



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

# Ηλεκτρομαγνητική Προσομοίωση ενός Electron Beam Scanner για Μικρές Δέσμες

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΟΡΦΕΑ ΑΝΤΩΝΙΟΥ

**Επιβλέπων:** Νικόλαος Κανταρτζής  
Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2017



# Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Νικόλαο Κανταρτζή για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας. Επίσης ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Dr. Adam Jeff, επιβλέποντα καθηγητή μου στο CERN, για την καθοδήγησή του και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την καθοδήγηση και την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.



# Περίληψη

Η περίληψη θα συμπληρωθεί αργότερα. Αυτή είναι μια περίληψη άλλης εργασίας:

Ένα σύστημα ομότιμων κόμβων αποτελείται από ένα σύνολο αυτόνομων υπολογιστικών κόμβων στο Διαδίκτυο, οι οποίοι συνεργάζονται με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων. Στα συστήματα ομότιμων κόμβων που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα, η αναζήτηση πληροφορίας γίνεται με χρήση λέξεων κλειδιών. Η ανάγκη για πιο εκφραστικές λειτουργίες, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη του Σημασιολογικού Ιστού, οδήγησε στα συστήματα ομότιμων κόμβων βασισμένα σε σχήματα. Στα συστήματα αυτά κάθε κόμβος χρησιμοποιεί ένα σχήμα με βάση το οποίο οργανώνει τα τοπικά διαθέσιμα δεδομένα. Για να είναι δυνατή η αναζήτηση δεδομένων στα συστήματα αυτά υπάρχουν δύο τρόποι. Ο πρώτος είναι όλοι οι κόμβοι να χρησιμοποιούν το ίδιο σχήμα κάτι το οποίο δεν είναι ευέλικτο. Ο δεύτερος τρόπος δίνει την αυτονομία σε κάθε κόμβο να επιλέγει όποιο σχήμα θέλει και απαιτεί την ύπαρξη κανόνων αντιστοίχισης μεταξύ των σχημάτων για να μπορούν να αποτιμώνται οι ερωτήσεις. Αυτός ο τρόπος προσφέρει ευελιξία όμως δεν υποστηρίζει την αυτόματη δημιουργία και τη δυναμική ανανέωση των κανόνων, που είναι απαραίτητες για ένα σύστημα ομότιμων κόμβων.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος ομότιμων κόμβων βασισμένο σε σχήματα το οποίο (α) θα επιτρέπει μια σχετική ευελιξία στην χρήση των σχημάτων και (β) θα δίνει την δυνατότητα μετασχηματισμού ερωτήσεων χωρίς την ανάγκη διατύπωσης κανόνων αντιστοίχισης μεταξύ σχημάτων, χρησιμοποιώντας κόμβους με σχήματα RDF που αποτελούν υποσύνολα-όψεις ενός βασικού σχήματος (καθολικό σχήμα).

## Λέξεις Κλειδιά

Σύστημα ομότιμων κόμβων, Σύστημα ομότιμων κόμβων βασισμένο σε σχήματα, Σημασιολογικός Ιστός, RDF/S, RQL, Jxta



# Abstract

The Compact Linear Collider (CLIC) will use a novel acceleration scheme in which energy extracted from a very intense beam of relatively low-energy electrons (the Drive Beam) is used to accelerate a lower intensity Main Beam to very high energy. The high intensity of the Drive Beam, with pulses of more than  $10^{15}$  electrons, poses a challenge for conventional profile measurements such as wire scanners. Thus, new non-invasive profile measurements are being investigated.

One candidate is the Electron Beam Scanner. A probe beam of low-energy electrons crosses the accelerator beam perpendicularly. The probe beam is deflected by the space-charge fields of the accelerator beam. By scanning the probe beam and measuring its deflection with respect to its initial position, the transverse profile of the accelerator beam can be reconstructed.

Analytical expressions for the deflection exist in the case of long bunches, where the charge distribution can be considered constant during the measurement. In this paper we consider the performance of an electron beam scanner in an accelerator where the bunch length is much smaller than the probe-beam scanning time. In particular, the case in which the bunch length is shorter than the time taken for a particle of the probe beam to cross the main beam is difficult to model analytically. We have developed a simulation framework allowing this situation to be modelled.

## Keywords

Fill in





# Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	1
Περίληψη	3
Abstract	5
Περιεχόμενα	8
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>9</b>
1.1 Κίνητρο . . . . .	9
1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής . . . . .	9
1.3 Στόχοι της διπλωματικής . . . . .	9
1.4 Μεθοδολογία . . . . .	9
1.5 Διάρθρωση . . . . .	9
<b>2 Θεωρητικό υπόβαθρο</b>	<b>11</b>
2.1 Υπόβαθρο . . . . .	11
2.1.1 Το CERN . . . . .	11
2.1.2 Ο επιταχυντής CLIC . . . . .	12
2.2 Ο Electron Beam Scanner . . . . .	13
2.2.1 Εισαγωγή . . . . .	13
2.2.2 Σχετική βιβλιογραφία . . . . .	14
<b>3 Μέθοδοι προσομοίωσης</b>	<b>19</b>
3.1 Προσομοίωση με το CST Particle Studio . . . . .	19
3.2 Προσομοίωση με το CST Particle Studio και το MATLAB . . . . .	20
3.3 Επιρροή διάφορων μεταβλητών σε έναν Electron Beam Scanner . . . . .	20
<b>4 Αποτελέσματα προσομοίωσης</b>	<b>27</b>
<b>5 Επίλογος</b>	<b>29</b>
5.1 Συμπεράσματα . . . . .	29
5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις . . . . .	29

Βιβλιογραφία	30
Α' Μεταφράσεις Ξένων όρων	33
Β' Το μοντέλο στο CST Particle Studio	35
Γ' Ο κώδικας MATLAB	37
Κατάλογος Σχημάτων	39
Κατάλογος Πινάκων	41

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

1. about CERN
2. about CLIC

Το CERN μπλα μπλα μπλα.

Το CLIC μπλα μπλα μπλα.

Μέχρι στιγμής οι τρόποι ανίχνευσης μπλα μπλα μπλα. Μη επεμβατικοί τρόποι πρέπει να πάρουν θέση. Ένας είναι το Electron Beam Scanner. Παρόλα αυτά μικρή δέσμη στο CLIC.

### 1.1 Κίνητρο

### 1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής

Σκοπός είναι να δούμε αν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον Electron Beam Scanner για να πάρουμε την εικόνα της δέσμης του CLIC.

### 1.3 Στόχοι της διπλωματικής

### 1.4 Μεθοδολογία

### 1.5 Διάρθρωση

Η εργασία αυτή είναι οργανωμένη σε πέντε κεφάλαια: Στο Κεφάλαιο 2 δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο των βασικών τεχνολογιών που σχετίζονται με τη διπλωματική αυτή. Αρχικά περιγράφονται ..., στη συνέχεια το ... και τέλος ... . Στο Κεφάλαιο 3 αρχικά παρουσιάζεται ανάλυση και η σχεδίαση του συστήματος ... .. Τέλος στο Κεφάλαιο 5 δίνονται τα συμπεράσματα, η συνεισφορά αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς και μελλοντικές επεκτάσεις.



## Κεφάλαιο 2

# Θεωρητικό υπόβαθρο

### 2.1 Υπόβαθρο

#### 2.1.1 Το CERN

Το CERN, διατηρώντας το ακρωνύμιο της αρχικής Γαλλικής ονομασίας του “Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire”, είναι το μεγαλύτερο σε έκταση πειραματικό κέντρο πυρηνικών ερευνών και ειδικότερα επί της σωματιδιακής φυσικής στον κόσμο. Βρίσκεται δυτικά της Γενεύης, στα σύνορα Ελβετίας και Γαλλίας και ιδρύθηκε το 1954 από 12 ευρωπαϊκές χώρες. Σήμερα αριθμεί 20 κράτη-μέλη, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα, η οποία είναι και ιδρυτικό μέλος.



Σχήμα 2.1: Το λογότυπο του CERN

Η βασική λειτουργία του CERN είναι η παροχή επιταχυντών σωματιδίων και άλλων υποδομών απαραίτητων για την έρευνα στον τομέα της φυσικής υψηλών ενεργειών και ως αποτέλεσμα έχουν πραγματοποιηθεί πολυάριθμα πειράματα στο CERN μέσω διεθνών συνεργασιών.

Επίσης, το CERN αποτελεί τη γενέτειρα του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web). Στην κύρια τοποθεσία του στο Meyrin βρίσκεται μεγάλη εγκατάσταση ηλεκτρονικών υπολογιστών με ισχυρές υποδομές επεξεργασίας δεδομένων, κυρίως για την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων. Λόγω της ανάγκης να καταστούν αυτές διαθέσιμες σε εξωτερικούς ερευνητές, υπήρξε ιστορικά ένας σημαντικός κόμβος δικτύου ευρείας περιοχής (Wide Area Network).

Αρκετά σημαντικά επιτεύγματα στο πεδίο της φυσικής των σωματιδίων έγιναν μέσω πειραμάτων στο CERN. Αυτά περιλαμβάνουν:

- 1973: Ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων στο θάλαμο φυσαλίδων Gargamelle.
- 1983: Ανακάλυψη των μποζονίων  $W$  και  $Z$  στα πειράματα UA1 και UA2.
- 1995: Πρώτη δημιουργία ατόμων αντιυδρογόνου στο πείραμα PS210.
- 1999: Ανακάλυψη της άμεσης παραβίασης CP στο πείραμα NA48.
- 2010: Απομόνωση 38 ατόμων αντιυδρογόνου.
- 2011: Διατήρηση αντιυδρογόνου για πάνω από 15 λεπτά.
- 2012: Ένα μποζόνιο με μάζα περίπου  $125 \text{ GeV}/c^2$  συνάδει με τον πολυπόθητο μποζόνιο Higgs.

### 2.1.2 Ο επιταχυντής CLIC

Ο CLIC — Compact Linear Collider — αποτελεί μια μελέτη για ένα μελλοντικό επιταχυντή που θα φτάσει σε πρωτοφανή επίπεδα ενέργειας ηλεκτρόνια και αντισωματίά τους, ποζιτρόνια. Όταν θα έρχονται σε επαφή μέσω σύγκρουσης, θα αλληλοκαταστρέφονται, απελευθερώνοντας όλη τους την ενέργεια για την παραγωγή νέων σωματιδίων.

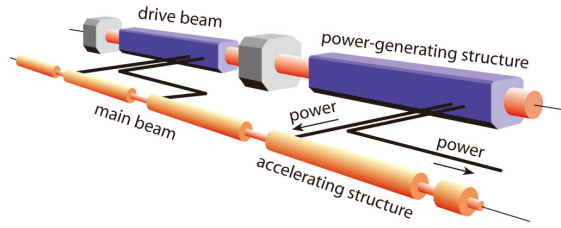
Τα ηλεκτρόνια και τα ποζιτρόνια είναι θεμελιώδη σωματίδια και οι συγκρούσεις τους μπορούν να προσφέρουν εξαιρετικά λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τους νόμους της φύσης. Έτσι ο CLIC θα προσφέρει σημαντικές θεμελιώδεις γνώσεις φυσικής, πέρα από αυτές που είναι διαθέσιμες από το Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (Large Hadron Collider — LHC) ή από ένα γραμμικό επιταχυντή ηλεκτρονίων/ποζιτρονίων χαμηλότερης ενέργειας, λόγω του μοναδικού συνδυασμού πειραματικής ακρίβειας και υψηλής ενέργειας.

Σε αυτές τις υψηλές ενέργειες, τα ηλεκτρόνια και ποζιτρόνια θα έχαναν ένα τεράστιο μέρος της ενέργειάς τους επιταχυνόμενα σε έναν κυκλικό επιταχυντή σαν τον LHC. Επομένως, τα σωματίδια πρέπει να επιταχυνθούν σε δύο γραμμικούς επιταχυντές που αντικρίζουν ο ένας τον άλλο έτσι, ώστε οι δέσμες να συγκρούονται στον κεντρικό ανιχνευτή. Αυτό συνεπάγεται ότι τα σωματίδια πρέπει να αποκτήσουν την ενέργειά τους από ένα και μόνο πέρασμα τους μέσα από τις κοιλότητες επιτάχυνσης.

Ο CLIC έχει σχεδιαστεί για να κατασκευαστεί σε στάδια αυξανόμενης ενέργειας για σύγκρουση: ξεκινώντας από  $360 \text{ GeV}$ , περίπου  $1.4 \text{ TeV}$ , και μέχρι την τελική ενέργεια των



Σχήμα 2.2: Το λογότυπο του CLIC

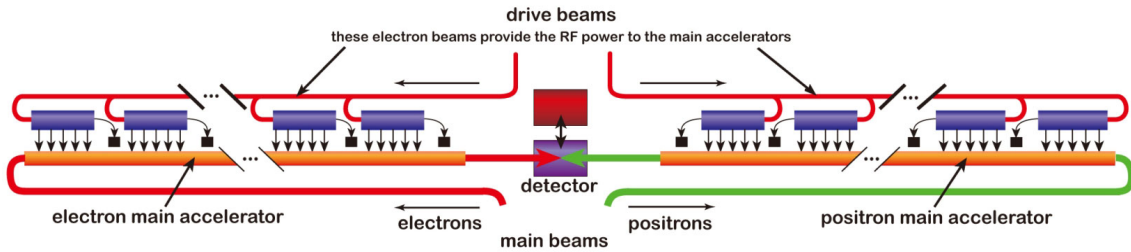


Σχήμα 2.3: Το σύστημα δύο δεσμών του CLIC

3 TeV. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η ενέργεια με ένα ρεαλιστικό και οικονομικά αποδοτικό τρόπο, η αύξηση της επιτάχυνσης πρέπει να είναι πολύ υψηλή. Ο CLIC αποσκοπεί σε επιτάχυνση των 100 MV/m, 20 φορές υψηλότερη από αυτή του LHC.

Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται μια καινοτόμα μέθοδος επιτάχυνσης, όπου εξάγεται ενέργεια από μια δέσμη πολύ μεγάλης έντασης που περιέχει σχετικά χαμηλής ενέργειας ηλεκτρόνια (Δέσμη Οδηγός) και χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση της χαμηλότερης σε ένταση Κύρια Δέσμης (Main Beam) σε πολύ μεγάλη ενέργεια.

Αυτή η Δέσμη Οδηγός (Drive Beam) επιβραδύνεται σε ειδικές Διατάξεις Εξαγωγής και Μεταφοράς Ισχύος — Power Extraction and Transfer Structures (PETS), και η παραγόμενη RF ισχύς μεταφέρεται στην κύρια δέσμη. Αυτό οδηγεί σε μια πολύ απλή διάταξη σήραγγας χωρίς ενεργά RF μέρη (δηλ. klystrons).



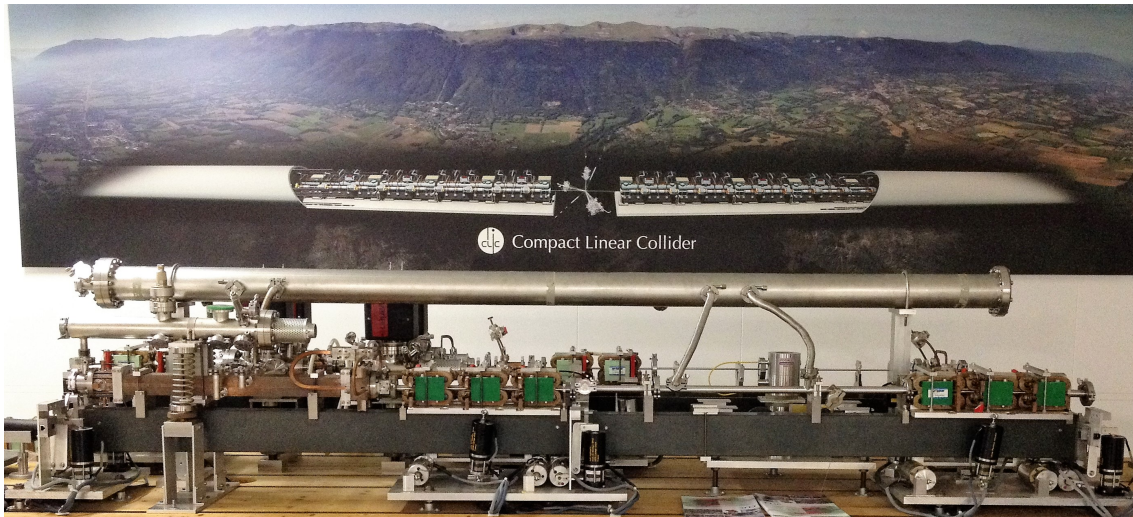
Σχήμα 2.4: Το σχεδιάγραμμα του CLIC

Ο CLIC είναι μία από τις επιλογές για έναν μελλοντική επιταχυντή κατασκευασμένο στο CERN. Η τελική απόφαση κατασκευής θα εξαρτηθεί από τα μελλοντικά αποτελέσματα του LHC.

## 2.2 O Electron Beam Scanner

### 2.2.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρεται και προηγουμένως, ο CLIC αποσκοπεί σε επιτάχυνση των 100 MV/m και χρησιμοποιεί την καινοτομία των δύο δεσμών για να πετύχει αυτό το στόχο. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο η Δέσμη Οδηγός (Drive Beam) να έχει πολύ μεγάλη ένταση, το οποίο καθιστά πρόκληση τη μέτρηση της χωρικής έντασης (προφίλ) της δέσμης αυτής. Επεμβατικές μέθοδοι, όπως για παράδειγμα το wire scanner, χρησιμοποιούνται ευρέως σε επιταχυντές.



Σχήμα 2.5: Η μακέτα του CLIC που βρίσκεται στο κτήριο δοκιμών CLIC Test Facility 3 (CTF3) του CERN

Όμως λόγω της έντασης της δέσμης θα καταστρέφονταν. Έτσι οδηγούμαστε στην αναζήτηση νέων μη επεμβατικών μεθόδων για την κάλυψη αυτού του κενού.

Μια μη επεμβατική μέθοδος που εξετάζεται είναι η μέθοδος του Electron Beam Scanner, όπου μια δέσμη ανίχνευσης (probe beam) στέλνεται κάθετα προς τη Δέσμη Οδηγό (Drive Beam). Ανιχνεύοντας τη δέσμη ανίχνευσης και μετρώντας την εκτροπή της σε σχέση με την αρχική της θέση, είναι εφικτός ο υπολογισμός του προφίλ της Δέσμης Οδηγού.

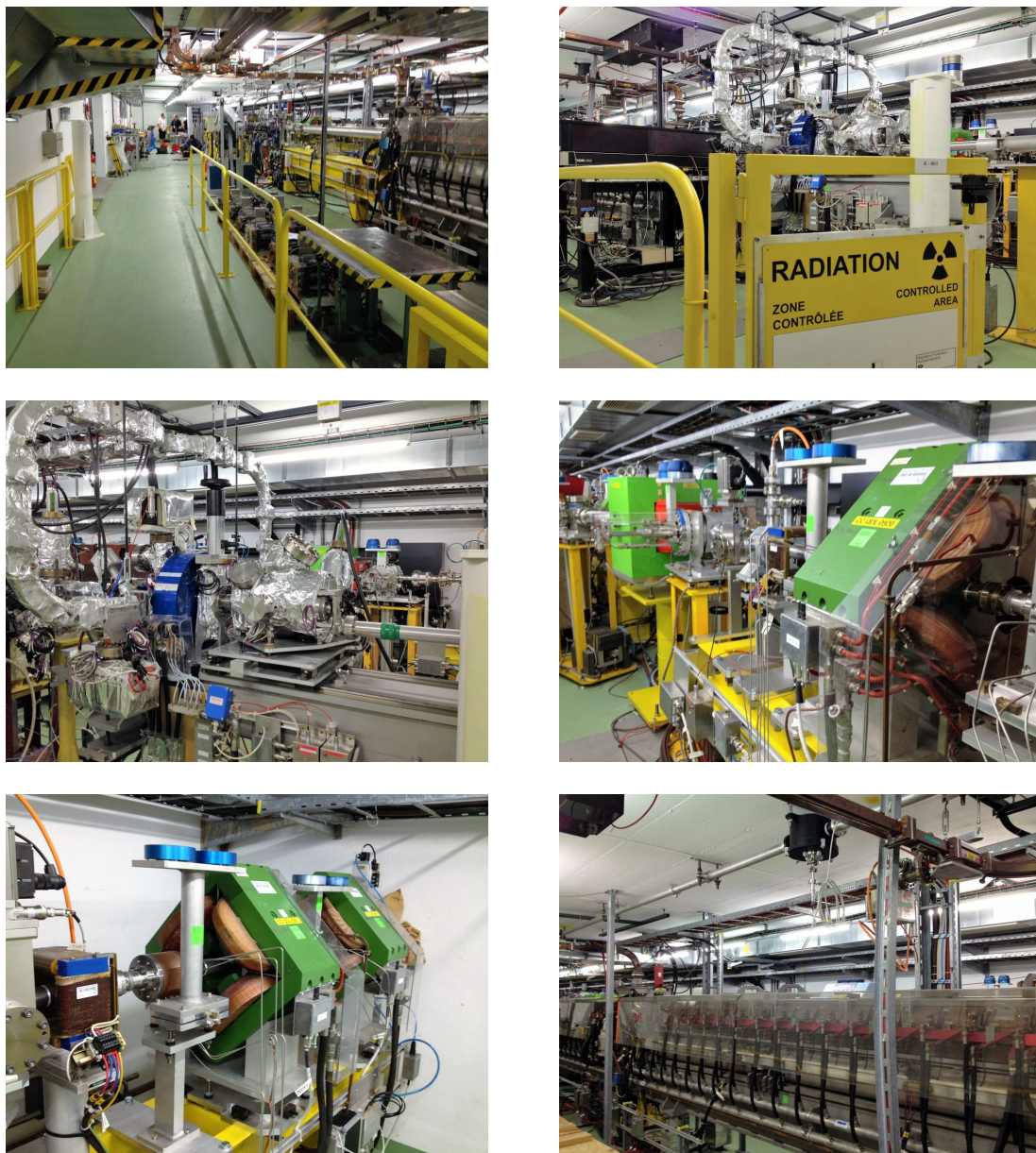
Ανιχνευτές Electron Beam Scanner έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε άλλους επιταχυντές που έχουν συνεχείς και πολύ μακριές δέσμες, όπου η κατανομή του φορτίου θεωρείται σταθερή κατά τη μέτρηση. Η Δέσμη Οδηγός του CLIC θα έχει δέσμες μήκους μόλις 12 picoseconds. Αυτό δημιουργεί πρόσθετες προκλήσεις για τη λειτουργία του Electron Beam Scanner. Στην παρούσα εργασία θα εξετάσουμε τη λειτουργία ενός Electron Beam Scanner σε επιταχυντή που το μήκος της δέσμης είναι σημαντικά μικρότερο από το χρόνο σάρωσης της δέσμης ανίχνευσης. Συγκεκριμένα, η περίπτωση όπου το μήκος της δέσμης είναι μικρότερο από το χρόνο που απαιτείται για ένα σωματίδιο της δέσμης ανίχνευσης να διασχίσει τη κύρια δέσμη είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί αναλυτικά. Δημιουργήθηκε για αυτό το σκοπό ένα περιβάλλον προσομοίωσης για να προσομοιωθεί αυτή η κατάσταση.

### 2.2.2 Σχετική βιβλιογραφία

Ακολουθώντας την αρχική έρευνα από τους Pasour και Ngo [12], ανιχνευτές Electron Beam Scanner έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την μέτρηση του εγκάρσιου προφίλ δέσμης σε διάφορους επιταχυντές, όπως τον δακτύλιο Spallation Neutron Source (SNS) στο Oak Ridge National Laboratory [2] [5] και τη δέσμη NTX στο Lawrence Berkeley National Laboratory [14]. Αυτοί οι επιταχυντές έχουν μεγάλο μήκος δέσμης εκατοντάδων nanoseconds. Έτσι, η εγκάρσια κατανομή φορτίου μπορεί να θεωρηθεί σταθερή κατά τη μέτρηση.

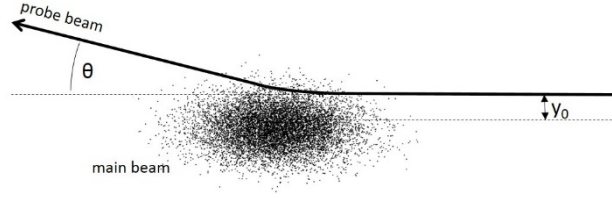
Ο Electron Beam Scanner δουλεύει μετρώντας την εκτροπή της δέσμης ανίχνευσης που





Σχήμα 2.6: Εικόνες από το CLIC Testing Facility 3 (CTF3), όπου γίνονται δοκιμές για το CLIC. Λόγω της φύσης των δοκιμών, το CTF3 θεωρείται “radiation controlled zone” και για την είσοδο κάποιου στο χώρο απαιτείται να έχει περάσει 7-ωρη εκπαίδευση (radiation training) και να φέρει ειδικό δοσίμετρο κατά την επίσκεψη

αποτελείται από χαμηλής ενέργειας ηλεκτρόνια, καθώς αυτά διαπερνούν κάθετα την κύρια δέσμη (Σχήμα 2.7). Για την απεικόνιση επιλέξαμε σε αυτή την εργασία ότι μετράμε το εγκάρσιο προφίλ, και ότι η δέσμη οδηγός ταξιδεύει οριζοντίως. Φυσικά, το προφίλ μπορεί να μετρηθεί σε κάθε άξονα στρέφοντας τη διάταξη.



Σχήμα 2.7: Εκτροπή δέσμης ανίχνευσης από την μετρούμενη δέσμη

Η γωνία απόκλισης  $\theta$  της δέσμης οδηγού μετράται για διαφορετικές τιμές ύψους  $y_0$ , και το προφίλ της κύριας δέσμης  $\delta(y)$  είναι ανάλογο του διαφορικού [5]

$$\frac{d|\theta|}{dy_0} \propto \delta(y) \quad (2.1)$$

Η σταθερά αναλογίας εξαρτάται από την ενέργεια της δέσμης ανίχνευσης. Εδώ έχουν γίνει οι εξής απλοποιητικές υποθέσεις:

1. Η απόκλιση είναι μικρή
2. Η μεταβολή ενέργειας της δέσμης ανίχνευσης είναι αμελητέα
3. Η επίδραση του μαγνητικού πεδίου της κύριας δέσμης είναι πολύ μικρότερη από αυτή του ηλεκτρικού πεδίου

Για να μετρηθεί η γωνία απόκλισης για διαφορετικά  $y_0$  σε μία εικόνα, σαρώνεται διαγώνια η αρχική θέση της δέσμης οδηγού.

Ένας Electron Beam Scanner έχει επίσης χρησιμοποιηθεί στο Budker Institute for Nuclear Physics για τη μέτρηση πολύ κοντύτερων δεσμών στον επιταχυντή VEPP-5 [11], με μήκος δέσμης της τάξης μεγέθους του 1 ns. Σε αυτή την περίπτωση η εγκάρσια κατανομή φορτίου μεταβάλλεται κατά τη μέτρηση. Έτσι, όχι μόνο η απόκλιση της δέσμης στην κάθετη διεύθυνση δεν είναι σταθερή, αλλά υπάρχει και πρόσθετη απόκλιση κατά μήκος του άξονα της δέσμης του επιταχυντή, λόγω του κατά μήκος διαφορικού του φορτίου.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, μια (μη σαρωμένη) δέσμη ανίχνευσης αποκλίνει έτσι, ώστε να το ίχνος να αφήνει μια έλλειψη στην οθόνη κάθε φορά που περνά μια δέσμη. Ο λόγος των αξόνων της έλλειψης καθορίζεται από το μήκος της δέσμης και το φορτίο. Ολόκληρο το διαμήκες προφίλ μπορεί να υπολογιστεί μετρώντας την ένταση της δέσμης ανίχνευσης γύρω από την έλλειψη [10]. Μετρώντας έναν αριθμό ελλείψεων με διαφορετικές αρχικές θέσεις δίνεται το εγκάρσιο προφίλ, παίρνοντας τη μέγιστη απόκλιση κάθε έλλειψης και εφαρμόζοντας τη σχέση 2.1. Έτσι μπορούμε να μετρήσουμε το διαμήκες και το εγκάρσιο προφίλ με μία μόνο συσκευή.

Στην παρούσα εργασία θα εξετάσουμε τη λειτουργία ενός Electron Beam Scanner σε επιταχυντή που το μήκος της δέσμης είναι σημαντικά μικρότερο από το χρόνο σάρωσης της δέσμης ανίχνευσης. Συγκεκριμένα, η περίπτωση όπου το μήκος της δέσμης είναι μικρότερο από το χρόνο που απαιτείται για ένα σωματίδιο της δέσμης ανίχνευσης να διασχίσει τη κύρια δέσμη είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί αναλυτικά. Η πλήρωση αυτής της συνθήκης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως την ενέργεια της δέσμης ανίχνευσης και το μέγεθος της μετρούμενης δέσμης, αλλά μπορεί να ειπωθεί κατά προσέγγιση ότι εφαρμόζεται σε δέσμες με μήκος μικρότερο των 100 ps.

Ένα παράδειγμα τέτοιας δέσμης είναι ο προτεινόμενος επιταχυντής Compact Linear Collider (CLIC). Η δέσμη οδηγός του CLIC θα επιταχύνει μια δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής έντασης έως τα 2.4 GeV [1]. Ο επιταχυντής της δέσμης οδηγού θα είναι γραμμικός επιταχυντής των 1 GHz. Θα εισάγεται σε εναλλασσόμενα δοχεία, δίνοντας κενό μεταξύ των δεσμών (bunch spacing) 2 ns. Στο τέλος του γραμμικού επιταχυντή, θα χρησιμοποιείται ένα σύστημα πολλαπλασιασμού συχνότητας [4] για να μειώσει το κενό μεταξύ των δεσμών στα 0.083 ns, πολλαπλασιάζοντας έτσι το ρεύμα κατά 24 και μειώνοντας το μήκος του παλμού κατά τον ίδιο συντελεστή. Έπειτα, η ενέργεια της δέσμης οδηγού θα μεταφέρεται στην κύρια δέσμη με τη χρήση ειδικά σχεδιασμένων συζευγμένων κοιλοτήτων που επιτρέπουν την επιτάχυνση με ρυθμό που φτάνει πάνω από 100 MV/m [7].

Bunch population	$5 \times 10^{10} e^-$
Transverse Emittance	100 nm rad
Bunch length / spacing	13 ps / 2 ns
Pulse length	140 ps
Pulse Population	$3 \times 10^{15} e^-$
Repetition Frequency	50 Hz

Πίνακας 2.1: Σχετικές παράμετροι για την Δέσμη Οδηγό του επιταχυντή CLIC [1]

Το εγκάρσιο προφίλ της δέσμης θα πρέπει να μετράται σε διάφορα σημεία κατά μήκος του γραμμικού επιταχυντή, και μη επεμβατικοί μετρητές προφίλ αναπτύσσονται για αυτό το σκοπό. Οι μετρητές πρέπει να έχουν ανάλυση 100 μm ή καλύτερη, ώστε να μετράει το ελάχιστο μέγεθος ακτίνας κατά τη διάρκεια quad scans. Επεμβατικές μέθοδοι, όπως οθόνες OTR (Optical Transition Radiation) μπορούν να εγκατασταθούν παράλληλα για βαθμονόμηση, αλλά για χρήση μόνο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας με μειωμένο μήκος παλμών.

$$\theta_y(x) = \frac{2\rho r_e}{\beta} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{n(z) dz}{\rho^2 + (x + \beta z)^2} \quad (2.2)$$

$$\theta_z(x) = 2r_e \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(x + \beta z)n(z) dz}{\rho^2 + (x + \beta z)^2} \quad (2.3)$$



## Κεφάλαιο 3

# Μέθοδοι προσομοίωσης

Κεφάλαια 3 και 4

- Αποτέλεσμα και σχόλια
- Περιγραφή του CST Particle Studio
- Screenshots

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η υλοποίηση του συστήματος, με βάση τη μελέτη που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αρχικά παρουσιάζεται η πλατφόρμα και τα προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν. Στη συνέχεια δίνονται οι λεπτομέρειες υλοποίησης για τους βασικούς αλγορίθμους του συστήματος καθώς και η δομή του κώδικα.

1. Directory “Static beam”. Από [10] έχουμε τις σχέσεις

$$\theta_y(x) = \frac{2\rho r_e}{\beta} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{n(z) \, dz}{\rho^2 + (x + \beta z)^2} \quad (3.1)$$

$$\theta_z(x) = 2r_e \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(x + \beta z)n(z) \, dz}{\rho^2 + (x + \beta z)^2} \quad (3.2)$$

Αυτά τα κάνουμε plot και είδαμε πώς επηρεάζονται από

- bunch intensity
- bunch length
- Y-offset ( $\rho$ )
- probe beam voltage

### 3.1 Προσομοίωση με το CST Particle Studio

Το CST Particle Studio μπλα μπλα μπλα.

### 3.2 Προσομοίωση με το CST Particle Studio και το MATLAB

### 3.3 Επιρροή διάφορων μεταβλητών σε έναν Electron Beam Scanner

Όπως περιγράφεται και Από [10] έχουμε τις σχέσεις

The thin probe beam moves along  $X$  axis, is orthogonal to the direction of the relativistic bunch motion ( $Z$  axis) with the offset parameter  $\rho$  (Fig.1). The results of scanning are monitored on the screen parallel to the  $Y - Z$  plane and positioned at the distance  $L$  from  $Z$  axis. Let the center of the relativistic bunch is located at the origin at time  $t = 0$  whereas the testing beam has the uniform density along  $X$  and the diameter  $d \ll \rho$ . Here, we assume  $\rho$  exceeds the typical transverse size of the relativistic bunch. At the time  $t = 0$  every testing beam particle is corresponded to the certain  $x$ -coordinate. The total deflecting angle in  $Y$  direction for every particle under the influence of the electric field of the relativistic bunch can be expressed as:

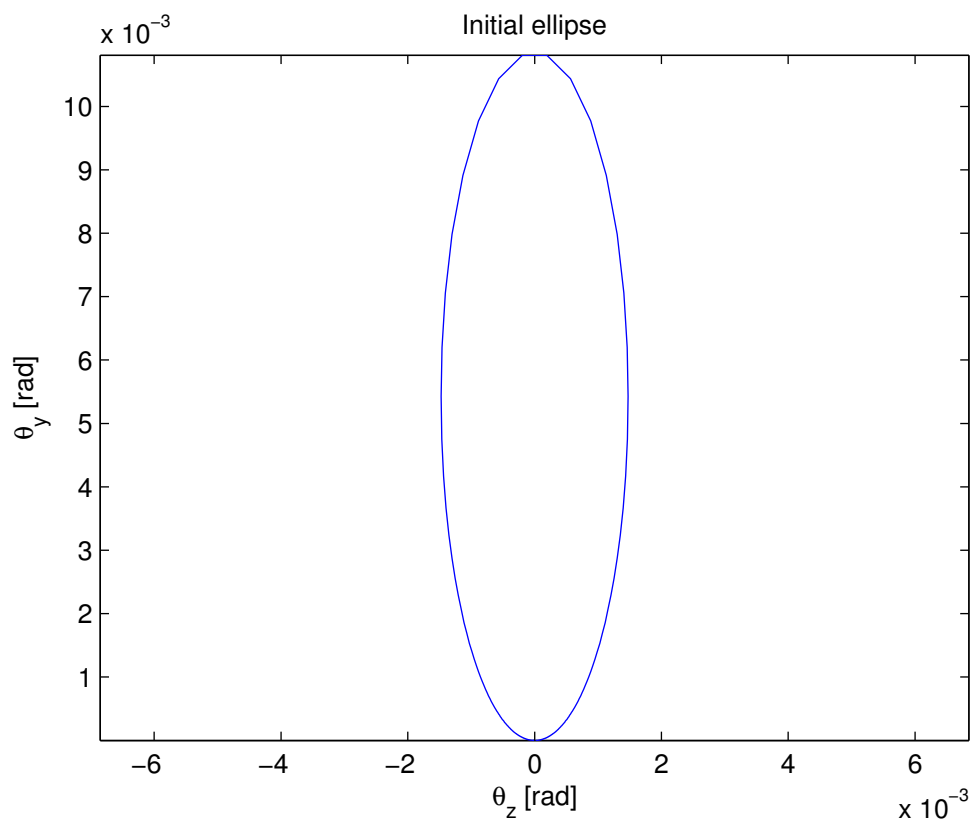
$$\theta_y(x) = \frac{2\rho r_e}{\beta} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{n(z) dz}{\rho^2 + (x + \beta z)^2} \quad (3.3)$$

ωηερε  $r_e$  ις τηε ελασσικαλ ελεετρον ραδιυς,  $\beta = v_t/c$  - τηε ρελατιε ελοειτιψ οφ τηε τεεστινγ βεαμ,  $c$  - τηε ελοειτιψ οφ λιγητ,  $x$  - τηε εοορδινατε οφ τεεστινγ βεαμ παρτιελε ατ  $t = 0$ ,  $n(z)$  - τηε ρελατιυετιε βυνεη λινεαρ δενσιτιψ αλονγ  $Z$  αξις. Τηε εεπρεεεειον φορ τηε δεφλεεεετινγ ανγλε οφ τηε παρτιελε ιν  $Z$  διρεεεετιον δυε το μαγνετιε φιελδ εαν βε ωριιτεν αε:

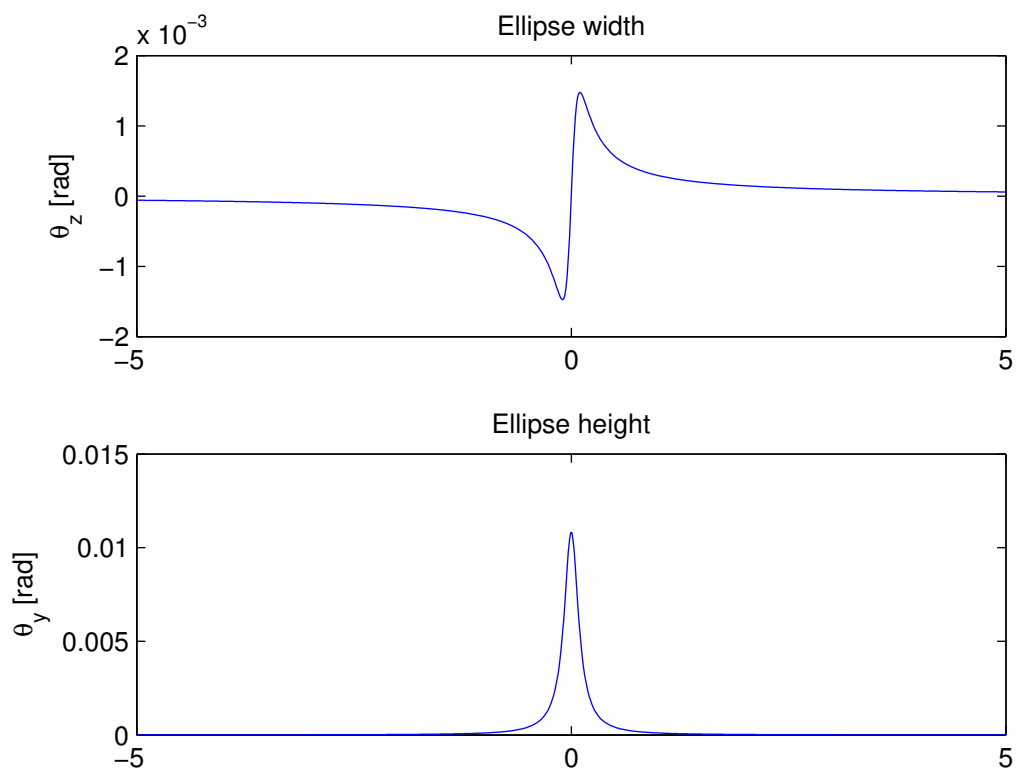
$$\theta_z(x) = 2r_e \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(x + \beta z)n(z) dz}{\rho^2 + (x + \beta z)^2} \quad (3.4)$$

Αυτά τα κάνουμε plot και είδαμε πώς επηρεάζονται από

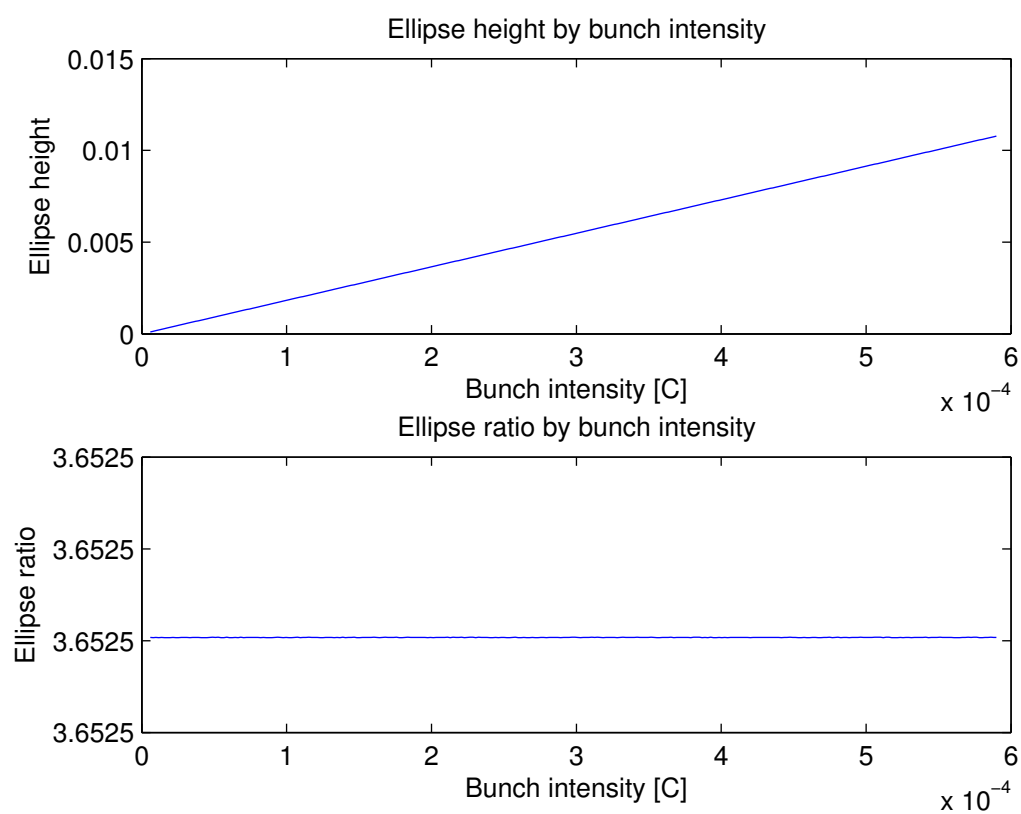
- bunch intensity
- bunch length
- Y-offset ( $\rho$ )
- probe beam voltage



Σχήμα 3.1: beam deflection script 01 initial ellipse

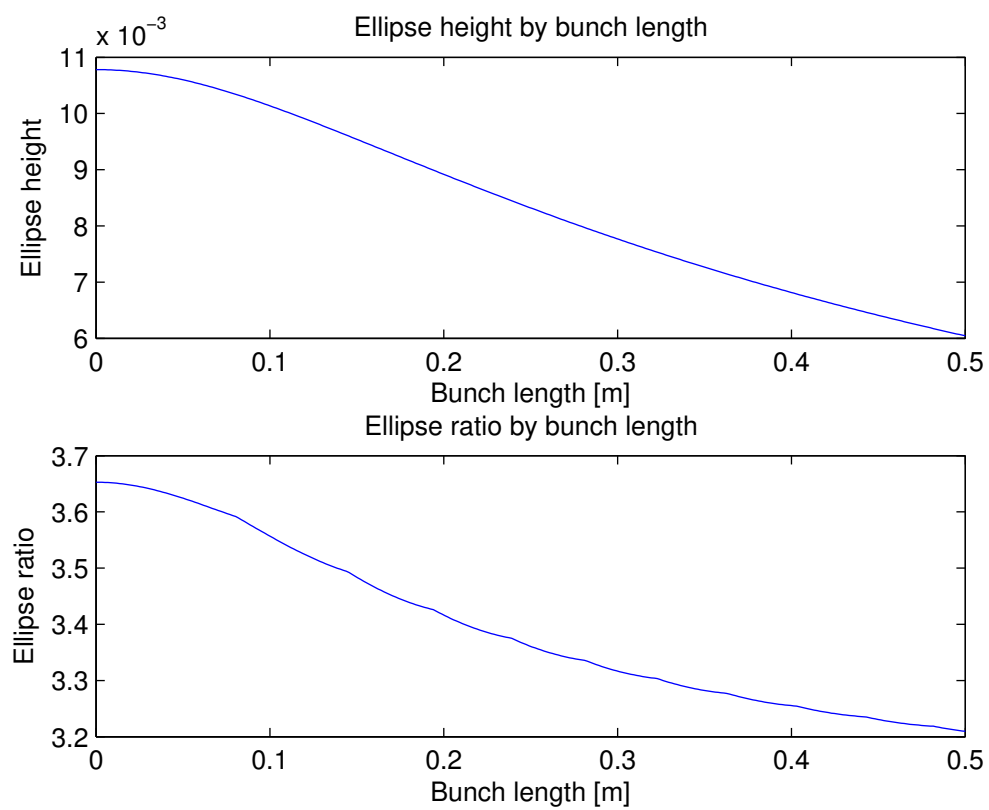


Σχήμα 3.2: beam deflection script 02 ellipse width

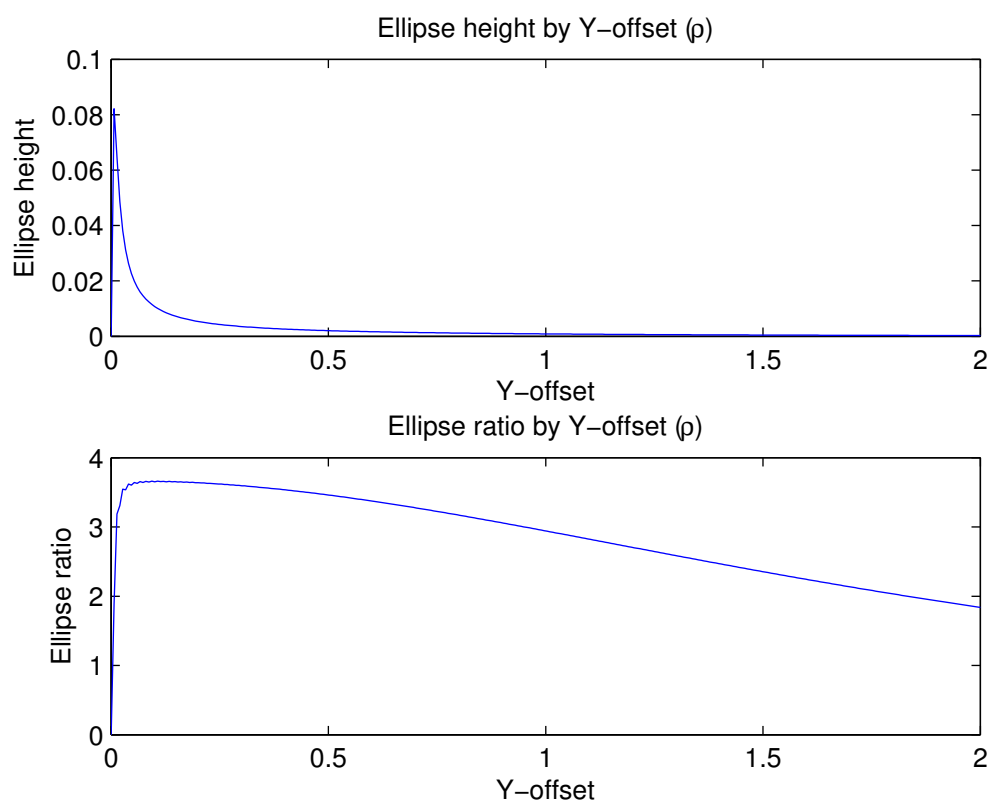


Σχήμα 3.3: beam deflection script 03 ellipse height

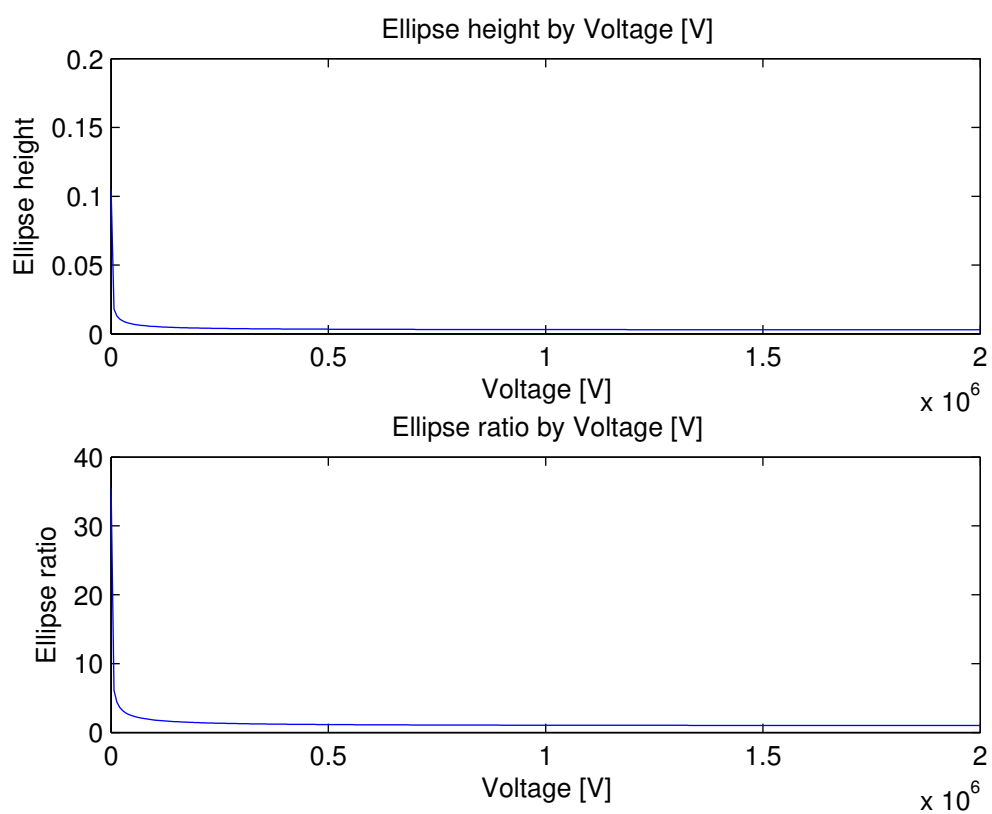




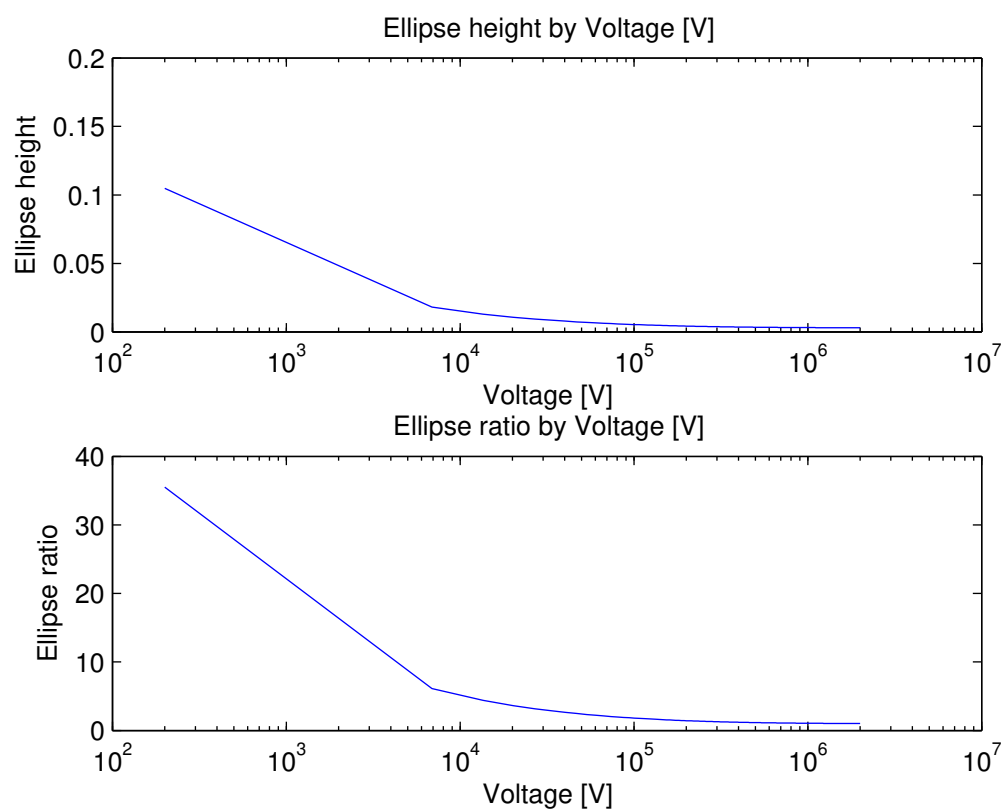
Σχήμα 3.4: beam deflection script 04 ellipse height by bunch intensity



Σχήμα 3.5: beam deflection script 05 ellipse ratio by bunch intensity



Σχήμα 3.6: beam deflection script 06



Σχήμα 3.7: beam deflection script 07

## Κεφάλαιο 4

# Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στο κεφάλαιο αυτό δεν περιγράφεται κάτι (ακόμα)

Some examples illustrating the dependence on bunch intensity, bunch length and transverse size, plus at least on example from the multi-bunch simulations.



## Κεφάλαιο 5

# Επίλογος

### 5.1 Συμπεράσματα

Συμπεράσματα κλπ

### 5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Το σύστημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να βελτιωθεί και να επεκταθεί περαιτέρω, τουλάχιστον ως προς τρεις κατευθύνσεις. Συγκεκριμένα, αναφέρονται τα ακόλουθα:

- Ένα
- Δύο
- Τρία





# Βιβλιογραφία

- [1] M Aicheler, P Burrows, M Draper, T Garvey, P Lebrun, K Peach, N Phinney, H Schmickler, D Schulte και N Toge, επιμελητές. *A Multi-TeV linear collider based on CLIC technology: CLIC Conceptual Design Report*. CERN, Geneva, 2012.
- [2] A Aleksandrov, S Assadi, S Cousineau, V Danilov, S Henderson, M Plum, P Logatchov και A Starostenko. Feasibility study of using an electron beam for profile measurements in the SNS accumulator ring. Στο *Proc. PAC*, σελίδες 2586–2588, Knoxville, 2005.
- [3] S Baird. *Accelerators for Pedestrians*. CERN, Geneva, 2007.
- [4] C Biscari, D Alesini, A Ghigo, F Marcellini και B Jeanneret. CLIC drive beam frequency multiplication system design. Στο *Proc. PAC*, σελίδες 2673–2675, Vancouver, 2009.
- [5] W Blokland, S Aleksandrov, S Cousineau, D Malyutin και S Starostenko. Electron scanner for SNS ring profile measurements. Στο *Proc. DIPAC*, σελίδες 155–157, Basel, 2009.
- [6] J Bosser, C Dimopoulou, A Feschenko και R Maccaferri. Transverse profile monitor using ion probe beams. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A484(1-3):1–16, 2002.
- [7] A Degiovanni, S Doebert, W Farabolini, A Grudiev, J Kovermann, E Montesinos, G Riddone, I Syratchev, R Wegner, W Wuensch, A Solodko και B Woolley. High-gradient test results from a CLIC prototype accelerating structure: TD26CC. Στο *Proc. IPAC*, σελίδες 2285–2287, Dresden, 2014.
- [8] V Dudnikov και A Aleksandrov. Ribbon electron beam profile monitor for bunched beam tomography. Στο *Proc. IPAC*, σελίδες 472–474, New Orleans, 2012.
- [9] P Gross, R Dölling, T Weis, H Klein, J Pozimski και J Wiegand. An electron beam probe for ion beam diagnosis. Στο *Proc. EPAC*, σελίδες 806–808, Nice, 1990.
- [10] P V Logatchov, P A Bak, A A Starostenko, N S Dikansky, V S Tupikov, K V Gubin, V M Mishnev, M B Korabelnikov και M G Fedotov. Non-destructive singlepass monitor

- of longitudinal charge distribution in an ultrarelativistic electron bunch. Στο *Proc. PAC*, σελίδες 2167–2169, New York, 1999.
- [11] P V Logatchov, D A Malyutin και A A Starostenko. Low energy electron beam as a nondestructive diagnostic tool for high power beams. Στο *Proc. RuPAC*, σελίδες 40–42, Novosibirsk, 2006.
- [12] J A Pasour και M T Ngo. Nonperturbing electron beam probe to diagnose charged-particle beams. *Review of Scientific Instruments*, 63(5):3027–3039, 1992.
- [13] J A Pasour και M T Ngo. Ion probe for beam position and profile measurement. Στο *Proc. AIP*, τόμος 333, σελίδες 377–383, 1995.
- [14] P K Roy, S S Yu, E Henestroza, S Eylon, D B Shuman, J Ludvig, F M Bieniosek, W L Waldron, W G Greenway, D L Vanecek, R Hannink και M Amezcua. Electron-beam diagnostic for space-charge measurement of an ion beam. *Review of Scientific Instruments*, 76, 2005.
- [15] V Shestak, C J Kost, R Burge, D B Steski και S Kornak. Electron beam probe for ion beam diagnostics. Τεχνική Αναφορά υπ. αριθμ., TRIUMF TRI-DN-87-36, Vancouver, 1987.
- [16] A A Starostenko, P A Bak, Y A Gusev, N S Dikansky, P V Logatchov και A R Frolov. Non-destructive singlepass bunch length monitor: experiments at VEPP-5 preinjector electron linac. Στο *Proc. EPAC*, σελίδες 1720–1722, Vienna, 2000.
- [17] R Thurman-Keup, JCT Thangaraj, W Blokland, AH Lumpkin, AS Johnson και D Zhang. Initial characterization of a commercial electron gun for profiling high intensity proton beams in project X. Στο *Proc. PAC*, σελίδες 525–527, 2011.
- [18] S Tsujino και H H Braun. Electron fork: noninvasive beam size monitor based on field emitter array. Τεχνική Αναφορά υπ. αριθμ., PSI, Villigen, 2012.
- [19] E Tsyganov, R Meinke, W Nexsen, S Kauffmann, A Zinchenko και A Taratin. Electron beam emittance monitor for the SSC. Στο *Proc. PAC*, σελίδες 2489–2491, Washington D.C., 1993.

## Παράρτημα Α΄

### Μεταφράσεις Ξένων όρων

#### Μετάφραση

δέσμη – οδηγός

επιταχυντής

μεγάλος επιταχυντής αδρονίων

δέσμη ανίχνευσης

προφίλ (χωρική ένταση) δέσμης

κύρια δέσμη

εγκάρσιο προφίλ δέσμης

διαμήκες προφίλ δέσμης

#### Αγγλικός όρος

drive beam

accelerator

Large Hadron Collider (LHC)

probe beam

beam profile

Main Beam

transverse beam profile

longitudinal beam profile



Παράρτημα Β΄

## Το μοντέλο στο CST Particle Studio



## Παράρτημα Γ΄

# Ο κώδικας MATLAB

Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα κώδικα





# Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Το λογότυπο του CERN . . . . .	11
2.2	Το λογότυπο του CLIC . . . . .	12
2.3	Το σύστημα δύο δεσμών του CLIC . . . . .	13
2.4	Το σχεδιάγραμμα του CLIC . . . . .	13
2.5	Η μακέτα του CLIC . . . . .	14
2.6	Εικόνες από το CLIC Testing Facility 3 . . . . .	15
2.7	Εκτροπή δέσμης ανίχνευσης από την μετρούμενη δέσμη . . . . .	16
3.1	beam deflection script 01 initial ellipse . . . . .	21
3.2	beam deflection script 02 ellipse width . . . . .	21
3.3	beam deflection script 03 ellipse height . . . . .	22
3.4	beam deflection script 04 ellipse height by bunch intensity . . . . .	23
3.5	beam deflection script 05 ellipse ratio by bunch intensity . . . . .	24
3.6	beam deflection script 06 . . . . .	25
3.7	beam deflection script 07 . . . . .	26



# Κατάλογος Πινάκων

2.1	Σχετικές παράμετροι για την Δέσμη Οδηγό του επιταχυντή CLIC . . . . .	17
-----	---	----



