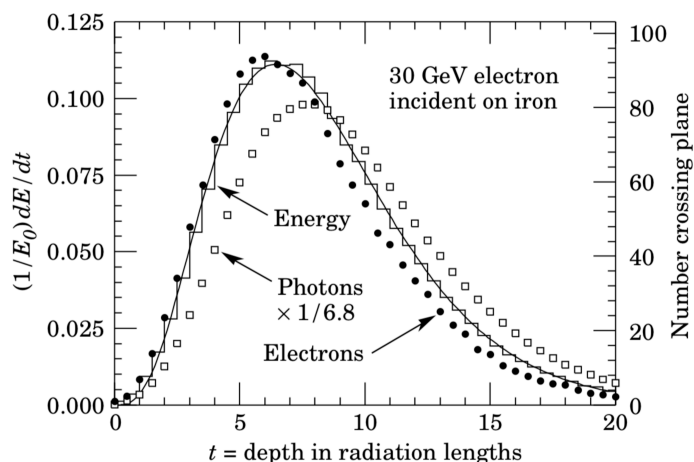


Project

Επιστροφή: 10/12/17

Για να καταλάβουμε πως δουλεύουν διάφοροι ανιχνευτές και ποια είναι η απόκρισή τους, χρησιμοποιούνται πολύπλοκες προσομοιώσεις. Οι προσομοιώσεις αυτές χρησιμοποιούν γεγονότα που δημιουργήθηκαν από Monte Carlo προσομοιώσεις κάποιας διεργασίας, και τα διαδίδουν δια μέσω ενός μοντέλου του ανιχνευτή προσομοιώνοντας τις αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων με το υλικό του ανιχνευτή και προσομοιώνουν την απόκρισή του. Το αποτέλεσμα αυτής της προσομοίωσης γράφεται με τον ίδιο τρόπο όπως τα πραγματικά δεδομένα και χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της επιδεκτικότητας και απόδοσης του πειράματος. Σωστή μοντελοποίηση της απόκρισης του ανιχνευτή προϋποθέτει και πολύ καλή καθημερινή χρήση, τα πειράματα χρησιμοποιούν ένα πολύπλοκο λογισμικό πακέτο που ονομάζεται GEANT και το οποίο προσομοιώνει την φυσική των αλληλεπιδράσεων αυτών. Στο πρόβλημα αυτό θα προσπαθήσετε να γράψετε τη δική σας προσομοίωση για ηλεκτρομαγνητικές καταιγίδες και να τη χρησιμοποιήσετε για να περιγράψετε την ανάπτυξη μιας ηλεκτρομαγνητικής καταιγίδας στο ηλεκτρομαγνητικό καλορίμετρο του ανιχνευτή CMS (ECAL). Πληροφορίες για τον ανιχνευτή αυτό μπορείτε να βρείτε στην ακόλουθη ιστοσελίδα <http://cms.cern/detector/measuring-energy/energy-electrons-and-photons-ecal>

Θα πρέπει να γράψετε ένα πρόγραμμα το οποίο προσομοιώνει την διαμήκη ανάπτυξη μιας ηλεκτρομαγνητικής καταιγίδας στο ECAL ανιχνευτή του CMS. Η καταιγίδα αυτή προκαλείται από ηλεκτρόνια ή φωτόνια τα οποία προσπίπτουν στον ανιχνευτή και διαδίδονται διαμέσω τους. Το τελικό σας αποτέλεσμα θα είναι ανάλογο με το γράφημα που φαίνεται στο διπλανό σχήμα το οποίο δείχνει την απόκριση υλικού καθώς διαπερνάται από ηλεκτρόνια. Το γράφημα είναι από το [Particle Data group](#) (εικόνα 33.20). Ο οριζόντιος άξονας του γραφήματος είναι η απόσταση σε cm από την μπροστινή επιφάνεια του ανιχνευτή και ο κατακόρυφος άξονας αντιπροσωπεύει τον μέσο αριθμό φορτισμένων σωματιδίων που περνούν ένα εγκάρσιο επίπεδο που βρίσκεται στην συγκεκριμένη απόσταση. Για να κατανοηθεί πως αναπτύσσεται η ηλεκτρομαγνητική καταιγίδα θα πρέπει να προσομοιώσετε την ανάπτυξη της καταιγίδας για διαφορετικές ενέργειες προσπίπτοντος σωματιδίου. Θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε δύο διαφορετικές ενέργειες ηλεκτρονίων, $E = 10 \text{ GeV}$ και $E = 1 \text{ GeV}$ και να συγκρίνετε την απόσταση στην οποία εμφανίζεται το μέγιστο της καταιγίδας. Την απόσταση δηλαδή



που ο αριθμός των σωματιδίων που παράχθηκαν κατά την διέλευση του ηλεκτρονίου είναι μέγιστος. Για να περιορίσουμε στατιστικές διακυμάνσεις και το σφάλμα τους θα προσομοιώσετε 10000 γεγονότα σε κάθε ενέργεια. Γεγονός στην περίπτωση αυτή θεωρείται η διέλευση ενός ηλεκτρονίου μέσω του ανιχνευτή.

Θα χρειαστεί ωστόσο να κάνετε μια σειρά από απλουστεύσεις και προσεγγίσεις στο μοντέλο σας.

(α) Θα περιγράψετε το καλορίμετρο σαν ένα ομοιόμορφο και ομοιογενή κρύσταλλο από μολυβδένιο οξύδιο του βολφραμίου (PbWO_4) πάχους 23cm. Θα υποθέσετε ότι τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν στην μπροστινή επιφάνεια του κρυστάλλου με την συγκεκριμένη ενέργεια (1 ή 10 GeV) και κάθετα στην επιφάνεια.

(β) Οι πραγματικές καταιγίδες αναπτύσσονται σε 3 διαστάσεις. Θα απλουστεύσετε το μοντέλο σας ώστε να επιτρέψετε την ανάπτυξη της καταιγίδας σε μία μόνο διάσταση αγνοώντας την εγκάρσια ανάπτυξη της καταιγίδας.

(γ) Τα ηλεκτρόνια χάνουν ενέργεια μέσω ακτινοβολίας Bremsstrahlung. Η μέση απόσταση ως προς την οποία η ενέργεια των ηλεκτρονίων έχει πέσει στο $1/e$ της αρχικής τους ενέργειας ονομάζεται μήκος ακτινοβολίας X_0 . Το φάσμα της ακτινοβολίας bremsstrahlung των εκπεμπόμενων φωτονίων παρουσιάζει κορυφή σε χαμηλές ενέργειες. Ενώ η διεργασία απώλειας ενέργειας λόγω bremsstrahlung είναι συνεχής, στην περίπτωση αυτή θα κάνετε την υπόθεση ότι η διεργασία είναι διακριτή και ότι συμβαίνει σε τυχαίες θέσεις x κατά μήκος της τροχιάς του ηλεκτρονίου. Για να απλουστεύσουμε τη διαδικασία μπορείτε να υποθέσετε ότι όποτε συμβαίνει εκπομπή ακτινοβολίας bremsstrahlung, η ενέργεια του ηλεκτρονίου χωρίζεται ισόποσα μεταξύ του του εκπεμπόμενου φωτονίου και του εκπόμενου ηλεκτρονίου. Σαν αποτέλεσμα, η απώλεια ενέργειας dE που υφίστανται τα ηλεκτρόνια σε μία απόσταση dx ακολουθεί την εξίσωση: $\frac{dE}{E/2} = -\frac{dx}{X_0/2}$. Δηλαδή, η πιθανότητα να συμβεί μία διακριτή εκπομπή

ακτινοβολίας bremsstrahlung σε απόσταση dx λαμβάνεται ότι είναι $dP = \frac{dN}{N} = -\frac{dx}{X_0}$.

(δ) Όταν φορτισμένα σωματίδια διαπερνούν υλικά μέσα, χάνουν ενέργεια λόγω ιονισμού. Η κατανομή της ενέργειας που χάνεται ανά μονάδα μήκους παρουσιάζει μια Landau κατανομή, με μέση τιμή που εξαρτάται από την ταχύτητα του προσπίπτοντος σωματιδίου. Για το μοντέλο σας θα υποθέσετε ότι η απώλεια ενέργειας ανά cm λόγω ιονισμού είναι σταθερή, με την τιμή που δίνεται από το Particle Data Group (<http://pdg.lbl.gov>, ακολουθήστε το link atomic and nuclear properties και επιλέξτε κατάλληλα από τα inorganic compounds). Εάν ένα φορτισμένο σωματίδιο (e^+ ή e^-) χάσει αρκετή ενέργεια λόγω ιονισμού για να σταματήσει στον κρύσταλλο, τότε θα απορροφηθεί από το υλικό. Στην πραγματικότητα τα σωματίδια παρουσιάζουν μια κορυφή (Bragg κορυφή) στην απώλεια ενέργειάς όταν σταματούν, αλλά θα αγνοήσετε το φαινόμενο αυτό).

(ε) Τα φωτόνια χάνουν ενέργεια μέσω διεργασίας Compton, φωτο-πυρηνικές αλληλεπιδράσεις και δίδυμη γέννεση. Για την προσομοίωσή σας θα υποθέσετε ότι η κύρια διεργασία απώλειας ενέργειας είναι αυτή της δίδυμης γέννεσης και ότι η πιθανότητα να συμβεί σε απόσταση x και $x+dx$ είναι $dP = \frac{dx}{9X_0/7}$. Θα υποθέσετε επίσης

ότι το ζεύγος e^+e^- που δημιουργείται πάντοτε μοιράζεται την ενέργεια του φωτονίου ισόποσα. Μπορείτε να κάνετε επίσης την υπόθεση ότι η μάζα των ηλεκτρονίων είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ενέργειά τους.