

Project

Επιστροφή: 04/12/15

Ένας από τους κύριους στόχους του προγράμματος φυσικής του LHC στο CERN ήταν η ανακάλυψη και μελέτη του μποζονίου Higgs. Το πείραμα CMS σχεδιάστηκε ώστε να έχει μεγάλη ευαισθησία για την ανίχνευση του μποζονίου Higgs μέσω της διάσπασής του σε δυο φωτόνια, $H \rightarrow \gamma\gamma$. Το project που έχετε είναι να μελετήσετε την δυνατότητα ανακάλυψης του σωματιδίου Higgs μάζας, $m_H = 115 \text{ GeV}/c^2$, μέσω της διάσπασής του σε 2 φωτόνια όπως προβλέπεται από το Καθιερωμένο Πρότυπο, την θεωρία που περιγράφει τις αλληλεπιδράσεις των στοιχειωδών σωματιδίων της ύλης.

Η ενεργός διατομή παραγωγής και διάσπασης του μποζονίου Higgs με την συγκεκριμένη μάζα είναι $\sigma_{H \rightarrow \gamma\gamma} = 99.3 \text{ fb}$. Η ενεργός διατομή είναι ανάλογη της πιθανότητας εμφάνισης μιας συγκεκριμένης αλληλεπίδρασης και έχει διαστάσεις επιφάνειας ($1b = 10^{-28} \text{ m}^2$, και $1 \text{ fempto} = 10^{-15}$). Για τις μικροσκοπικές αυτές κλίμακες, η σκέδαση δυο πρωτονίων ακτίνας μερικών fm αντιστοιχεί σε επιφάνεια, πR^2 , της τάξης των $\sim 10^{-30} \text{ m}^2$ ή $10^{-2} b$.

Δυστυχώς το σήμα παραγωγής και διάσπασης του σωματιδίου Higgs σε δυο φωτόνια, καλύπτεται από άλλες διεργασίες οι οποίες οδηγούν σε παρόμοιες τελικές καταστάσεις προϊόντων. Οι διεργασίες αυτές συμβαίνουν με πολύ μεγαλύτερη συχνότητα από ότι η επιθυμητή διεργασία και αποτελούν όπως λέμε διεργασίες υποβάθρου για το σήμα το οποίο ψάχνουμε. Οι κυριότερες τέτοιες διεργασίες για την περίπτωση μας είναι (i) παραγωγή γ^*/Z^0 , (ii) παραγωγή δυο φωτονίων από διεργασίες σκέδασης δυο quarks ή γκλουονίων, (iii) παραγωγή QCD γεγονότων με πολλαπλούς πίδακες αδρονίων (jets) και σχετικά μεγάλη εγκάρσια ορμή, $\hat{p}_T > 50 \text{ GeV}/c$ και τα jets αυτά μπορούν να δώσουν, λόγω στατιστικών διακυμάνσεων, σήμα στον ανιχνευτή μας παρόμοιο με αυτό ενός φωτονίου, και (iv) παραγωγή $\gamma + jets$ όπου και πάλι κάποιο από τα jets που παράγονται μαζί με το φωτόνιο να δίνει σήμα που μοιάζει με αυτό του φωτονίου. Στις παραπάνω 4 περιπτώσεις υποβάθρου, τα γεγονότα περιέχουν 2 φωτόνια στην τελική κατάσταση. Μπορείτε να υποθέσετε, με μεγάλη ακρίβεια, ότι το συνολικό σας υπόβαθρο (και από τις 4 διεργασίες) έχει κατανομή παρόμοιου σχήματος με αυτό της κατανομής από το υπόβαθρο της διεργασίας (iv) ($\gamma + jets$) και ότι η συνολική ενεργός διατομή των διεργασιών υποβάθρου είναι 4 φορές της ενεργού διατομής της διεργασίας $\gamma + jets$. Μπορείτε να υποθέσετε ότι η ενεργός διατομή για την διεργασία $\gamma + jets$ είναι $\sigma_{\gamma+jets} = 5000 \text{ fb}$ (επομένως $\sigma_{bkg} = 20000 \text{ fb}$ για προσομοίωση όλων των διεργασιών υποβάθρου). Επιπλέον μπορείτε να υποθέσετε ότι η διεργασία $\gamma + jets$ αποτελείται μόνο από διεργασίες της μορφής $f + \bar{f} \rightarrow \gamma + \gamma$ και $g + g \rightarrow \gamma + \gamma$. Δηλαδή διεργασιών στις οποίες τα σωματίδια που σκεδάζονται είναι είτε quark-antiquarks ($f\bar{f}$) ή δυο γκλουόνια (gg).

Υποθέστε ότι ο επιταχυντής LHC λειτουργεί με συγκρουόμενες δέσμες πρωτονίων – πρωτονίων με ενέργεια 5 TeV η κάθε μια, δηλαδή η συνολική ενέργεια στο σύστημα αναφοράς του κέντρου μάζας είναι 10 TeV . Υποθέστε ακόμα ότι ο συνολικός αριθμός γεγονότων που συλλέγετε αντιστοιχεί σε $L = 1 \text{ fb}^{-1}$ ολοκληρωμένη φωτεινότητα. Η ολοκληρωμένη φωτεινότητα σχετίζεται με την φωτεινότητα της δέσμης (που αντιπροσωπεύει τις συγκρούσεις πρωτονίων-πρωτονίων ανά δευτερόλεπτο) με τον συνολικό χρόνο καταγραφής

γεγονότων σκεδάσεων από τον ανιχνευτή. Η ενεργός διατομή μιας διεργασίας μπορεί να γραφεί ως $\sigma_{signal} = \frac{N_{tot}^{signal}}{L}$ όπου N_{tot}^{signal} είναι ο συνολικός αριθμός των γεγονότων σήματος που παράχθηκαν. Να σημειωθεί ότι δεν ξέρουμε τον αριθμό των γεγονότων σήματος που παράχθηκαν αλλά μόνο τον συνολικό αριθμό γεγονότων, N_{det}^{obs} , που παρατηρούμε στον ανιχνευτή. Ο αριθμός αυτός, N_{det}^{obs} , εμπεριέχει ένα αριθμό γεγονότων σήματος, N_{det}^{signal} , και αριθμό γεγονότων διεργασιών υποβάθρου, N_{det}^{bkg} , που παραμένει στο τελικό δείγμα, N_{det}^{obs} , των γεγονότων παρά τα κριτήρια επιλογής που θέσαμε. Επομένως, $N_{det}^{obs} = N_{det}^{signal} + N_{det}^{bkg}$. Ο αριθμός των γεγονότων υποβάθρου υπολογίζεται συνήθως με ένα συνδυασμό Monte Carlo προσομοιώσεων των διεργασιών υποβάθρου αλλά και πραγματικών γεγονότων επιλέγοντας κατάλληλα δείγματα γεγονότων εμπλουτισμένα στις διεργασίες που ενδιαφέρουν. Επίσης ο αριθμός των γεγονότων που παρατηρούμε στον ανιχνευτή δεν αντιπροσωπεύουν τον συνολικό αριθμό των γεγονότων που παράχθηκαν στις σκεδάσεις πρωτονίων-πρωτονίων. Αυτό γιατί ο ανιχνευτής που χρησιμοποιούμε δεν είναι τέλειος, δεν καλύπτει ολόκληρη την στερεά γωνία παραγωγής και διάσπασης των σωματιδίων της διεργασίας που μελετάται και γιατί για να επιλέξουμε τα ενδιαφέροντα γεγονότα εφαρμόζουμε μια σειρά από κριτήρια επιλογής που σκοπό έχουν να ελαχιστοποιήσουν το υπόβαθρο ως προς το σήμα. Επομένως υπάρχει πάντα μια πιθανότητα ανίχνευσης των σωματιδίων αυτών, ή διαφορετικά απόδοση, ε , της επιλογής που κάνουμε. Η απόδοση αυτή

ορίζεται εν γένει ως $\varepsilon = \frac{N_{pass}}{N_{tot}}$, όπου N_{pass} ο αριθμός γεγονότων που περνούν κάποια

κριτήρια επιλογής ως προς τον συνολικό αριθμό γεγονότων που εξετάσαμε. Με βάση αυτά που αναφέρθηκαν η ενεργός διατομή παραγωγής μιας διεργασίας είναι:

$$\sigma_{signal} = \frac{N_{tot}^{signal}}{L} = \frac{N_{det}^{signal}}{\varepsilon L} = \frac{N_{det}^{obs} - N_{det}^{bkg}}{\varepsilon L}.$$

Στα επόμενα θα πρέπει να κάνετε τα εξής:

1. Δημιουργήστε δείγματα γεγονότων, σε επίπεδο γεννήτορα Monte Carlo, για:

(α) το σήμα σας, $H \rightarrow \gamma\gamma$.

(β) το υπόβαθρο, το οποίο όπως προαναφέρθηκε, αποτελείται από γεγονότα $\gamma + jets$ μέσω διεργασιών $f + \bar{f} \rightarrow \gamma + \gamma$ και $g + g \rightarrow \gamma + \gamma$.

Για την παραγωγή των γεγονότων θα χρησιμοποιήσετε τον γεννήτορα γεγονότων PYTHIA (οδηγίες θα βρείτε παρακάτω). Και για τα δυο δείγματα θα πρέπει να γράψετε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σε κάποια αρχεία στο δίσκο. Στα αρχεία αυτά θα πρέπει να περιέχεται μια γραμμή για κάθε σωματίδιο που παράγεται συμπεριλαμβανομένου του αριθμού γεγονότος που δημιουργήθηκε, των συνιστωσών της τετραορμής, το είδος του σωματιδίου καθώς και η πληροφορία του σωματιδίου από το οποίο προέκυψε (δείτε για αυτό περισσότερες πληροφορίες στις οδηγίες) σε απλή μορφή κειμένου. Τα files που θα δημιουργήσετε για τις δυο περιπτώσεις θα πρέπει να είναι για γεγονότα τα οποία περιέχουν τουλάχιστον δυο φωτόνια με εγκάρσια ορμή

$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2} \geq 30 \text{ GeV}/c$. Θα πρέπει στην απάντησή σας να αναφέρετε τον αριθμό των γεγονότων που περνούν την συνθήκη αυτή.

2. Διαβάστε τα δυο files που έχετε δημιουργήσει και αναλύστε τα γεγονότα χρησιμοποιώντας ROOT. Συγκεκριμένα:

(A) Βρείτε τα φωτόνια του σήματος. Θεωρήστε ότι τα υποψήφια φωτόνια είναι αυτά που βρίσκονται στο γεγονός. Εφαρμόστε τα ακόλουθα για κάθε υποψήφιο φωτόνιο:

(i) Σφάλμα μέτρησης: Προσομοιώστε το σφάλμα στη μέτρηση του φωτονίου τόσο της ενέργειας όσο και της διεύθυνσής του (γωνίες θ και ϕ) θεωρώντας 1% Gaussian σφάλμα στην ορμή και 2mrad Gaussian σφάλμα στις γωνίες. Το Gaussian σφάλμα αντιστοιχεί

ουσιαστικά σε $\frac{\sigma_{p_T}}{p_T} = \pm 1\%$. Επομένως η τροποποιημένη για σφάλμα ορμή θα είναι:

$p'_T = p_T + r\sigma_{p_T}$ όπου p_T η τέλεια αρχική ορμή (χωρίς σφάλμα), r ο Gaussian κατανομημένος τυχαίος αριθμός και σ_{p_T} το σφάλμα της ορμής. Ανάλογα ισχύουν για την περίπτωση της γωνιών.

Θα χρειαστείτε για χρησιμοποιήσετε ένα γεννήτορα τυχαίων αριθμών που παράγει Gaussian κατανομημένους αριθμούς με κάποια μέση τιμή μ και κατάλληλο εύρος. Μπορείτε να βρείτε τέτοιο γεννήτορα στο ROOT.

(ii) Απόδοση Σκανδαλιστή Γεγονότων: Απαιτήστε τουλάχιστον 2 φωτόνια σε κάθε γεγονός τα οποία ικανοποιούν τα κριτήρια $p_T > 30 \text{ GeV}/c$ και $|\eta| \leq 2.5$ όπου $\eta = -\ln(\tan(\theta/2))$ και θ η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση κίνησης του σωματιδίου με τον +z-άξονα.

(iii) Επιλογή των δύο φωτονίων του σήματος: Απαιτήστε ότι το υποψήφιο φωτόνιο με την υψηλότερη εγκάρσια ορμή ικανοποιεί την σχέση $p_T > 40 \text{ GeV}/c$ ενώ το φωτόνιο με την δεύτερη υψηλότερη ορμή, ικανοποιεί την σχέση $p_T > 35 \text{ GeV}/c$.

Θα πρέπει να αναφέρετε τον αριθμό των γεγονότων που ικανοποιούν κάθε ένα από τα παραπάνω κριτήρια επιλογής.

(B) Βρείτε την αναλλοίωτη μάζα, $M_{\gamma\gamma}$, των δυο φωτονίων που επιλέξατε με την υψηλότερη και δεύτερη υψηλότερη εγκάρσια ορμή. Κατασκευάστε το γράφημα της κατανομής της $M_{\gamma\gamma}$ ξεχωριστά για το σήμα και το υπόβαθρο και κατόπιν μαζί (υπόβαθρο + σήμα) χρησιμοποιώντας ωστόσο την σωστή κανονικοποίηση (κάθε γεγονός θα πρέπει να αντιστοιχεί σε σωστή ποσότητα ενεργού διατομής σε fb). Τα γεγονότα δεν έχουν την ίδια πιθανότητα παραγωγής μια και η ενεργός διατομή παραγωγής τους είναι διαφορετική. Θα πρέπει δηλαδή να λάβετε υπόψη τον σωστό αριθμό γεγονότων που αναμένονται για το σήμα και τις διεργασίες υποβάθρου με βάση τις τιμές των ενεργών διατομών, $\sigma_{H \rightarrow \gamma\gamma}$ και σ_{bkg} που σας δόθηκαν.

(Γ) Προσαρμόστε την κατανομή της αναλλοίωτης μάζας, $M_{\gamma\gamma}$, του σήματος + υποβάθρου με κατάλληλη συνάρτηση (πολυώνυμο κάποιου βαθμού για το υπόβαθρο + Breit-Wigner για το σήμα) σε κατάλληλη περιοχή μάζας. Η συνάρτηση Breit-Wigner

δίνεται από την σχέση $f_{BW} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Gamma}{(m - m_0)^2 + \Gamma^2/4}$ όπου $m = M_{\gamma\gamma}$, m_0 η μέση τιμή της

μάζας στην κορυφή και Γ το εύρος του σωματιδίου. Στην προσαρμογή σας οι παράμετροι m_0 και Γ είναι παράμετροι της προσαρμογής που προσδιορίζονται από την προσαρμογή. Η συνάρτηση υπάρχει ορισμένη στο ROOT.

Χρησιμοποιήστε κατάλληλο εύρος τιμών της αναλλοίωτης μάζας και αθροίστε τις ενεργές διατομές για το σήμα και το υπόβαθρο για το επιλεγμένο εύρος. Υπολογίστε τον αριθμό των γεγονότων σήματος και υποβάθρου ($N = L\sigma$) για ολοκληρωμένη φωτεινότητα $L = 1\text{fb}^{-1}$ και $L = 30\text{fb}^{-1}$. Εκτιμήστε την στατιστική σημασία της κορυφής του σήματος για τις δυο αυτές περιπτώσεις ολοκληρωμένης φωτεινότητας με βάση την απλή υπόθεση $N^{signal}/\sqrt{N^{bkg}}$, όπου N^{signal} και N^{bkg} ο αριθμός των γεγονότων σήματος και υποβάθρου αντίστοιχα, που υπολογίσατε στην περιοχή της αναλλοίωτης μάζας.

3. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σκεφθείτε στα αποτελέσματά σας και στην προσομοίωση που κάνατε. Αν το δείγμα σας ήταν πραγματικά δεδομένα, τότε θα πρέπει να παρουσιάσετε τα αποτελέσματά σας στην διεθνή επιστημονική κοινότητα. Οπότε πραγματικά πρέπει να σκεφθείτε σοβαρά:

(Α) Αν βρήκατε στατιστική σημαντικότητα περισσότερη από 5 με προτίμηση σε Higgs μποζόνιο, είστε σε θέση να ισχυριστείτε ότι ανακαλύψατε το Higgs και επομένως μπορείτε να βγάλετε το εισιτηρίο σας για την Στοκχόλμη – Σίγουρα θα κερδίσετε το βραβείο Nobel. Βρείτε τρόπους με τους οποίους θα πείσετε την διεθνή επιστημονική κοινότητα για την ανακάλυψή σας.

(Β) Αν η στατιστική σημαντικότητα που έχετε είναι περισσότερη από 3 με προτίμηση σε Higgs μποζόνιο, τότε έχει ισχυρή ένδειξη ότι βρήκατε το Higgs. Σκεφθείτε τρόπους με τους οποίους μπορείτε να πείσετε την διεθνή επιστημονική κοινότητα για να ξοδέψει εκατομύρια ευρώ ώστε το LHC και ο ανιχνευτής CMS να συνεχίσει να συλλέγει γεγονότα για να αυξήσει την στατιστική ώστε να επικαλεστείτε ανακάλυψη του Higgs.

(Γ) Αν βρείτε μικρότερη από 3 στατιστική σημαντικότητα ή δεν μπορείτε να διαχωρίσετε το σήμα σας από το υπόβαθρο θα πρέπει να παρουσιάσετε επιχειρήματα για το λόγο που το πείραμά σας θα πρέπει να συνεχίσει να ξοδεύει χρήματα των φορολογουμένων πολιτών για να αυξήσετε την στατιστική για ανακάλυψη ή για ποιο λόγο θα πρέπει όλοι οι φυσικοί Υψηλών Ενεργειών ανά τον κόσμο να σταματήσουν να προσπαθούν να ανακαλύψουν το Higgs στο συγκεκριμένο κανάλι διάσπασης.

Επιχειρηματολογήστε για το λόγο που η επιστημονική κοινότητα θα πρέπει να πιστέψει στα αποτελέσματά σας. Μπορείτε να πείσετε τον εαυτό σας; Πως θα μπορούσατε να βελτιώσετε την μελέτη σας ώστε να την κάνετε περισσότερο ρεαλιστική.

Στείλτε όλα τα αρχεία που έχετε (εκτός από τα αρχεία των δειγμάτων που παράξατε) σε ένα .tgz file με το username σας και το ακρονύμιο project (username_project.tgz). Προσθέστε στις απαντήσεις σας ένα κείμενο που να απαντά στις ερωτήσεις του 3^{ου}

μέρους. Ο κώδικάς σας θα πρέπει να έχει αρκετά σχόλια ώστε να είναι κατανοητό το τι κάνετε από ένα 3^ο άτομο.

Στην επόμενη σελίδα θα βρείτε χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τον γεννήτορα γεγονότων PYTHIA καθώς και μερικά ακόμα πληροφορίες

Εγκατάσταση του γεννήτορα PYTHIA – (FORTRAN)

Για την εγκατάσταση του γεννήτορα MonteCarlo PYTHIA ακολουθήστε τις παρακάτω οδηγίες:

1. Δημιουργήστε έναν directory που ονομάζεται pythia6 με την εντολή `mkdir pythia6`
2. `cd pythia6`
3. Download την πιο τελευταία version του pythia6 file (6.4.28) από την επίσημη ιστοσελίδα:
`wget http://www.hepforge.org/archive/pythia6/pythia-6.4.28.f.gz --no-check-certificate`
4. `gunzip pythia-6.4.28.f.gz`.
5. Κάντε compile το file της PYTHIA δίνοντας την εντολή: (`g77` αν υπάρχει)
`gfortran -c -m64 -fPIC pythia-6.4.28.f`
Θα σας δώσει το file `pythia-6.4.28.o`
6. Κατεβάστε το file <http://www2.ucy.ac.cy/~fotis/phy347/Assign/main.f>
Το file αυτό μπορείτε να το χρησιμοποιήσετε για να περάσετε μεταβλητές στο PYTHIA. Αποτελεί ένα καλό παράδειγμα για το τι χρειάζεστε για να δημιουργήσετε τα αρχεία με τα δεδομένα σας όπως περιγράφονται στο (α) μέρος της άσκησης.
Θα πρέπει να το κάνετε compile επίσης δίνοντας την ανάλογη εντολή όπως για το PYTHIA: `gfortran -c -m64 -fPIC main.f`
Θα πάρετε ένα file με το όνομα `main.o`
7. Κάντε link τα δυο ο files για να πάρετε το executable. Για να το κάνετε αυτό δώστε την εντολή: `gfortran -g -Wall main.o pythia-6.4.28.o -o run_pythia.exe` (μια παύλα “-“)
Αν θέλετε να αλλάξετε κάτι, το μόνο που χρειάζεται να αλλάξετε είναι το `main.f` και επομένως είναι το μόνο file που πρέπει να κάνετε compile (βήμα 9). Μετά το compilation μπορείτε να κάνετε link σύμφωνα με την βήμα 10.
8. Κατεβάστε το file <http://www2.ucy.ac.cy/~fotis/phy347/Assign/play.inp> το οποίο περιέχει τις παραμέτρους για τη δημιουργία της διεργασίας $pp \rightarrow X + H^0 \rightarrow \gamma + \gamma$. Οι παράμετροι αυτοί μπορούν να περάσουν στο executable που δημιουργήσατε στο βήμα 10, δίνοντας την εντολή `./run_pythia.exe < play.inp`
Κοιτάξτε τι περιέχει το file `play.inp` ώστε να δείτε πως θα δημιουργήσετε το δείγμα των γεγονότων υποβάθρου. Αυτό που ουσιαστικά θα χρειαστείτε είναι τις διεργασίες που θα πρέπει να βάλετε στις παραμέτρους MSUB. Σημειώστε ότι οι παράμετροι που σας δόθηκαν στο file θα δημιουργήσουν 2 γεγονότα τα οποία θα γραφούν στο file `Hgaga.dat`. Σύμφωνα με το file αυτό, η πληροφορία που δίνεται για κάθε σωματίδιο είναι στην μορφή: “**Event Index PId MotherPos Px Py Pz E Mass**”.
Όπου Index είναι η θέση του σωματιδίου στην λίστα των σωματιδίων του γεγονότος, PId το Id του σωματιδίου, MotherPos η θέση της μητέρας του σωματιδίου στην λίστα

των σωματιδίων του γεγονότος, και Px, Py, Pz, E και Mass η τετραορμή και μάζα του σωματιδίου.

Η πληροφορία σχετικά με την θέση της μητέρας προστέθηκε ώστε να αποφευχθεί το πρόβλημα να κοιτάζετε το ίδιο σωματίδιο το οποίο γράφεται δυο φορές από το PYTHIA. Για παράδειγμα, στην παραγωγή και διάσπαση του Higgs σε δυο φωτόνια, η πληροφορία της διάσπασης γράφεται δυο φορές γιατί το PYTHIA γράφει κάνει διόρθωση στο κέντρο μάζας των τελικών προϊόντων της διεργασίας. Ωστόσο δεν θα θέλατε να επιλέξετε το ίδιο σωματίδιο δυο φορές. Για το λόγο αυτό θα πρέπει το σωματίδιο που ελέγχεται να έχει σαν πρόγονο το εαυτό του. Επομένως θα πρέπει να δείτε αν το id που αντιστοιχεί στη θέση της μητέρας είναι ίδιο με το id του σωματιδίου που κοιτάζετε.

Ένας διαφορετικός τρόπος θα ήταν να υπολογίσετε με βάση τις συνιστώσες της ορμής του κάθε σωματίδιο την γωνία ϕ και θ και από την γωνία θ να υπολογίσετε την ψευδο-ωκύτητά του η . Μπορείτε να βρείτε την απόσταση δυο σωματιδίων στον η - ϕ χώρο σύμφωνα με τη σχέση του ΔR που δίνεται παρακάτω και να ζητήσετε το ΔR να είναι μικρότερο από κάποια τιμή ($\Delta R < 0.1$) την οποία μπορείτε να επιλέξετε αφού κάνετε το αντίστοιχο γράφημα για να δείτε την κατανομή ΔR .

Πληροφορίες για τον γεννήτορα PYTHIA μπορείτε να βρείτε στο <https://pythia6.hepforge.org> καθώς επίσης και στο σύνδεσμο <http://home.fnal.gov/~mrenna/> όπου μπορείτε να βρείτε πληροφορίες για όλες τις μεταβλητές του Monte Carlo αν κοιτάξετε κάτω από “Theory resources/Pythia variables by name”

Θα χρειαστείτε επίσης μερικά ως προς τον κωδικό των σωματιδίων που χρησιμοποιούνται από το PYTHIA

Particle	Particle Code
H^0	25
e^\pm	± 11
μ^\pm	± 13
ν_e, ν_μ, ν_τ	12,14,16
γ	22
π^\pm	± 211
K^\pm	± 321
p^\pm	± 2212

Επίσης για τις μεταβλητές/παραμέτρους του PYTHIA οι βασικότερες είναι:

Παράμετρος	Λειτουργία
MSEL=i	Επιλογή διεργασίας σκέδασης
MSUB(i) = 1/0	Διακόπτης για ON/OFF διεργασίας i
MDME(i) = 1/0	Διακόπτης για ON/OFF διεργασίας διάσπασης i
PMAS(i) = j	Θέτει τιμή για την μάζα του σωματιδίου i σε $j \text{ GeV}/c^2$

CKIN(3)	Χαμηλότερο p _T όριο για την σκέδαση
CKIN(4)	Υψηλότερο p _T όριο για την σκέδαση

Μερικές χρήσιμες σχέσεις:

$$M_{X \rightarrow npart}^2 = \left(\sum_{i=1}^{npart} E_i \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^{npart} \vec{p}_i \right)^2$$

$$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$$

$$E^2 = p^2 + m^2$$

$$\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2} \quad \text{η απόσταση μεταξύ δυο σωματιδίων στον η-φ χώρο.}$$