference koje definiše korisnik.

BEAM, TARGET označavaju čestice snopa i mete, a to mogu biti:

- 'e-' : elektron,
- 'e+' : pozitron,
- 'nu_e': ν_e,
- 'nu_e~' : $\bar{\nu}_e$,
- 'mu+' : μ^+,
- 'mu-' : μ^-,
- 'nu_mu' : ν_μ,
- 'nu_mu~' : $\bar{\nu}_\mu$,
- 'tau-' : τ^-,
- 'tau+-' : τ^+,

- 'nu_tau' : ν_τ,
- 'nu_tau~' : $\bar{\nu}_\tau$,
- 'gamma' : realni foton,
- 'pi0' : π^0,
- 'pi+' : π^+,
- 'pi-' : π^-,
- 'n0' : neutron,
- 'n~0' : antineutron,
- 'p+' : proton,
- 'p~-' : antiproton,
- 'Lambda0' : Λ barion,
- 'Sigma-' : Σ^- barion,
- 'Sigma0' : Σ^0 barion,
- 'Sigma+' : Σ^+ barion,
- 'Xi-' : Ξ^- barion,
- 'Xi0' : Ξ^0 barion,
- 'Omega-' : Ω^- barion,
- 'pomeron' : pomeron,
- 'reggeon' : regeon.

WIN se odnosi na energiju sistema. U slučaju

- FRAME='CMS', WIN je ukupna energija sistema (u GeV);
- FRAME='FIXT', WIN je impuls čestice snopa (u GeV/c).

Generacija događaja

Posle inicijalizacije procesa (pozivanjema naredbe PYINIT) radi se generacija jednog po jednog događaja pozivanjem naredbe:

$$\boxed{\textbf{CALL PYEVNT}.}$$

Listing događaja

Da bi se dobio listing čestica iz generisanog događaja koristi se naredba:

$$\boxed{\textbf{CALL PYLIST(1)}\ ,}$$

(u slučaju PYTHIA 5.7 umesto PYLIST(1) koristi se LULIST(1)).

U listingu se nalaze sve čestice produkovane u događaju kao i osnovne karakteristike tih čestica. Primer jednog takvog listinga dat je u odeljku §5.

Listing svih čestica i njihovih kanala raspada

Lista svih česica i njihovi kanali raspada dobijaju se pozivanjem naredbe

$$\boxed{\textbf{CALL PYLIST(12)},}$$

odnosno u slučaju Pitije 5.7 pozivanjem naredbe LULIST(12). Svaka čestica je predstavljena jednom linijom u kojoj su dati njen kod aromata, ime, ime antičestice, naelektrisanje, masa, vreme života i to da li je stabilna ili ne. Odmah ispod toga je za svaki kanal raspada date čestice odvojen je po jedan red u kom je smešten broj kanala raspada, vrsta matričnog elementa, faktor grananja i produkti raspada.

Štampanje preseka

Štampanje broja generisanih događaja i odgovarajućih efikasnih preseka dobija se pozivanjem naredbe

$$\boxed{\textbf{CALL PYSTAT(1)}.}$$

Listing događaja u različitim ref. sistemima

Transformacija listinga događaja između raznih referentnih sistema postiže se pozivanjem naredbe

$$\boxed{\textbf{CALL PYFRAM(IFRAME)}.}$$

U slučaju

- IFRAM=1 sistem reference je određen naredbom PYINIT;
- IFRAM=2 sistem reference je sistem centra mase sudarajućih čestica.

Uključivanje inicijalnih i finalnih zračenja, hadronizaije i raspada

Inicijalna i finalna zračenja, fragmentaciju i višečestične interakcije uključuje i isključuje uslovna naredba **MSTP** koja je deo zajedničkog bloka

COMMON/PYPARS/MSTP(200)/PARP(200)/MSTI(200)/PARI(200),

koji sadrži kodove statusa[6] i parametre koji utiču na izvršavanje programa.

- **MSTP(61)** je prekidač za inicijalna QCD i QED zračenja:
  MSTP(61)=0 zračenja su isključena;
  MSTP(61)=1 zračenja su uključena.

- **MSTP(71)** je prekidač za finalna QCD i QED zračenja:
  MSTP(71)=0 zračenja su isključena;
  MSTP(71)=1 zračenja su uključena.

- **MSTP(81)** je prekidač za višečestične interakcije:
  MSTP(81)=0 interakcije su isključene;
  MSTP(81)=1 interakcije su uključene.

- **MSTP(111)** je prekidač za fragmentaciju i raspade:
  MSTP(111)=0 fragmentacija i raspadi su isključeni;
  MSTP(111)=1 fragmentacija i raspadi su uključeni.

Često korišćene varijable

Podaci o često korišćenim varijablama dobijaju se pomoću funkcije PLU(I,J)

PP=PLU(I,J),

gde je PP proizvoljni naziv varijable, a PLU(I,J) su sledeće varijable koje opisuju česticu sa rednim brojem I

[6] Kod statusa daje informaciju o tome da li se čestica (džet) raspala (fragmentisala) ili ne.

- PLU(I,1)-PLU(I,5) jesu p_x, p_y, p_z, E, m;
- PLU(I,6) je naelektrisanje;
- PLU(I,7) je kvadrat impulsa $|p|^2 = p_x^2 + p_y^2 + p_z^2$;
- PLU(I,8) je apsolutna vrednost impulsa $|p|$;
- PLU(I,9) je kvadrat transverzalmog impulsa $p_\perp^2 = p_x^2 + p_y^2$;
- PLU(I,10) je transverzalni impuls $p_\perp$;
- PLU(I,11) je kvadrat transverzalne mase $m_\perp^2 = m^2 + p_x^2 + p_y^2$;
- PLU(I,12) je transverzalna masa $m_\perp$;
- PLU(I,13)-PLU(I,14) je polarni ugao θ u radijanima (između 0 i π) odnosno stepenima, respektivno;
- PLU(I,15)-PLU(I,16) je azimutalni ugao φ u radijanima (između $-\pi$ i π) odnosno stepenima, respektivno;
- PLU(I,17) je rapiditet $y = (1/2)\ln\frac{E+p_z}{E-p_z}$;
- PLU(I,19) je pseudorapiditet $\eta = (1/2)\ln\frac{p+p_z}{p-p_z}$.

Generator slučajnog broja

Generator slučajnog broja se poziva na sledeći način

MRLU(1)=55557,

gde je 55557 proizvoljno izabran broj. Važno je da voditi računa o tome da ako želimo da za neki proces dobijemo veću statistiku tako što ćemo nekoliko puta generisati određen broj događaja (Na primer 10 puta generišemo 5000000 događaja) svaki put uzmemo drugi MRLU broj da se ne bi generisali isti događaji. MRLU(1) ima vrednosti u intervalu $1 \leq MRLU(1) \leq 900000000$. MRLU(1) je deo zajedničkog bloka

COMMON/LUDATR/MRLU(6),RRLU(100).

Histogramisanje

Često je neophodno određene varijable smeštati u histograme. Procedura je sledeća

1. Upotreba zajedničkog bloka

   COMMON/PAWC/H(10000).

2. Pozivanje naredbe

   CALL HLIMIT(10000).

3. Otvaranje histograma (u jednoj dimenziji) pomoću

   CALL HBOOK1(broj hist., 'naziv hist.', broj kanala, odakle, dokle, 0.).

   Histogram u dve dimenzije se otvara sa

   CALL HBOOK2(broj hist., 'naziv hist.', broj kanala za prvu promenjivu, odakle, dokle, broj kanala za drugu promenjivu, odakle, dokle, 0.).

4. Punjenje 1-dim. histograma

   CALL HFILL(broj hist., varijabla, 0., 1.),

   punjenje 2-dim. histograma

   CALL HFILL(broj hist., prva varijabla, druga varijabla, 1.).

5. Štampanje histograma

   CALL HPRINT(broj histograma).

6. Ovaj korak je opcioni. U slučaju da želimo da koristimo PAW mora se otvoriti falj za PAW pomoću

   CALL HRPUT(0, 'imefajla.rz', 'n').

Često korišćeni zajednički blokovi

Osnovni zajednički blok je:

COMMON/PYJETS/N,K(4000,5),P(4000,5),V(4000,5),

(u slučaju PYTHIA 5.7 mesto PYJETS stoji LUJETS).

Varijable N,K,P,V iz ovog zajedničkog bloka imaju sledeća značenja:

- N je broj stvorenih čestica. Broj date čestice je između 1 i N i obeležava se sa I;
- K(I,1) je kod statusa (KS) čestice čiji je redni broj I. Kod statusa daje informaciju o tome da li se čestica (džet) raspala (fragmentisala) ili ne. Čestice koje su pretrpele raspad ili hadronizaciju imaju KS>10, a čestice sa KS=1 su prisutne u konačnom stanju;
- K(I,2) je kod aromata (KF) čestice. To je jedinstven broj svake čestice. Kod aromata antičestice ima znak minus u odnosu na kod aromata čestice;
- K(I,3) je redni broj čestice ili džeta roditelja;
- K(I,4) je redni broj prve čestice koja se dobila iz date ili nula za neraspadnutu česticu ili nefragmentovan džet;
- K(I,5) je redni broj poslednje čestice koja je postala od date;
- P(I,1) je p_x komponenta impulsa (u GeV/c);
- P(I,2) je p_y komponenta impulsa (u GeV/c);
- P(I,3) je p_z komponenta impulsa (u GeV/c);
- P(I,4) je E energija (u GeV);
- P(I,5) je m masa (u GeV/c^2);
- V(I,1) je x koordinata položaja verteksa u kom je čestica produkovana (u mm);
- V(I,2) je y koordinata položaja verteksa u kom je čestica produkovana (u mm);
- V(I,3) je z koordinata položaja verteksa u kom je čestica produkovana (u mm);
- V(I,4) je vreme produkcije (u mm/c);
- V(I,5) je vreme života (u mm/c).

Da bi radili sa željenim skupom procesa, da bi uveli ograničenja na aromate ili kinematiku koristi se sledeći zajednički blok:

COMMON/PYSUBS/MSEL,MSUB(200),KFIN(2,-40:40),CKIN(200).

Ako nismo zadovoljni default-nim vrednostima (D=...) one moraju biti promenjene pre poziva PYINIT naredbe.

MSEL je uslovna naredba za izbor između pune kontrole korisnika ili uporebu nekih isprogramiranih alternativa.

- MSEL=0 Potpuna kontrola korisnika. Željeni proces se uključuje pomoću MSUB naredbe.
- MSEL=1,2,...,38 Koriste se razne već isprogramirane alternative.

MSUB se koristi kada je MSEL=0. ISUB vrednosti i odgovarjući tip podprocesa dati su u tablicama u dodatku §B. Ako je:

- MSUB(ISUB)=0 podproces je isključen,
- MSUB(ISUB)=1 podproces je uključen.

CKIN naredbe stavljaju ograničenja na vrednosti raznih kinematičkih varijabli. Neke od opcija navedene su ispod:

- CKIN(1), CKIN(2) (D=2,-1 GeV) donja i gornja granica na vrednost ukupne energije sistema $\sqrt{s}$;.
- CKIN(3), CKIN(4) (D=0,-1 GeV) donja i gornja granica vrednosti transverzalnih impulsa u "hard" procesima $2 \to 2$ gde su transverzalni impulsi definisani u sistemu mirovanja "hard" interakcije;

Da bi se selektovali željeni raspadi čestica koristi se sledeći zajednički blok:

COMMON/LUDAT3/MDCY(500,3),MDME(2000,2),BRAT(2000),KFDP(2000,5).

MDCY(KC,1) je uslovna naredba koji utiče na to da li čestica sa datim kompresovanim kodom KC sme da se raspadne ili ne.

- MDCY(KC,1)=0 čestica nesme da se raspadne;
- MDCY(KC,1)=0 čestica sme da se raspadne.

MDME(IDC,1) otvara ili zatvara određen kanal raspada IDC. Lista kanala raspada i njihovi IDC brojevi dobijaju se pozivanjem PYLIST(12) (LULIST(12)) naredbe.

- MDME(IDC,1)=0 kanal raspada je zatvoren;
- MDME(IDC,1)=0 kanal raspada je otvoren.

BRAT(IDC) daje faktor grananja za kanal raspada IDC.

KFDP(IDC,5) sadrži produkte raspada.

4 Primer fortrnaskog programa koji koristi Pitija biblioteke

Osnovni elementi koje sadrži svaki fortranski program koji koristi Pitija biblioteke jesu:

1. **Inicijalizacija**. Ovde se preciziraju sve bitne karakteristike događaja koji će se generisati. U tu svrhu koriste se :

   - Zajednički blokovi (Pitije 5.7) i to bar sledeći

     ```
     COMMON/LUJETS/N,K(4000,5),P(4000,5),V(4000,5)
     COMMON/LUDAT1/MSTU(200),PARU(200),MSTJ(200),PARJ(200)
     COMMON/PYSUBS/MSEL,MSUB(200),KFIN(2,-40:40),CKIN(200)
     COMMON/PYPARS/MSTP(200),PARP(200),MSTI(200),PARI(200)
     ```

   - Selekcija željenih procesa. Neki od već pripremljenih scenarija pozivaju se korišćenjem naredbe MSEL. Sa MSEL=0 moguće je da korisnik sam izabere odgovarajući skup podprocesa. Na primer procesi 14, 16, 18 selektuju se na sledeći način

     ```
     MSEL=0
     MSUB(14)=1
     MSUB(16)=1
     MSUB(18)=1
     ```

   - Selekcija kinematičkih ograničenja pomoću naredbe CKIN. Na primer "hard" rasejanje sa transverzalnim impulsima u intervalu $5\,\mathrm{GeV} < p_T < 10\,\mathrm{GeV}$ dobija se sa

     ```
     CKIN(3)=5
     CKIN(4)=10
     ```

   - Definicija fizičkog scenarija, na primer: mase top kvarka;
   - Selekcija partonskih distribucija i svi drugi detalji generacije;
   - Uključivanje ili isključivanje inicijalnih i finalnih zračenja, hadronizacije, raspada;
   - Inicijalizacija procedure generacije pozivanjem naredbe PYINIT, pošto su svi parametri prethodno podešeni. U okviru ove naredbe precizira se sistem reference, čestice koje se sudaraju i energija. Na primer proton-antiproton sudari na ukupnoj energiji 1.8 GeV u sistemu centra mase inicijalizuju se pomoću:

CALL PYINIT ('CMS','p','pbar',1800.)

- Bukiranje histograma.

2. **Generacija.** Ovde se događaji generišu i izučavaju. Generacija uključuje sledeće zadatke:

   - Generacija jednog događaja pomoću

     CALL PYEVNT

   - Štampa se nekoliko listinga da bi se proverilo da li je sve u redu pomoću naredbe

     CALL PYLIST(1)

   - Analiza događaja.

3. **Završni korak.** Ovde su zadaci sledeći:

   - Štampa efikasnih preseka pomoću:

     CALL PYSTAT(1)

   - Štampa histograma i drugih outputa.

Sada sledi konkretan primer fortranskog programa koji koristi biblioteke Pitije 5.7

```
c-----------------------------------------------------------------------

      Program W bozon

c-----Nabrajanje zajedničkih blokova
      COMMON/LUJETS/N,K(4000,5),P(4000,5),V(4000,5)
      COMMON/LUDAT1/MSTU(200),PARU(200),MSTJ(200),PARJ(200)
      COMMON/LUDAT2/KCHG(500,3),PMAS(500,4),PARF(2000),VCKM(4,4)
      COMMON/LUDAT3/MDCY(500,3),MDME(2000,2),BRAT(2000),KFDP(2000,5)
      COMMON/LUDATR/MRLU(6),PRLU(100)
      COMMON/PYSUBS/MSEL,MBUB(200),KFIN(2,-40:40),CKIN(200)
      COMMON/PYPARS/MSTP(200),PARP(200),MSTI(200),PARI(200)
      COMMON/PYINIT1/MINT(400),VINT(400)
      COMMON/PYINIT2/ISET(200),KFPR(200,2),COEF(200,2)ICOL(40,4,2)
      COMMON/PYINIT5/NGENO(0:200,3),XSEC(0:200,3)

      COMMON/PAWC/H(10000)
```

```
c——Generator slučajnog broja
      MRLU(1)=55111

c——Broj događaja
      NEV=100

c——Produkcija W bozona
      MSEL=12

c——Zabranjuju se svi kanali raspada W bozona
      DO I=172,191
         MDME(I,1)=0
      ENDDO

c——Dozvoljava se samo leptonska moda raspada W bozona
      DO I=188,189
         MDME(I,1)=1
      ENDDO

c——Isključuju se inicijalna i finalna zračenja, hadronizacija i raspadi,
c——odnosno događaj se posmatra na partonskom nivou.
      MSTP(61)=0
      MSTP(71)=0
      MSTP(81)=0
      MSTP(111)=0

c——Inicijalizacija događaja
      CALL PYINIT('CMS','p','p',14000.)

      CALL HLIMIT(10000)

c——Otvaranje histograma
      CALL HBOOK1(1,'MASA W-BOZONA',70,0.,140.,0.)

c——Petlja po događajima
       DO IEV=1,NEV
c——Generacija jednog događaja
         CALL PYEVNT
c——Štampanje listinga za prvih 10 događaja
         IF (IEV.LE.10) CALL LULIST(2)

c——Petlja po česticama
         DO I=1,9
c——Izdvajaju se W-bozoni
            IF((K(I,2).EQ.24).OR.(K(I,2).EQ.-24))THEN
```

```
          WMASS=P(I,5)
c———Punjenje histograma
          CALL HFILL(1,WMASS,0.,1.)
          ENDIF
        ENDDO
c———Kraj petlje po česticama

      ENDDO
c———Kraj petlje po događajima

c———Štampanje efikasnih preseka
      CALL PYSTAT(1)

c———Štampanje histograma
      CALL HPRINT(0)

c———STOP

c———END
```

5 Primer listinga događaja na visokim energijama

Primer listinga jednog proton-proton sudara u kom se produkuje top-antitop par naveden je na sledećoj strani. Događaj se posmatra na čestičnom nivou, odnosno uz uključena inicijalna i finalana zračenja, hadronizaciju i raspade.

U listingu su osobine čestica klasifikovane su po kolonama. U **prvoj koloni** obeleženoj sa I su redni brojevi čestica. U **drugoj koloni** su nazivi čestica/džetova. U **trećoj koloni** je kod statusa čestice. U **četvrtoj koloni** je smešten kod aromata. U **petoj koloni** je informacija o poreklu date čestice. Tu je smešten redni broj čestice od koje je data čestica nastala. U **šestoj koloni** je x-komponenta impulsa, p_x (u GeV/c). U **sedmoj koloni** je y-komponenta impulsa, p_y (u GeV/c). U **osmoj koloni** je z-komponenta impulsa, p_z (u GeV/c). U **devetoj koloni** je energija, E (u GeV). U **poslednjoj koloni** je masa čestice, m (u GeV/c^2).

U prva dva reda se uvek nalaze čestice koje će se sudarati. Od **3. do 16. reda** su produkti interakcije na partonskom nivou uz uključena inicijalna zračenja. U 3. i 4. redu su dva partona koja započinju inicijalne pljuskove (u našem primeru d-kvark i gluon). U 5. i 6. redu su krajnji produkti tih pljuskova, tj partoni koji učestvuju u jakim interakcijama (dva gluona). Produkt ove interakcije je top-antitop par (u sedmom i osmom redu) koji se raspada na b-kvark, b-antikvark, W^+-bozon i W^--bozon. Od **16. do 97. reda** su produkti interakcije kada se na partonski nivo uključi i fragmentacija. Pored kvarkova i gluona nalaze se oznake za string jer kvarkovi i gluoni učestvuju u procesu fragmentacije. String predstavlja sistem kvarkova i gluona nastalih u procesu hadronizacije od jednog kvark-antikvark para. Oznaka za početak stringa je "A", oznaka za kraj stringa je "V", a čestice koje se nalaze između su označene sa "I". Ovde nisu uključeni raspadi nestabilnih čestica nastalih u procesu fragmentacije. Od **98. reda** pa nadalje predstavljeni su produkti raspada kada se uključe lanci raspada i dalje fragmentacije.

```
******************************************************************************
**                                                                          **
**                                                                          **
**   PPP  Y   Y TTTTT H   H III   A        JJJJ EEEE TTTTT  SSS  EEEE TTTTT **
**   P  P  Y Y    T   H   H  I   A A          J E      T   S     E      T   **
**   PPP    Y     T   HHHHH  I  AAAAA         J EEE    T    SSS  EEE    T   **
**   P      Y     T   H   H  I  A   A      J  J E      T       S E      T   **
**   P      Y     T   H   H III A   A       JJ  EEEE   T    SSS  EEEE   T   **
**                                                                          **
**                                                                          **
**              *......*                   Welcome to the Lund Monte Carlo! **
**         *:::!!:::::::::::*                                               **
**      *::::::!!::::::::::::::*             This is PYTHIA version 5.702   **
**    *::::::::!!::::::::::::::::*         Last date of change: 13 Feb 1994 **
**   *:::::::::!!:::::::::::::::::*                                         **
**   *:::::::::!!:::::::::::::::::*          This is JETSET version 7.401   **
**    *::::::::!!::::::::::::::::*!        Last date of change: 11 Feb 1994 **
**      *::::::!!::::::::::::::* !!                                         **
**      !! *:::!!:::::::::::*    !!                                         **
**      !!     !* -><- *         !!                 Main author:            **
**      !!     !!                !!              Torbjorn Sjostrand         **
**      !!     !!                !!            Theory Division, CERN,       **
**      !!                       !!              CH-1211 Geneva 23,         **
**      !!        ep             !!                 Switzerland             **
**      !!                       !!           phone +41 - 22 - 767 28 20    **
**      !!                 pp    !!           E-mail TORSJO@CERNVM.CERN.CH  **
**      !!   e+e-                !!                                         **
**      !!                       !!           Copyright Torbjorn Sjostrand  **
**      !!                                       and CERN, Geneva 1993      **
**                                                                          **
** When you cite these programs, priority should always be given to the     **
** latest published description.                                            **
** Currently this is, for JETSET                                            **
** T. Sjostrand and M. Bengtsson, Computer Physics Commun. 43 (1987) 367,   **
** and for PYTHIA                                                           **
** H.-U. Bengtsson and T. Sjostrand, Computer Physics Commun. 46 (1987) 43. **
** The most recent long description (unpublished) is:                       **
** T. Sjostrand, CERN-TH.7112/93 (1993).                                    **
** Also remember that the programs, to a large extent, represent original   **
** physics research. Other publications of special relevance to your        **
** studies may therefore deserve separate mention.                          **
**                                                                          **
**                                                                          **
******************************************************************************
                        Event listing (summary)

   I  particle/jet KS     KF orig    p_x      p_y      p_z       E        m

   1  !p+!         21   2212    0    0.000    0.000 7000.000 7000.000    0.938
   2  !p+!         21   2212    0    0.000    0.000-7000.000 7000.000    0.938
==============================================================================
   3  !d!          21      1    1   -0.326    0.312 1327.100 1327.100    0.000
   4  !g!          21     21    2   -0.525   -0.379 -691.472  691.472    0.000
   5  !g!          21     21    3   98.375  150.261  575.666  603.032    0.000
   6  !g!          21     21    4   33.394   25.668 -232.766  236.546    0.000
   7  !t!          21      6    0  330.091  159.610  396.931  567.836  174.495
   8  !t~!         21     -6    0 -198.322   16.319  -54.031  271.742  176.992
   9  !W+!         21     24    7  230.025   53.252  307.752  396.654   82.923
  10  !b!          21      5    7  100.066  106.359   89.178  171.182    5.000
  11  !W-!         21    -24    8  -23.018   29.713  -31.887   94.467   80.589
  12  !b~!         21     -5    8 -175.304  -13.395  -22.144  177.275    5.000
  13  !s~!         21     -3    9   54.987    4.735  135.110  145.948    0.199
  14  !c!          21      4    9  168.557   48.901  162.958  239.499    1.350
  15  !d!          21      1   11  -35.893   12.897  -52.569   64.947    0.010
  16  !u~!         21     -2   11   12.713   16.730   20.729   29.516    0.006
==============================================================================
  17  (W+)         11     24    9  223.544   53.636  298.068  385.447   82.923
```

18	(W-)		11	-24	11	-23.180	29.627	-31.839	94.463	80.589
19	(u)	A	12	2	3	-7.700	-10.100	18.857	22.735	0.006
20	(g)	I	12	21	3	-2.911	-6.387	18.723	19.995	0.000
21	(g)	I	12	21	3	-1.064	-1.451	3.227	3.695	0.000
22	(g)	I	12	21	3	-1.262	-2.991	34.398	34.551	0.000
23	(g)	I	12	21	3	-1.272	-0.966	10.397	10.519	0.000
24	(g)	I	12	21	3	-3.003	-4.319	2.811	5.964	0.000
25	(g)	I	12	21	3	-20.386	-24.221	19.307	37.081	0.000
26	(u~)	V	11	-2	3	-3.730	-5.783	2.233	7.235	0.006
27	(u~)	A	12	-2	3	-0.687	-7.013	8.579	11.102	0.006
28	(g)	I	12	21	3	-0.304	0.752	4.920	4.986	0.000
29	(d)	V	11	1	3	0.739	4.444	63.347	63.507	0.010
30	(u)	A	12	2	3	-15.268	-20.279	6.660	26.243	0.006
31	(g)	I	12	21	3	-8.321	-15.596	6.330	18.776	0.000
32	(g)	I	12	21	3	-17.968	-35.718	16.273	43.167	0.000
33	(g)	I	12	21	3	-7.587	-12.455	3.757	15.061	0.000
34	(g)	I	12	21	0	1.466	0.520	39.262	39.293	0.000
35	(g)	I	12	21	0	-0.800	1.911	2457.330	2457.331	0.000
36	(g)	I	12	21	0	-2.432	-1.062	100.997	101.032	0.000
37	(g)	I	12	21	0	-1.466	-0.520	3.817	4.122	0.000
38	(uu_1)	V	11	2203	2	-0.159	-0.051	-4378.666	4378.666	0.771
39	(d~)	A	12	-1	3	3.676	0.840	28.759	29.005	0.010
40	(d)	V	11	1	3	-7.227	-9.622	399.614	399.795	0.010
41	(b)	A	12	5	10	34.465	50.811	34.720	70.711	5.000
42	(g)	I	12	21	10	10.345	7.466	7.579	14.840	0.000
43	(g)	I	12	21	10	10.056	8.723	8.230	15.651	0.000
44	(g)	I	12	21	10	13.433	13.905	12.118	22.818	0.000
45	(g)	I	12	21	10	36.159	23.206	34.316	54.987	0.000
46	(g)	I	12	21	10	2.090	1.863	1.899	3.383	0.000
47	(g)	I	12	21	0	0.800	-1.911	2.593	3.319	0.000
48	(g)	I	12	21	3	-0.482	-0.306	3.887	3.928	0.000
49	(uu_1)	V	11	2203	1	0.326	-0.312	2955.599	2955.599	0.771
50	(b~)	A	12	-5	12	-139.915	-13.216	-19.051	141.911	5.000
51	(g)	I	12	21	12	-35.227	-0.092	-3.140	35.367	0.000
52	(g)	I	12	21	0	-2.453	-1.841	-418.493	418.504	0.000
53	(g)	I	12	21	0	-2.108	0.322	-908.885	908.887	0.000
54	(g)	I	12	21	0	2.432	1.062	-218.490	218.506	0.000
55	(g)	I	12	21	0	2.108	-0.322	-92.917	92.941	0.000
56	(g)	I	12	21	0	2.453	1.841	-61.183	61.259	0.000
57	(g)	I	12	21	4	-4.905	-2.863	2.723	6.298	0.000
58	(g)	I	12	21	4	-19.687	-19.636	4.683	28.197	0.000
59	(g)	I	12	21	4	-2.270	-0.453	1.311	2.661	0.000
60	(g)	I	12	21	4	-1.337	0.915	3.154	3.546	0.000
61	(g)	I	12	21	4	-3.322	-0.527	-0.396	3.386	0.000
62	(g)	I	12	21	4	-3.507	-1.491	0.436	3.835	0.000
63	(g)	I	12	21	4	-0.991	0.229	-2.210	2.433	0.000
64	(g)	I	12	21	4	-0.293	2.253	-3.994	4.595	0.000
65	(g)	I	12	21	4	-0.441	-0.875	-1.124	1.492	0.000
66	(g)	I	12	21	4	-3.330	-1.275	-5.190	6.296	0.000
67	(g)	I	12	21	4	0.978	0.288	-3.330	3.482	0.000
68	(g)	I	12	21	4	0.228	-0.968	-84.364	84.370	0.000
69	(g)	I	12	21	4	1.013	-0.422	-271.052	271.054	0.000
70	(d)	V	11	1	2	0.684	0.431	2.515	2.642	0.010
71	(c)	A	12	4	14	158.326	45.504	152.878	224.748	1.350
72	(g)	I	12	21	14	5.353	1.972	5.431	7.876	0.000
73	(g)	I	12	21	13	3.518	0.537	11.889	12.410	0.000
74	(g)	I	12	21	13	3.008	-1.184	14.186	14.550	0.000
75	(g)	I	12	21	13	5.060	0.585	14.258	15.140	0.000
76	(g)	I	12	21	13	17.751	3.092	38.214	42.249	0.000
77	(s~)	V	11	-3	13	30.528	3.128	61.212	68.474	0.199
78	(u~)	A	12	-2	16	12.929	16.731	20.362	29.354	0.006
79	(g)	I	12	21	16	-0.724	0.077	-0.388	0.825	0.000
80	(g)	I	12	21	15	-0.524	-0.034	-0.485	0.715	0.000
81	(g)	I	12	21	15	-11.199	5.125	-14.884	19.319	0.000
82	(g)	I	12	21	15	-11.096	4.967	-18.790	22.380	0.000
83	(g)	I	12	21	15	-5.459	1.623	-7.247	9.217	0.000
84	(d)	V	11	1	15	-7.107	1.138	-10.407	12.654	0.010
85	(u)	A	12	2	(0	-0.759	-2.698	-0.405	2.832	0.000
86	(u~)	V	11	-2	0	0.759	2.698	-28.189	28.328	0.000

```
  87  (d)        A  12      1     0     2.087    -1.362     2.231     3.345     0.000
  88  (d~)       V  11     -1     0    -2.087     1.362    -5.385     5.934     0.000
  89  (u)        A  12      2     0    -0.131    -1.918    48.179    48.217     0.000
  90  (u~)       V  11     -2     0     0.131     1.918    -5.440     5.770     0.000
  91  (d)        A  12      1     0    -1.414     1.154    -1.379     2.288     0.000
  92  (d~)       V  11     -1     0     1.414    -1.154     5.980     6.252     0.000
  93  (g)        A  12     21     0    -1.835    -1.377   -53.544    53.593     0.000
  94  (g)        V  11     21     0     1.835     1.377   -33.031    33.110     0.000
  95  (g)        A  12     21     0    -0.628     1.484    50.747    50.772     0.000
  96  (g)        V  11     21     0     0.628    -1.484   -98.872    98.885     0.000
==========================================================================================
  97  (string)      11     92    19   -41.328   -56.217   109.954   141.776    56.055
  98  (pi0)         11    111    97    -3.231    -3.517     6.969     8.450     0.135
  99  (pi0)         11    111    97    -3.510    -6.379    11.887    13.940     0.135
 100  (rho0)        11    113    97    -2.156    -2.511     9.855    10.431     0.860
 101  pi+            1    211    97    -0.457    -1.464     1.756     2.336     0.140
 102  (rho0)        11    113    97    -1.221    -1.924     6.571     6.991     0.709
 103  (eta)         11    221    97    -0.801    -2.308     7.864     8.253     0.548
 104  pi-            1   -211    97    -0.313    -0.747     2.363     2.502     0.140
 105  (omega)       11    223    97    -1.336    -0.994    16.208    16.311     0.774
 106  (rho+)        11    213    97    -0.483    -1.234    14.495    14.572     0.687
 107  (Delta-)      11   1114    97    -0.698    -1.606     6.691     7.025     1.229
 108  pi+            1    211    97    -0.938    -0.622     0.327     1.180     0.140
 .
 .
 .
 950  gamma          1     22   947    -6.385    -0.626    -0.877     6.475     0.000
 951  gamma          1     22   948    -2.126    -0.248    -0.249     2.155     0.000
 952  gamma          1     22   948    -0.569    -0.065     0.003     0.572     0.000
```

6 Instalacija Pitije

Da bi se radilo sa Pitijom 5.7 prvo se sa Pitijinog veb-sajta moraju skinuti fortranski programi **pythia57.f** i **jetset74.f** (novije verzije Pitije poput Pitije 6.152 i drugih nalaze se u sklopu CERN-ovskih biblioteka). Ova dva fortranska programa se zatim kompajliraju pomoću f77, g77 ili nekog drugog fortranskog kompajlera na sledeći način:

```
f77 -c pythia57.f
f77 -c jetset74.f
```

Posle kompajliranja se dobijaju objektni fajlovi **pythia57.o** i **jetset74.o**. Ovi fajlovi se linkuju u Makefile-u:

```
f77 -n32 -o top.e top.f \
pythia57.o jetset74.o
```

pomoću koga se željeni fortranski program koji koristi Pitija biblioteke (u ovom slučaju top.f) kompajlira.

Da bi proverili da li je sve dobro instalirano prilikom izvršavanja sledeća dva programa ne treba da dođe do prijavljivanja greške:

```
Program test1

CALL LUTEST(1)
END

Program test2

CALL PYTEST(1)
END
```

7 Zaključak

MC generatori igraju značajnu ulogu u fizici i njihova primena pre početka realnih eksperimentata je od neprocenjive važnosti. Treba imati u vidu da su simulacije samo približan opis realne situacije, jer se još uvek neznaju odgovori na mnogo pitanja i situacija se često opisuje na osnovu modela. Bitno je da se **rezultati simulacija uporede na više različitih MC generatora** da bi bili sigurni u dobijene rezultate. Pitija ima širok spektar mogućnosti i ona se sve više usavršava zahvaljujući novim saznanjima u teoriji i eksperimentu.

Reference

[1] T. Sjostrand, PYTHIA 5.7 and JETSET 7.4 Physics and Manual, LU TP 95-20 (1995)

[2] T. Sjostrand, PYTHIA 6.2 Physics and Manual, LU TP 01-21, Avgust 2001., hep-ph/0108264

[3] J. P. Guillaud, PYTHIA miniguide, *web site:* wwwlapp.in2p3.fr/Pythia/miniguide.PDF

[4] A. Savoy-Navarro, Computer Applications, Lecture Notes from "First Regional ICFA Instrumentation Schoo", Istanbul 2002.

A Kodovi čestica

Svaka čestica ima svoj jedinstven broj tzv. kod aromata. Antičestica ima kod suprotnog znaka od koda čestice. Kodovi čestica su po grupama navedeni u tablicama ispod.

KF	Name	Printed	KF	Name	Printed
1	d	d	11	e^-	e-
2	u	u	12	ν_e	nu_e
3	s	s	13	μ^-	mu-
4	c	c	14	ν_μ	nu_mu
5	b	b	15	τ^-	tau-
6	t	t	16	ν_τ	nu_tau
7	l	l	17	χ^-	chi-
8	h	h	18	ν_χ	nu_chi
9			19		
10			20		

Slika 9: Kodovi kvarkova i leptona.

KF	Name	Printed	KF	Name	Printed
21	g	g	31		
22	γ	gamma	32	Z'^0	Z'0
23	Z^0	Z0	33	Z''^0	Z"0
24	W^+	W+	34	W'^+	W'+
25	H^0	H0	35	H'^0	H'0
26			36	A^0	A0
27			37	H^+	H+
28	$\mathbb{R}$	reggeon	38	η_{techni}	eta_tech0
29	$\mathbb{P}$	pomeron	39	L_Q	LQ
30			40	R^0	R0

Slika 10: Kodovi gejdž bozona i drugih fundamentalnih bozona.

KF	Name	Printed	KF	Name	Printed
			1103	dd_1	dd_1
2101	ud_0	ud_0	2103	ud_1	ud_1
			2203	uu_1	uu_1
3101	sd_0	sd_0	3103	sd_1	sd_1
3201	su_0	su_0	3203	su_1	su_1
			3303	ss_1	ss_1

Slika 11: Kodovi dikvarkova.

KF	Printed	Meaning
81	specflav	Spectator flavour; used in decay-product listings
82	rndmflav	A random u, d, or s flavour; possible decay product
83	phasespa	Simple isotropic phase-space decay
84	c-hadron	Information on decay of generic charm hadron
85	b-hadron	Information on decay of generic bottom hadron
86	t-hadron	Information on decay of generic top hadron
87	l-hadron	Information on decay of generic low hadron
88	h-hadron	Information on decay of generic high hadron
89	Wvirt	Off-mass-shell W in weak decays of t, l, h or χ
90	diquark	Generic code for diquark colour information
91	cluster	Parton system in cluster fragmentation
92	string	Parton system in string fragmentation
93	indep.	Parton system in independent fragmentation
94	CMshower	Four-momentum of time-like showering system
95	SPHEaxis	Event axis found with LUSPHE
96	THRUaxis	Event axis found with LUTHRU
97	CLUSjet	Jet (cluster) found with LUCLUS
98	CELLjet	Jet (cluster) found with LUCELL
99	table	Tabular output from LUTABU
100		

Slika 12: Specijalni kodovi.

KF	Name	Printed	KF	Name	Printed
211	π^+	pi+	213	ρ^+	rho+
311	K^0	K0	313	K^{*0}	K*0
321	K^+	K+	323	K^{*+}	K*+
411	D^+	D+	413	D^{*+}	D*+
421	D^0	D0	423	D^{*0}	D*0
431	D_s^+	D_s+	433	D_s^{*+}	D*_s+
511	B^0	B0	513	B^{*0}	B*0
521	B^+	B+	523	B^{*+}	B*+
531	B_s^0	B_s0	533	B_s^{*0}	B*_s0
541	B_c^+	B_c+	543	B_c^{*+}	B*_c+
111	π^0	pi0	113	ρ^0	rho0
221	η	eta	223	ω	omega
331	η'	eta'	333	ϕ	phi
441	η_c	eta_c	443	J/ψ	J/psi
551	η_b	eta_b	553	Υ	Upsilon
661	η_t	eta_t	663	Θ	Theta
130	K_L^0	K_L0			
310	K_S^0	K_S0			

Slika 13: Kodovi mezona.

KF	Name	Printed	KF	Name	Printed
10213	b_1	b_1+	10211	a_0^+	a_0+
10313	K_1^0	K_10	10311	K_0^{*0}	K*_00
10323	K_1^+	K_1+	10321	K_0^{*+}	K*_0+
10413	D_1^+	D_1+	10411	D_0^{*+}	D*_0+
10423	D_1^0	D_10	10421	D_0^{*0}	D*_00
10433	D_{1s}^+	D_1s+	10431	D_{0s}^{*+}	D*_0s+
10113	b_1^0	b_10	10111	a_0^0	a_00
10223	h_1^0	h_10	10221	f_0^0	f_00
10333	$h_1'^0$	h'_10	10331	$f_0'^0$	f'_00
10443	h_{1c}^0	h_1c0	10441	χ_{0c}^0	chi_0c0
20213	a_1^+	a_1+	215	a_2^+	a_2+
20313	K_1^{*0}	K*_10	315	K_2^{*0}	K*_20
20323	K_1^{*+}	K*_1+	325	K_2^{*+}	K*_2+
20413	D_1^{*+}	D*_1+	415	D_2^{*+}	D*_2+
20423	D_1^{*0}	D*_10	425	D_2^{*0}	D*_20
20433	D_{1s}^{*+}	D*_1s+	435	D_{2s}^{*+}	D*_2s+
20113	a_1^0	a_10	115	a_2^0	a_20
20223	f_1^0	f_10	225	f_2^0	f_20
20333	$f_1'^0$	f'_10	335	$f_2'^0$	f'_20
20443	χ_{1c}^0	chi_1c0	445	χ_{2c}^0	chi_2c0
30443	ψ'	psi'			
30553	Υ'	Upsilon'			

Slika 14: Kodovi mezona.

KF	Name	Printed	KF	Name	Printed
			1114	Δ^-	Delta-
2112	n	n0	2114	Δ^0	Delta0
2212	p	p+	2214	Δ^+	Delta+
			2224	Δ^{++}	Delta++
3112	Σ^-	Sigma-	3114	Σ^{*-}	Sigma*-
3122	Λ^0	Lambda0			
3212	Σ^0	Sigma0	3214	Σ^{*0}	Sigma*0
3222	Σ^+	Sigma+	3224	Σ^{*+}	Sigma*+
3312	Ξ^-	Xi-	3314	Ξ^{*-}	Xi*-
3322	Ξ^0	Xi0	3324	Ξ^{*0}	Xi*0
			3334	Ω^-	Omega-
4112	Σ_c^0	Sigma_c0	4114	Σ_c^{*0}	Sigma*_c0
4122	Λ_c^+	Lambda_c+			
4212	Σ_c^+	Sigma_c+	4214	Σ_c^{*+}	Sigma*_c+
4222	Σ_c^{++}	Sigma_c++	4224	Σ_c^{*++}	Sigma*_c++
4132	Ξ_c^0	Xi_c0			
4312	$\Xi_c'^0$	Xi'_c0	4314	Ξ_c^{*0}	Xi*_c0
4232	Ξ_c^+	Xi_c+			
4322	$\Xi_c'^+$	Xi'_c+	4324	Ξ_c^{*+}	Xi*_c+
4332	Ω_c^0	Omega_c0	4334	Ω_c^{*0}	Omega*_c0
5112	Σ_b^-	Sigma_b-	5114	Σ_b^{*-}	Sigma*_b-
5122	Λ_b^0	Lambda_b0			
5212	Σ_b^0	Sigma_b0	5214	Σ_b^{*0}	Sigma*_b0
5222	Σ_b^+	Sigma_b+	5224	Σ_b^{*+}	Sigma*_b+

Slika 15: Barionski kodovi

KF	Printed	Meaning
110	rho_diff0	Diffractive $\pi^0/\rho^0/\gamma$ state
210	pi_diffr+	Diffractive π^+ state
220	omega_di0	Diffractive ω state
330	phi_diff0	Diffractive ϕ state
440	J/psi_di0	Diffractive J/ψ state
2110	n_diffr	Diffractive n state
2210	p_diffr+	Diffractive p state

Slika 16: Kodovi difraktivnih stanja.

B Procesi

Velik izbor fundamentalnih $2 \to 1$ i $2 \to 2$ procesa Standardnog modela (elektroslabi i jaki) nalazi se u Pitiji. Pored njih Pitija sadrži i 'minimum bias' procese (poput elastičnih rasejanja), procese tipa $2 \to 3$ i procese izvan Standardnog modela. Svi oni navedeni su u tablicama koje slede. U tablicama je korišćena sledeća notacija. Sa f_i su predstavljeni fundamentalni fermioni: d, u, s, c, t, b, l, h, e^-, ν^e, μ, ν^μ, τ^-, ν_τ, χ, ν_χ. Odgovarajući antifermion je obeležen sa $\bar{f}_i$. Ako se neki proces odnosi samo na kvarkove, ali su mogući i leptoni koristi se oznaka q_i za kvarkove, a l za leptone. U procesima u kojima su mase fermiona eksplicitno uključene u matrične elemente, F je oznaka za proizvoljni fermion, a Q za kvark. Čestice prisutne u inicijalnom stanju imaju indekse i i j, a one u finalnom l i k.

No.	Subprocess
	a) 2 → 1, tree
1	$f_if_i \to \gamma^*/Z^0$
2	$f_i\bar{f}_j \to W^+$
3	$f_i\bar{f}_i \to H^0$
4	$\gamma W^+ \to W^+$
5	$Z^0Z^0 \to H^0$
6	$Z^0W^+ \to W^+$
7	$W^+W^- \to Z^0$
8	$W^+W^- \to H^0$
	b) 2 → 2, tree
10	$f_if_j \to f_if_j$ (QFD)
11	$f_if_j \to f_if_j$ (QCD)
12	$f_i\bar{f}_i \to f_k\bar{f}_k$
13	$f_i\bar{f}_i \to gg$
14	$f_i\bar{f}_i \to g\gamma$
15	$f_i\bar{f}_i \to gZ^0$
16	$f_i\bar{f}_j \to gW^+$
17	$f_i\bar{f}_i \to gH^0$
18	$f_i\bar{f}_i \to \gamma\gamma$
19	$f_i\bar{f}_i \to \gamma Z^0$
20	$f_i\bar{f}_j \to \gamma W^+$
21	$f_i\bar{f}_i \to \gamma H^0$
22	$f_i\bar{f}_i \to Z^0Z^0$
23	$f_i\bar{f}_j \to Z^0W^+$
24	$f_i\bar{f}_i \to Z^0H^0$
25	$f_i\bar{f}_i \to W^+W^-$
26	$f_i\bar{f}_j \to W^+H^0$
27	$f_i\bar{f}_i \to H^0H^0$
28	$f_ig \to f_ig$
29	$f_ig \to f_i\gamma$
30	$f_ig \to f_iZ^0$
31	$f_ig \to f_kW^+$
32	$f_ig \to f_iH^0$
33	$f_i\gamma \to f_ig$
34	$f_i\gamma \to f_i\gamma$
35	$f_i\gamma \to f_iZ^0$
36	$f_i\gamma \to f_kW^+$
37	$f_i\gamma \to f_iH^0$
38	$f_iZ^0 \to f_ig$
39	$f_iZ^0 \to f_i\gamma$
40	$f_iZ^0 \to f_iZ^0$

No.	Subprocess
	b) 2 → 2, tree (cont'd)
41	$f_iZ^0 \to f_kW^+$
42	$f_iZ^0 \to f_iH^0$
43	$f_iW^+ \to f_kg$
44	$f_iW^+ \to f_k\gamma$
45	$f_iW^+ \to f_kZ^0$
46	$f_iW^+ \to f_kW^+$
47	$f_iW^+ \to f_kH^0$
48	$f_iH^0 \to f_ig$
49	$f_iH^0 \to f_i\gamma$
50	$f_iH^0 \to f_iZ^0$
51	$f_iH^0 \to f_kW^+$
52	$f_iH^0 \to f_iH^0$
53	$gg \to f_k\bar{f}_k$
54	$g\gamma \to f_k\bar{f}_k$
55	$gZ^0 \to f_k\bar{f}_k$
56	$gW^+ \to f_k\bar{f}_l$
57	$gH^0 \to f_k\bar{f}_l$
58	$\gamma\gamma \to f_k\bar{f}_k$
59	$\gamma Z^0 \to f_k\bar{f}_k$
60	$\gamma W^+ \to f_k\bar{f}_l$
61	$\gamma H^0 \to f_k\bar{f}_k$
62	$Z^0Z^0 \to f_k\bar{f}_k$
63	$Z^0W^+ \to f_k\bar{f}_l$
64	$Z^0H^0 \to f_k\bar{f}_k$
65	$W^+W^- \to f_k\bar{f}_k$
66	$W^+H^0 \to f_k\bar{f}_l$
67	$H^0H^0 \to f_k\bar{f}_k$
68	$gg \to gg$
69	$\gamma\gamma \to W^+W^-$
70	$\gamma W^+ \to Z^0W^+$
71	$Z^0Z^0 \to Z^0Z^0$ (longitudinal)
72	$Z^0Z^0 \to W^+W^-$ (longitudinal)
73	$Z^0W^+ \to Z^0W^+$ (longitudinal)
74	$Z^0H^0 \to Z^0H^0$
75	$W^+W^- \to \gamma\gamma$
76	$W^+W^- \to Z^0Z^0$ (longitudinal)
77	$W^+W^\pm \to W^+W^\pm$ (longitudinal)
78	$W^+H^0 \to W^+H^0$
79	$H^0H^0 \to H^0H^0$
80	$q_i\gamma \to q_k\pi^\pm$

No.	Subprocess
	c) $2 \to 2$, tree, massive final quarks
81	$f_i\bar{f}_i \to Q_k\bar{Q}_k$
82	$gg \to Q_k\bar{Q}_k$
83	$q_if_j \to Q_kf_l$
84	$g\gamma \to Q_k\bar{Q}_k$
85	$\gamma\gamma \to F_k\bar{F}_k$
86	$gg \to J/\psi g$
87	$gg \to \chi_{0c}g$
88	$gg \to \chi_{1c}g$
89	$gg \to \chi_{2c}g$
	d) 'minimum bias'
91	elastic scattering
92	single diffraction ($AB \to XB$)
93	single diffraction ($AB \to AX$)
94	double diffraction
95	low-$p_\perp$ production
	e) $2 \to 1$, loop
101	$gg \to Z^0$
102	$gg \to H^0$
103	$\gamma\gamma \to H^0$
	f) $2 \to 2$, box
110	$f_i\bar{f}_i \to \gamma H^0$
111	$f_i\bar{f}_i \to gH^0$
112	$f_ig \to f_iH^0$
113	$gg \to gH^0$
114	$gg \to \gamma\gamma$
115	$gg \to g\gamma$
116	$gg \to \gamma Z^0$
117	$gg \to Z^0Z^0$
118	$gg \to W^+W^-$
119	$\gamma\gamma \to gg$
	g) $2 \to 3$, tree
121	$gg \to Q_k\bar{Q}_kH^0$
122	$q_i\bar{q}_i \to Q_k\bar{Q}_kH^0$
123	$f_if_j \to f_if_jH^0$ (ZZ fusion)
124	$f_if_j \to f_kf_lH^0$ (W^+W^- fusion)
131	$gg \to Z^0Q_k\bar{Q}_k$
	h) non-Standard Model, $2 \to 1$
141	$f_i\bar{f}_i \to \gamma/Z^0/Z'^0$
142	$f_i\bar{f}_j \to W'^+$
143	$f_i\bar{f}_j \to H^+$
144	$f_i\bar{f}_j \to R$
145	$q_i\ell_j \to L_Q$
147	$dg \to d^*$
148	$ug \to u^*$
149	$gg \to \eta_{\mathrm{techni}}$
151	$f_i\bar{f}_i \to H'^0$
152	$gg \to H'^0$
153	$\gamma\gamma \to H'^0$
156	$f_i\bar{f}_i \to A^0$
157	$gg \to A^0$
158	$\gamma\gamma \to A^0$
	i) non-Standard Model, $2 \to 2$ and $2 \to 3$
161	$f_ig \to f_kH^+$
162	$qg \to \ell L_Q$
163	$gg \to L_Q\bar{L}_Q$
164	$q_i\bar{q}_i \to L_Q\bar{L}_Q$
165	$f_i\bar{f}_i \to f_k\bar{f}_k$ (via γ^*/Z^0)
166	$f_i\bar{f}_j \to f_k\bar{f}_l$ (via $W^\pm$)
167	$qq' \to q''d^*$
168	$qq' \to q''u^*$
171	$f_i\bar{f}_i \to Z^0H'^0$
172	$f_i\bar{f}_j \to W^+H'^0$
173	$f_if_j \to f_if_jH'^0$ (ZZ fusion)
174	$f_if_j \to f_kf_lH'^0$ (W^+W^- fusion)
176	$f_i\bar{f}_i \to Z^0A^0$
177	$f_i\bar{f}_j \to W^+A^0$
178	$f_if_j \to f_if_jA^0$ (ZZ fusion)
179	$f_if_j \to f_kf_lA^0$ (W^+W^- fusion)
181	$gg \to Q_k\bar{Q}_kH'^0$
182	$q_i\bar{q}_i \to Q_k\bar{Q}_kH'^0$
186	$gg \to Q_k\bar{Q}_kA^0$
187	$q_i\bar{q}_i \to Q_k\bar{Q}_kA^0$