

# **Τ.Ε.Ι. - Πάτρας**

Τμήμα: Ηλεκτρολογίας

## **Πτυχιακή Εργασία**

Αριθμός: 355

**"Επίδραση της ακτίνας καμπυλότητας  
στη τάση διάσπασης διακένων  
σφαίρας - πλάκας"**

**Εισηγητές :**  
Ε. Πυργιώτη

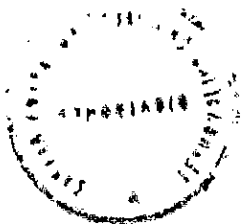
**Σπουδαστές :**  
Αγγελή Ιωάννα  
Κάππα Χριστίνα

Πάτρα - Σ.97



ΑΡΙΘΜΟΣ  
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

2944



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι ηλεκτρικές καταπονήσεις που προκαλούνται μεταξύ δύο φορέων τάσης ή μεταξύ φορέα και γης είναι ένα σημαντικό πρόβλημα που αναδύεται σε κάθε ηλεκτρικό σύστημα. Για να αποφύγουμε τα βραχυκυκλώματα παρεμβάλλουμε ειδικά υλικά που έχουν την ιδιότητα να μην άγουν τον ηλεκτρισμό. Ένα από αυτά τα υλικά είναι και ο ατμοσφαιρικός αέρας.

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με ιδιότητες του αέρα σαν μονωτικό και θα προσπαθήσουμε να οριοθετήσουμε το πρόβλημα με την βοήθεια της στατιστικής επεξεργασίας των πειραματικών αποτελεσμάτων.

Σκοπός μας είναι να μελετήσουμε την πιθανότητα διάσπασης ενός διακένου σφαίρας- πλάκας με παράμετρο την ακτίνα της σφαίρας.

## **Περιεχόμενα**

### **Κεφάλαιο 1**

#### **Εισαγωγή**

### **Κεφάλαιο 2**

#### **Διηλεκτρική αντοχή του ατμοσφαιρικού αέρα.**

2.1. Γενικά περί διηλεκτρικής αντοχής των μονώσεων.

2.2. Συμπεριφορά του αέρα σαν μονωτικού.

2.3. Η συμπεριφορά των μορίων του αέρα όταν δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο.

2.4. Η συμπεριφορά των μορίων του αέρα όταν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο.

2.4.1. Ο συντελεστής ιονισμού με κρούσεις ηλεκτρονίων.

2.4.2. Η ηλεκτρονική στοιβάδα.

2.4.3. Η διάσπαση στο ομοιογενές πεδίο.

2.4.3.1. Η αυτοσυντηρούμενη εκκένωση.

2.4.3.2. Η άποψη του Townsend για το μετασχηματισμό σε αυτοσυντηρούμενη εκκένωση.

2.4.3.3. Ο νόμος του Paschen.

2.4.3.4. Ο μηχανισμός διασπάσεων με σχηματισμό οχητών.

2.4.4. Η διάσπαση στο ανομοιογενές πεδίο.

2.4.4.1. Η διάσπαση στο ανομοιογενές πεδίο υπό θετική πολικότητα.

2.4.4.2. Η διάσπαση στο ανομοιογενές πεδίο υπό αρνητική πολικότητα.

2.5. Τάση διασπάσεως διακένων ράβδου - πλάκας.

2.6. Εξάρτηση της κρουστικής τάσεως διασπάσεως του αέρα από τη γεωμετρία του διακένου.

### **Κεφάλαιο 3**

#### **Στατιστική ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων.**

3.1. Χρήσιμα στοιχεία πιθανοθεωρίας.

3.2. Κατανομή της πιθανότητας διάσπασης με κρουστικές τάσεις.

3.3. Καθορισμός της αντιπροσωπευτικότερης κανονικής κατανομής μιας σειράς πειραματικών αποτελεσμάτων.

- 3.3.1. Απλή γραφική μέθοδος.
- 3.3.2. Μέθοδος γραμμικής παρεμβολής.
- 3.3.3. Μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας.
- 3.3.3.1. Υπολογισμός της διασποράς.

#### **Κεφάλαιο 4**

#### **Πειραματική διαδικασία και διορθώσεις λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών.**

- 4.1. Εργαστηριακές δοκιμές σε διάκενο σφαίρας - πλάκας.
- 4.2. Περιγραφή πειραματικής διάταξης.
- 4.3. Περιγραφή πειράματος.
- 4.4. Διόρθωση πειραματικών τιμών της τάσης διάσπασης λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών.
- 4.5. Σχολίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

## Κεφάλαιο 1ο

### Εισαγωγή

Η χρησιμοποίηση του ηλεκτρισμού σαν (δευτερογενή) μορφή ενέργειας είναι σήμερα ευρύτατη, με συνέπεια και οι κλάδοι της ανθρώπινης δραστηριότητας που σχετίζονται με την ηλεκτρική βιομηχανία να είναι πολλοί, είτε αφορούν στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από πρωτογενείς μορφές, είτε στη μεταφορά και διανομής της από τους τόπους παραγωγής στους τόπους κατανάλωσής της, είτε στη χρησιμοποίησή της με την τεράστια ποικιλία ηλεκτρικών συσκευών που είναι σε όλους μας οικείες.

Μια κατηγορία προβλημάτων που προκύπτουν στην προσπάθειά μας να εκμεταλευτούμε τον ηλεκτρισμό, αφορούν στην αντιμετώπιση των υψηλών ηλεκτρικών τάσεων που υφίστανται ανάμεσα στα στοιχεία των ηλεκτρικών συσκευών και εγκαταστάσεων, ή στα στοιχεία αυτά και τη γη, και μελετούνται από τον τομέα των υψηλών τάσεων.

Για να εκπληρώσει τον προορισμό του κάποιο στοιχείο ενός ηλεκτρικού συστήματος, θα πρέπει να υφίσταται την τάση που του επιβάλλεται στη διάρκεια της λειτουργίας του, χωρίς να συμβαίνει η ηλεκτρική διάσπαση μεταξύ του στοιχείου αυτού και των γειτονικών του, ή προς τη γη. Η ηλεκτρική διάσπαση παρεμποδίζεται σε ένα σύστημα μέσω της μονώσεως των στοιχείων του. Η μόνωση επιτυγχάνεται με την παρεμβολή ανάμεσα στα υπό τάση στοιχεία, ενός μονωτικού, δηλαδή μη αγωγίμου υλικού, όπως το λάδι, χαρτί, ξύλο, κάποιο αέριο, ή το πιο διαδεδομένο, τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Από τα παραπάνω γίνεται προφανές ότι οι παράμετροι που μας ενδιαφέρουν και υπεισέρχονται στον τομέα των υψηλών τάσεων είναι δύο :

- Οι ηλεκτρικές καταπονήσεις που προκύπτουν κατά τη λειτουργία μιας εγκατάστασης και είναι η αιτία των ηλεκτρικών διασπάσεων, αφού λόγω αυτών δημιουργούνται τα ηλεκτρικά πεδία.
- Η συμπεριφορά των μονωτικών υλικών που καλούνται να προλάβουν τις ηλεκτρικές διασπάσεις σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση.

Σκοπός μας είναι, με συνδιασμό των δύο παραμέτρων να πετύχουμε μια τέτοια σχεδίαση και κατασκευή της μόνωσης ενός συστήματος, ώστε να αποτραπούν εντελώς οι ηλεκτρικές διασπάσεις και τα συνεπαγόμενα, καταστρεπτικά για το σύστημά μας αποτελέσματα. Ασφαλώς θα μπορούσαμε να κατασκευάσουμε μονώσεις τόσο ισχυρές, ώστε υπό οποιοσδήποτε συνθήκες να είναι σχεδόν αδύνατο να συμβεί ηλεκτρική διάσπαση. Το αποτέλεσμα όμως θα ήταν οικονομικά ασύμφορο και πιθανά αισθητικά ακαλαίσθητο.

Για το λόγο αυτό προσπαθούμε να σχεδιάσουμε μονώσεις για συγκεκριμένες συσκευές και εγκαταστάσεις, που να ανταποκρίνονται στις συγκεκριμένες ηλεκτρικές καταπονήσεις που προβλέπουμε ότι θα χρειαστεί να αντιμετωπίσουν, στις συνθήκες λειτουργίας τους.

Τόσο οι ηλεκτρικές καταπονήσεις όσο και η ίδια η συμπεριφορά του μονωτικού υλικού που θα χρησιμοποιήσουμε, είναι μεγέθη στατιστικά, με την έννοια πως είναι αδύνατο να προσδιοριστούν με απόλυτη ακρίβεια και αξιοπιστία. Πιο συγκεκριμένα, δεν είναι δυνατό να προβλέψουμε με απόλυτη βεβαιότητα τη μορφή, το εύρος και τη διάρκεια των ηλεκτρικών τάσεων που εμφανίζονται στις διάφορες θέσεις μιας εγκατάστασης. Γιατί και αν ακόμα η τάση ομαλής λειτουργίας των στοιχείων της παραμένει σταθερή και σύμφωνη με τις προδιαγραφές μας, υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο να δημιουργηθούν απρόβλεπτες υπερτάσεις, είτε λόγω χειρισμών

στο σύστημα, είτε λόγω μεταβατικών φαινομένων, είτε λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών. Οι υπερτάσεις αυτές έχουν χαρακτήρα στατιστικό.

Επίσης δεν είναι δυνατό να προβλέψουμε αν μία συγκεκριμένη μόνωση (π.χ. το διάκενο αέρα) θα διασπαστεί ή όχι, κάτω από την επίδραση μιας ορισμένης τάσεως, παρά μόνο προσεγγιστικά, με μεθόδους στατιστικές.

Οδηγούμαστε λοιπόν στο συμπέρασμα πως μόνος τρόπος να αντιμετωπίσουμε τα προβλήματα της ηλεκτρικής διάσπασης και της πρόληψής της από τις εγκαταστάσεις μας και ακόμα να καθορίσουμε τα όρια ασφάλειάς τους, είναι οι δοκιμές στο εργαστήριο και η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων τους.

Σε αυτές υποβάλλουμε τα μονωτικά υλικά, ή και ολόκληρες συσκευές με τη μόνωσή τους, σε προδιαγραμμένες ηλεκτρικές καταπονήσεις, όμοιες ή ισοδύναμες με εκείνες που προβλέπουμε, επίσης στατιστικά, ότι πρόκειται να υποστούν στη διάρκεια της πραγματικής λειτουργίας τους.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η δοκιμή στο εργαστήριο της διηλεκτρικής αντοχής ορισμένων ειδικών διακένων αέρα, κάτω από τυποποιημένες ηλεκτρικές καταπονήσεις και η παραπέρα επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων, έτσι ώστε να προκύψουν συμπεράσματα για το στατικό φαινόμενο της ηλεκτρικής διάσπασης στα συγκεκριμένα διάκενα.

Στην αρχή θα επεξηγήσουμε σύντομα μερικές βασικές έννοιες που αφορούν στη διηλεκτρική αντοχή και στα χρησιμοποιούμενα μονωτικά και θα περιγράψουμε τους μηχανισμούς διάσπασης στον ατμοσφαιρικό αέρα, που είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο μονωτικό. Αυτή η θεωρητική διερεύνηση του θέματος θα μας βοηθήσει σημαντικά στην ερμηνεία των πρακτικών αποτελεσμάτων.

Κατόπιν θα αναφέρουμε μερικά χρήσιμα στοιχεία πιθανοθεωρίας που σχετίζονται με το αντικείμενο της μελέτης μας, θα μιλήσουμε αναλυτικότερα για τις παραμέτρους της



ηλεκτρικής διάσπασης, καθώς και για τις μεθόδους που χρησιμοποιούμε για να τις καθορίσουμε από τα πειραματικά δεδομένα και τέλος θα περιγράψουμε σύντομα τη διηλεκτρική συμπεριφορά των διακένων αέρα σφαίρας-πλάκας, επί των οποίων άλλωστε πειραματιστήκαμε στη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών.

Τέλος θα περιγράψουμε την πειραματική μας δουλειά στο εργαστήριο των υψηλών τάσεων, θα παραθέσουμε τις μετρήσεις που πήραμε καθώς και την επεξεργασία τους που έγινε με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή.

## **Κεφάλαιο 2ο**

### **Διηλεκτρική αντοχή του ατμοσφαιρικού αέρα.**

#### **2.1. Γενικά περί διηλεκτρικής αντοχής των μονώσεων.**

Η μόνωση των στοιχείων ενός συστήματος, αναλαμβάνει την ευθύνη να παρεμποδίζει την ηλεκτρική διάσπαση μεταξύ των στοιχείων αυτών, ή κάποιου στοιχείου και της γης, όταν μία τάση μεταξύ τους δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο. Η ικανότητα της μόνωσης να αντέχει μια ορισμένη ηλεκτρική καταπόνηση χωρίς να καταστρέφεται, ονομάζεται διηλεκτρική αντοχή της μόνωσης.

Η σχεδίαση της μόνωσης ενός συστήματος θα εξαρτηθεί αφενός από τις ηλεκτρικές καταπονήσεις που προβλέπεται πως θα υποστεί στη διάρκεια της λειτουργίας της και αφετέρου από τον απαιτούμενο συντελεστή ασφάλειας της συσκευής, έναντι ηλεκτρικών καταπονήσεων. Προφανώς μία κατασκευή της οποίας η καταστροφή, ή η προσωρινή διακοπή λειτουργίας συνεπάγεται μεγάλο οικονομικό και κοινωνικό κόστος, θα πρέπει να προστατευτεί, μέσω της μόνωσης πιο αποτελεσματικά από υπερτάσεις.

Τα χρησιμοποιούμενα μονωτικά υλικά, στερεά, υγρά ή αέρια, είναι διάφορα και οι ιδιότητές τους, όσον αφορά στη διηλεκτρική αντοχή, ποικίλες. Οι ιδιότητες αυτές, σε συνδιασμό με το κόστος των υλικών και ενδεχόμενα, με κάποιες πρόσθετες απαιτήσεις (μικρότερος όγκος, προστασία από υγρασία κ.λ.π.), αποτελούν τα κριτήρια επιλογής ενός υλικού για μια συγκεκριμένη μόνωση.

Η θεωρητική διερεύνηση της διηλεκτρικής συμπεριφοράς των μονωτικών υλικών, καθώς και η υποβολή τους, στο

εργαστήριο, σε δοκιμές της διηλεκτρικής τους αντοχής, μας δίνουν στοιχεία για να τα χρησιμοποιήσουμε ορθολογιστικά στην προστασία των ηλεκτρικών συστημάτων από υπερτάσεις.

## **2.2. Συμπεριφορά του αέρα σαν μονωτικού.**

Στην εργασία αυτή θα μας απασχολήσει μόνο η διηλεκτρική συμπεριφορά του ατμοσφαιρικού αέρα, που είναι μονωτικό υλικό αποτελεσματικό και εντελώς ανέξοδο και ως εκ τούτου, ευρήτατα χρησιμοποιούμε, όταν δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις που να εκπληρεί κάποιο άλλο υλικό (χαρτί, βερνίκι, ξύλο, λάδια, SF6 κ.τ.λ.).

Φυσικά, υπό ορισμένες συνθήκες ο αέρας διασπάται. Μπαίνουν λοιπόν τα ερωτήματα :

- **Τι ακριβώς είναι το φαινόμενο που ονομάζουμε ηλεκτρική διάσπαση και ποιός μηχανισμός το δημιουργεί στον ατμοσφαιρικό αέρα ;**
- **Σε ποιούς νόμους υπακούουν και ποιά η αλληλεξάρτηση των παραμέτρων που συσχετίζονται με την ηλεκτρική διάσπαση;**
- **Τι ρόλο παίζει η μορφή και το μέγεθος του ηλεκτρικού πεδίου και της τάσης που το δημιουργεί, στην ηλεκτρική διάσπαση;**

Καταρχήν, το φαινόμενο της ηλεκτρικής διάσπασης γίνεται αντιληπτό σαν μία διαδικασία κατά την οποία, το μονωτικό που παρεμβάλλεται σε δύο υπό τάση ηλεκτρικά στοιχεία "σπάζει" και χάνει την ικανότητα να εμποδίζει τα στοιχεία να έλθουν σε επαφή μεταξύ τους. Μια πιο αυστηρή περιγραφή (ορισμός) της

ηλεκτρικής διάσπασης είναι η εξής: Στο μονωτικό υλικό που διαχωρίζει δύο υπό τάση στοιχεία ενός ηλεκτρικού συστήματος δημιουργείται, με κάποιο τρόπο, ένα εξαιρετικά αγωγίμο κανάλι από ηλεκτρικούς φορείς (π.χ. ηλεκτρόνια). Η αγωγιμότητα του καναλιού αυτού είναι τόσο μεγάλη, ώστε, με δεδομένη την εξωτερική τάση, το ρεύμα που περνά από αυτό είναι άπειρο.

Ήδη, το πρόβλημα **"ποιός είναι ο μηχανισμός που προκαλεί τη διάσπαση σε ένα μονωτικό;"**, μετατοπίζεται στο πιο συγκεκριμένο **"πώς δημιουργείται το αγωγίμο κανάλι μέσα στο μονωτικό;"**, ή διαφορετικά, **"πώς σχηματίζονται οι ηλεκτρικοί φορείς που καθιστούν το μονωτικό αγωγίμο;"**.

Η απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι σε πολλά σημεία διαφορετική για κάθε μονωτικό υλικό. Εδώ θα αναφερθούμε ειδικά για τον ατμοσφαιρικό αέρα, αν και πολλές από τις ιδέες που θα αναπτύξουμε αφορούν και στα άλλα μονωτικά αέρια.

### **2.3. Η συμπεριφορά των μορίων του αέρα όταν δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο.**

Ο αέρας εμφανίζεται μακροσκοπικά ηλεκτρικά ουδέτερος δηλαδή, δεν εκδηλώνεται παρουσία ηλεκτρικών φορτίων μέσα σε αυτόν.

Παρόλα αυτά περιέχει ανά  $\text{cm}^3$  πολλές χιλιάδες ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια, που προκύπτουν κυρίως από το φυσικό ιονισμό των μορίων του, καθώς επίσης και από συγκρούσεις μορίων μεταξύ τους, καθώς αυτά κινούνται ακατάστατα προς όλες τις κατευθύνσεις. Και στις δύο περιπτώσεις προσδίδεται σε ένα μόριο ενέργεια, είτε σαν φωτόνιο από την προσπίπτουσα στο μόριο κοσμική ακτινοβολία, είτε από την μεταφορά σ'αυτό της κινητικής ενέργειας του μορίου με το οποίο συγκρούστηκε. Η ενέργεια αυτή είναι αρκετή για την απόσπαση ενός ηλεκτρονίου από την εξώτερη ηλεκτρονική στοιβάδα του μορίου που την

απορρόφησε. Η διαδικασία που περιγράψαμε είναι αμφίδρομη, με την έννοια ότι όπως αποσπώνται ηλεκτρόνια από ουδέτερα μόρια και σχηματίζονται ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια, έτσι ανασχηματίζονται ουδέτερα μόρια. Η δυναμική αυτή ισορροπία εξασφαλίζει ένα μόνιμο αριθμό φορτισμένων σωματιδίων, που όμως είναι οπωσδήποτε μικρός για να καταστεί ο αέρας αγωγίμος.

Τα μόρια όπως και τα φορτισμένα σωματίδια του αέρα κινούνται τυχαία και εντελώς ακατάστατα προς όλες τις κατευθύνσεις και η κίνησή τους αυτή ονομάζεται θερμική κίνηση. Κατά την κίνησή τους συγκρούονται μεταξύ τους και οι κρούσεις αυτές είναι, στο συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό, ελαστικές, δηλαδή μόνη τους συνέπεια είναι η μεταβολή ταχυτήτων των συγκρουόμενων σωματιδίων.

## **2.4. Η συμπεριφορά των μορίων του αέρα όταν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο.**

Όταν τα φορτισμένα σωματίδια που περιέχονται στον ατμοσφαιρικό αέρα βρεθούν υπό την επίδραση ενός εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου, ασκούνται σε αυτά ηλεκτροστατικές δυνάμεις, που τα αναγκάζουν να κινηθούν προς μία ορισμένη κατεύθυνση, ανάλογα με τη μορφή του πεδίου και το πρόσημο του φορτίου τους. Αποκτούν λοιπόν, εκτός από την τυχαία θερμική τους κίνηση και μια άλλη κατευθυνόμενη.

Κατά την κίνησή τους τα ιόντα και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα άτομα ή τα μόρια του ατμοσφαιρικού αέρα και μεταφέρουν στα τελευταία μέρος της κινητικής τους ενέργειας. Οι κρούσεις μπορεί να είναι ελαστικές, σε πολλές όμως περιπτώσεις προκαλούν ιονισμό ή διέγερση των ατόμων που συγκρούονται.

Στον ιονισμό η μεταφερόμενη στο άτομο κινητική ενέργεια, λόγω της κρούσεως, είναι αρκετή (μεγαλύτερη από την ενέργεια ιονισμού) για την πλήρη απόσπαση ενός ηλεκτρονίου από αυτό.

Στη διέγερση η ενέργεια αυτή επαρκεί μόνο για να μεταφερθεί ένα ηλεκτρόνιο από μια χαμηλότερη στοιβάδα σε μία υψηλότερη. Η διέγερση μπορεί να είναι και η πρώτη βαθμίδα ιονισμού που πραγματοποιείται σε δύο φάσεις, δηλαδή πρώτα διέγερση και μετά πλήρης απόσπαση του ηλεκτρονίου από το ήδη διεγερμένο άτομο. Η ενεργειακή κατάσταση ενός διεγερμένου ατόμου είναι ασταθής και είναι αδύνατο, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα από τη στιγμή της διεγέρσεώς του, το άτομο να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση, εκπέμποντας ταυτόχρονα ένα ποσό ενέργειας υπό μορφή φωτονίων.

Είναι προφανές ότι η αποτελεσματικότητα των συγκρούσεων, δηλαδή το κατά πόσο αυτές προκαλούν ιονισμό, εξαρτάται από το μέγεθος της κινητικής ενέργειας που μεταφέρεται σε μια κρούση, από το φορτισμένο σωματίδιο στο ουδέτερο άτομο, και συγκεκριμένα από το κατά πόσο αυτή είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια ιονισμού του ατόμου.

Η κινητική ενέργεια ενός φορτισμένου σωματιδίου, μέρος της οποίας μεταφέρεται στο ουδέτερο άτομο μετά από μία κρούση, είναι ανάλογη:

- **με τη μάζα του φορτισμένου σωματιδίου**
- **με την ταχύτητά του την στιγμή της κρούσεως**

Οι δύο παραπάνω παράγοντες είναι αντιφατικοί, με την έννοια ότι σε ίδιες συνθήκες ένα βαρύ σωματίδιο μπορεί να αναπτύξει, λόγω μεγαλύτερης αδράνειας, μικρότερη ταχύτητα από ένα ελαφρύ. Αποδεικνύεται πάντως, όπως θα σκιαγραφηθεί στη συνέχεια ότι τα βαρειά ιόντα μεταφέρουν στα μόρια ή άτομα με τα οποία συγκρούονται, μικρότερο ποσοστό της κινητικής τους

ενέργειας από ότι τα ελαφρά ηλεκτρόνια και γι' αυτό η συμβολή τους στον ιονισμό από κρούσεις είναι λιγότερο σημαντική.

Η μέση ταχύτητα και κατά συνέπεια η κινητική ενέργεια των φορτισμένων σωματιδίων σε μια κρούση εξαρτάται επίσης από δύο παράγοντες:

- είναι ανάλογη με την ένταση του επιβαλλόμενου ηλεκτρικού πεδίου
- είναι αντίστροφα ανάλογη με την πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα: όσο αυτή είναι μεγαλύτερη, τόσο μικρότερη είναι η μέση ελεύθερη απόσταση που διανύει ένα σωματίδιο ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κρούσεις, δηλαδή τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα που προλαβαίνει να αναπτύξει, πριν αποδώσει μέρος της κινητικής του ενέργειας σε μία κρούση.

Για να μπορούμε να συνεκτιμήσουμε την επίδραση των παραπάνω παραγόντων στο μέγεθος της ταχύτητας των φορτισμένων σωματιδίων και κατά συνέπεια στο μέγεθος της κινητικής ενέργειας που διαθέτουν πριν από μία κρούση και στην ικανότητά τους να προκαλέσουν ιονισμό, εισάγουμε την ποσότητα  $E/\rho$  που είναι ο λόγος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (προκειμένου για ομογενές πεδίο), προς την πίεση του αερίου στο οποίο εφαρμόζεται το πεδίο. Η ποσότητα  $E/\rho$  έχει μονάδες  $V/cm \cdot \text{tott}$  και ανάλογα με το μέγεθός της χαρακτηρίζουμε ένα πεδίο σαν χαμηλού ή υψηλού  $E/\rho$ .

Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει ένα σαφές κατώφλι που να διαχωρίζει τα πεδία χαμηλού από εκείνα υψηλού  $E/\rho$ . Λέμε ότι ένα πεδίο είναι χαμηλού  $E/\rho$  όταν ο λόγος έχει τιμή μικρότερη από περίπου  $6V/cm \cdot \text{tott}$ .

Ιονισμός συμβαίνει ακόμα και σε πεδία χαμηλού  $E/\rho$  όπου η μέση τιμή της ταχύτητας των φορτισμένων σωματιδίων είναι μικρή, όμως οι φορείς ηλεκτρισμού που δημιουργούνται στην

περίπτωση αυτή είναι λίγοι, για να προκαλέσουν αισθητή αύξηση της αγωγιμότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι συνθήκες υπό την επίδραση τέτοιων πεδίων είναι αρκετά όμοιες με εκείνες που επικρατούν όταν δεν υπάρχει καθόλου ηλεκτρικό πεδίο.

#### 2.4.1. Ο συντελεστής ιονισμού με κρούσεις ηλεκτρονίων.

Όπως είδαμε μέχρι τώρα τα φορτισμένα σωματίδια που περιέχονται στον ατμοσφαιρικό αέρα, υπο την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου κινούνται προς ορισμένες κατευθύνσεις συγκρούονται με ουδέτερα μόρια και άτομα και δημιουργούνται καινούργια φορτισμένα σωματίδια προκαλώντας έτσι ραγδαίο πολλαπλασιασμό των φορτισμένων σωματιδίων στον υπό την επίδραση του πεδίου χώρο. Αναφέραμε ακόμα ότι η σημαντικότερη συμβολή στον πολλαπλασιασμό αυτό που τον ονομάσαμε ιονισμό από κρούσεις, προέρχεται από την κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων.

Μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε πόσα καινούργια ελεύθερα ηλεκτρόνια απελευθερώνει από ουδέτερα άτομα ένα μοναδικό ηλεκτρόνιο, κατά την κίνησή του μέσα στο πεδίο. Αποδεικνύεται ότι αν σε μία θέση υπάρχουν  $n_0$  ελεύθερα ηλεκτρόνια μετά από διαδρομή  $x$  cm υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου υψηλού  $E/\rho$ , θα έχουν παραχθεί με ιονισμό από κρούσεις  $n_x$  ηλεκτρόνια, σύμφωνα με τη σχέση:

$$n_x = n_0 \cdot e^{ax}$$

Ο συντελεστής  $a$  παριστάνει τον αριθμό ηλεκτρονίων που παράγονται ανά cm από ένα αρχικό ηλεκτρόνιο και εξαρτάται από την ένταση του πεδίου, το είδος του αερίου, και την πυκνότητά του ονομάζεται σταθερά ιονισμού από κρούσεις



ηλεκτρονίων, ή πρώτος συντελεστής ιονισμού του **Townsend**. Η παραπάνω σχέση μπορεί να διορθωθεί λαμβάνοντας υπ' όψη ότι ένας αριθμός ηλεκτρονίων  $n$ , ανά  $cm$ , ενσωματώνονται με ουδέτερα ηλεκτραρνητικά άτομα και σχηματίζουν βαρεία αρνητικά ιόντα, που ελάχιστα συμβάλλουν στον παραπέρα ιονισμό. Τότε τα ανά  $cm$ , παραγόμενα νέα ηλεκτρόνια θα είναι όχι  $a$ , αλλά  $(a-n)$ . Δηλαδή θα ισχύει:

$$n_x = n_0 * e^{(a-n)x}$$

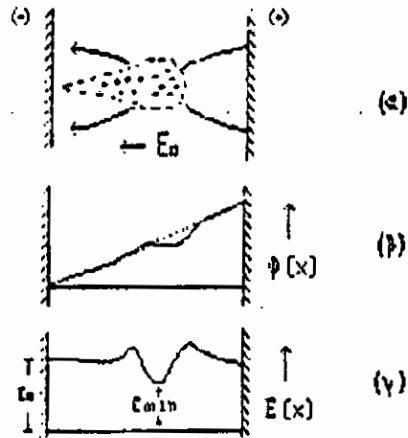
#### 2.4.2. Η ηλεκτρονική στοιβάδα.

Υποθέτουμε ότι δυο παράλληλα επίπεδα του απέχουν μεταξύ τους απόσταση  $d$   $cm$  και βρίσκονται υπό τάση, σχηματίζουν στο μεταξύ τους διάκενο ένα ομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο. Αν από την κάθοδο ξεκινήσουν  $n_0$  ηλεκτρόνια, αναμένονται στην άνοδο:

$$n = n_0 * e^{ad}$$

Υπολογίζεται ότι σε ένα πεδίο μέτριου μεγέθους  $E/\rho$ , σε διάκενο ατμοσφαιρικού αέρα  $1.0cm$ , ένα ηλεκτρόνιο που ξεκινά από την κάθοδο, παράγει στην πορεία του μέχρι την άνοδο περίπου **2.000 νέα ηλεκτρόνια**.

Η ραγδαία αύξηση του αριθμού των ηλεκτρονίων μπορεί να παραλληλιστεί με την αύξηση του μεγέθους μιας χιονοστιβάδας που κυλά σε μια χιονισμένη πλαγιά κι έτσι ονομάζουμε το φαινόμενο ηλεκτρονική στοιβάδα. Λόγω του τρόπου με τον οποίο γίνεται ο ιονισμός και ο πολλαπλασιασμός των φορτισμένων σωματιδίων, η ηλεκτρονική στοιβάδα έχει απιεκονιστεί, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



σχήμα 2.1

Το σχήμα είναι παραβολοειδές εκ περιστροφής. Στο κεφάλι του παραβολοειδούς συγκεντρώνονται τα ηλεκτρόνια, ενώ στην ουρά του τα βαρύτερα, θετικά στην πλειοψηφία τους ιόντα. Η συγκέντρωση των φορτίων στην ηλεκτρονική στοιβάδα προκαλεί παραμόρφωση του πεδίου και μάλιστα ενίσχυσή του στο κεφάλι της στοιβάδας, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα.

Η ηλεκτρονική στοιβάδα είναι το "έμβρυο" που γεννά τις μετέπειτα διαδικασίες αύξησης της αγωγιμότητας του μονωτικού ατμοσφαιρικού αέρα. Με τη μελέτη της ασχολήθηκε επισταμένως ο **Raether**, ο οποίος πρώτος την φωτογράφησε και μελέτησε τις ιδιότητές της, με ειδική τεχνική που ονομάζεται "θάλαμος συμπτκνώσεως".

Όπως θα δούμε στις επόμενες παραγράφους, η φύση του φαινομένου της ηλεκτρικής στοιβάδας υπό ορισμένες συνθήκες αλλάζει και αυτή μετασχηματίζεται σε αυτοσυντηρούμενη εκκένωση.

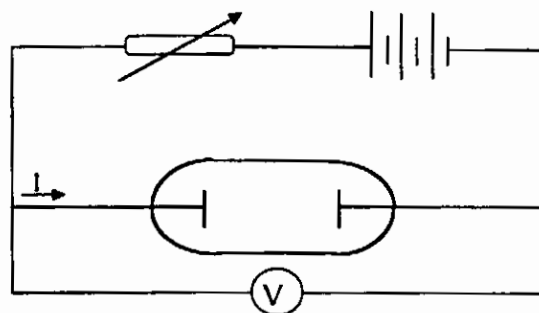
### 2.4.3. Η διάσπαση στο ομοιογενές πεδίο.

#### 2.4.3.1. Η αυτοσυντηρούμενη εκκένωση.

Είπαμε προηγούμενα, ότι ανάλογα με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και την πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα που βρίσκεται υπό την επίδρασή του, είναι δυνατό να ξεκινήσει μία διαδικασία ιονισμού των ατόμων του ατμοσφαιρικού αέρα, που να καταλήξει στον σχηματισμό ηλεκτρονικής στοιβάδας.

Αναφέραμε επίσης επιγραμματικά ότι η ηλεκτρονική στοιβάδα είναι απλά η αρχή μιας σειράς φαινομένων, που η φύση τους και ο μηχανισμός που τα προκαλεί είναι διαφορετικά και τα οποία έχουν σαν αποτέλεσμα τη συνεχή αύξηση της αγωγιμότητας του αέρα, μέχρι την τελική του διάσπαση.

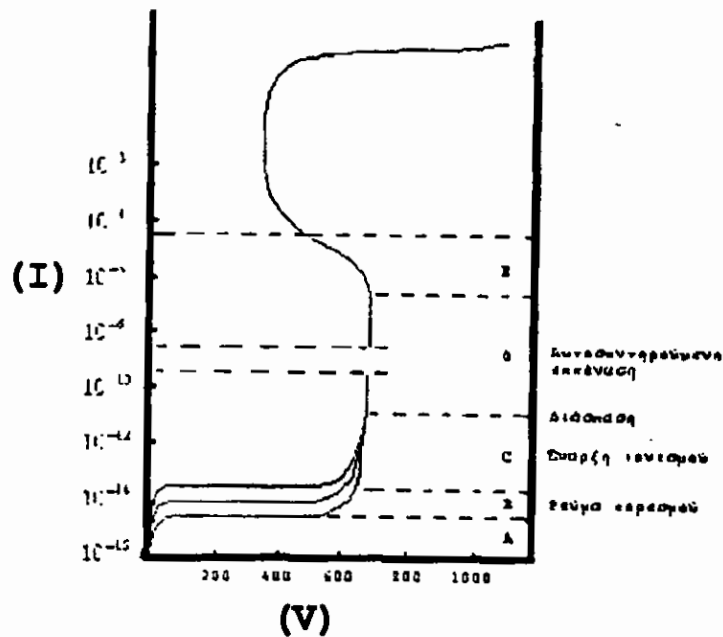
Θα σκιαγραφήσουμε την εξελεκτική διαδικασία που οδηγεί στην ηλεκτρική διάσπαση, με την περιγραφή ενός πειράματος. Εφαρμόζουμε μία μεταβαλλόμενη τάση σε ένα διάκενο από αέριο νέον, που σχηματίζεται από δύο παράλληλα επίπεδα ηλεκτρόδια διαμέτρου  $2\text{cm}$  το καθένα, που απέχουν μεταξύ τους απόσταση  $50\text{cm}$ . Το κύκλωμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.2

Καθώς η τάση αυξάνεται με αργό ρυθμό παρακολουθούμε τις μεταβολές στο ρεύμα που διέρχεται από το διάκενο.

Η σχέση ανάμεσα στο ρεύμα και στην επιβαλλόμενη τάση, που δημιουργεί το ηλεκτρικό πεδίο στο διάκενο, φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, το οποίο χωρίζουμε σε περιοχές και το οποίο εξηγούμε στη συνέχεια:



Σχήμα 2.3

Όταν ανάμεσα στα ηλεκτρόδια εφαρμοστεί μια τάση, τα φορτισμένα σωματίδια στο αέριο παρασύρονται και έτσι, υπό πολύ μικρές τάσεις ακόμα, εμφανίζεται ένα ασθενές, αλλά σταθερό ρεύμα κορεσμού της τάξεως του  $10^{-16}$  A. Καθώς η τάση

αυξάνεται αργά δεν αρχίζει ακόμα ιονισμός, όμως γίνεται δυνατό όλα τα υπάρχοντα φορτισμένα σωματίδια να παρασύρονται προς τα ηλεκτρόδια κι έτσι να προκύπτει ένα ασθενές, αλλά σταθερό ρεύμα κορεσμού της τάξεως του  $10^{-15}$  A περίπου (περιοχή A στο διάγραμμα). Η τάση αυξάνεται μέχρι μερικές εκατοντάδες volts χωρίς να παρατηρηθεί μεταβολή του ρεύματος που περνά από το διάκενο, χωρίς δηλαδή να αρχίσει ακόμα ιονισμός, που συνεπάγεται αύξηση της αγωγιμότητας του διακένου. Από ένα σημείο και μετά η τάση δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο επαρκές για την έναρξη του ιονισμού, όπως αναλυτικά περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Η μεταβολή του ρεύματος είναι σ' αυτή την περιοχή (C στο διάγραμμα) εκθετική και εξαρτάται από την τιμή του πρώτου συντελεστή ιονισμού του **Townsend**.

Χαρακτηριστικό των καταστάσεων που επικρατούν στο αέριο μέχρι αυτό το σημείο, είναι ότι ο ιονισμός εξαρτάται άμεσα από το εξωτερικά επιβαλλόμενο πεδίο. Αν η τάση ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια μηδενιστεί και το πεδίο πάψει να υφίσταται, τότε κάθε διαδικασία ιονισμού θα σταματήσει σχεδόν αμέσως.

Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο αν αυξήσουμε ακόμα την τάση. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα (περιοχή D), αυτό οδηγεί σε μια υπερεκθετική αύξηση του ρεύματος, που ακολουθείται από κατακρήμνιση της τάσης κατά μήκος του διακένου. Αυτή η απότομη μετατροπή ονομάζεται διάσπαση και χαρακτηρίζεται από αύξηση του ρεύματος κατά πολλές τάξεις μεγέθους, χωρίς να μεταβληθεί σημαντικά. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό είναι ότι το φαινόμενο του ιονισμού γίνεται τώρα ανεξάρτητο από την εξωτερική πηγή ιονισμού (δηλαδή το ηλεκτρικό πεδίο) και έτσι η ηλεκτρική εκκένωση γίνεται αυτοσυντηρούμενη.

#### **2.4.3.2. Η άποψη του Townsend για το μετασχηματισμό σε αυτοσυντηρούμενη εκκένωση.**

Είδαμε ότι μια ορισμένη αύξηση της τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων που σχηματίζουν ένα διάκενο, οδηγεί σε

υπερεκθετική αύξηση του ρεύματος. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των φορτισμένων σωματιδίων του διάκενου που είναι υπεύθυνα για την αγωγιμότητα του διάκενου, αυξάνει με ρυθμό υπερεκθετικό. Ο ιονισμός των ατόμων του αερίου στο διάκενο, από κρούσεις ηλεκτρονίων, δεν επαρκεί για να ερμηνεύσουμε την υπερεκθετική αύξηση των φορτισμένων σωματιδίων. Θα πρέπει να υπάρχει κι ένας συμπληρωματικός, βοηθητικός μηχανισμός που να συμβάλει στον ιονισμό. Ο **Townsend** διατύπωσε τη θεωρία ότι τέτοιοι βοηθητικοί μηχανισμοί ιονισμού είναι δύο:

**α) Ο ιονισμός με κρούσεις θετικών ιόντων.**

Τα θετικά ιόντα μπορούν να προκαλέσουν παραπέρα ιονισμό των ατόμων του αερίου συγκρουόμενα με αυτά. Η διαδικασία ιονισμού με κρούσεις θετικών ιόντων ονομάζεται **β.** διαδικασία. Το **β.** ονομάζεται **δεύτερος συντελεστής ιονισμού του Townsend**, ή συντελεστής ιονισμού με κρούσεις θετικών ιόντων και ορίζεται ως ο αριθμός ηλεκτρονίων που παράγονται ανά cm από ένα θετικό ιόν, με κρούσεις με άτομα του αερίου. Όπως μπορεί να αποδειχτεί, κριτήριο – κατά του **Townsend** – για την διάσπαση στο ομοιογενές πεδίο είναι η εκπλήρωση της σχέσεως:

$$a - b \cdot e^{(a-b)d} = 0$$

Η **β.** διαδικασία είναι ανεπαρκής για να ερμηνεύσει το μετασχηματισμό σε αυτοσυντηρούμενη εκκένωση. Η διαπίστωση αυτή δικαιολογείται από τους εξής λόγους:

1. Για να προκαλέσουν ιονισμό τα θετικά ιόντα, απαιτείται να έχουν κινητική ενέργεια περίπου διπλάσια από την απαιτούμενη ενέργεια ιονισμού. Επίσης έχουν ελάχιστες δυνατότητες να αποδώσουν ένα σημαντικό ποσοστό της κινητικής τους ενέργειας σε μία μόνο ανελαστική κρούση.

2. Όπως αποδεικνύεται πειραματικά, ο χρόνος μετασχηματισμού σε αυτοσυντηρούμενη εκκένωση είναι σημαντικά μικρότερος από αυτόν που απαιτείται για ιονισμό με κρούσεις θετικών ιόντων. Άρα η β. διαδικασία δεν μπορεί μόνη της να συμβάλει τόσο αποφασιστικά στο μετασχηματισμό σε αυτοσυντηρούμενη εκκένωση.
3. Επίσης πειραματικά, αποδεικνύεται ότι η κάθοδος παίζει αποφασιστικό ρόλο στην ηλεκτρική διάσπαση. Άρα η β. διαδικασία δεν μπορεί να είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για το μετασχηματισμό σε αυτοσυντηρούμενη εκκένωση.

### **β) Ο ιονισμός με διαδικασίες που συμβάλουν στην κάθοδο.**

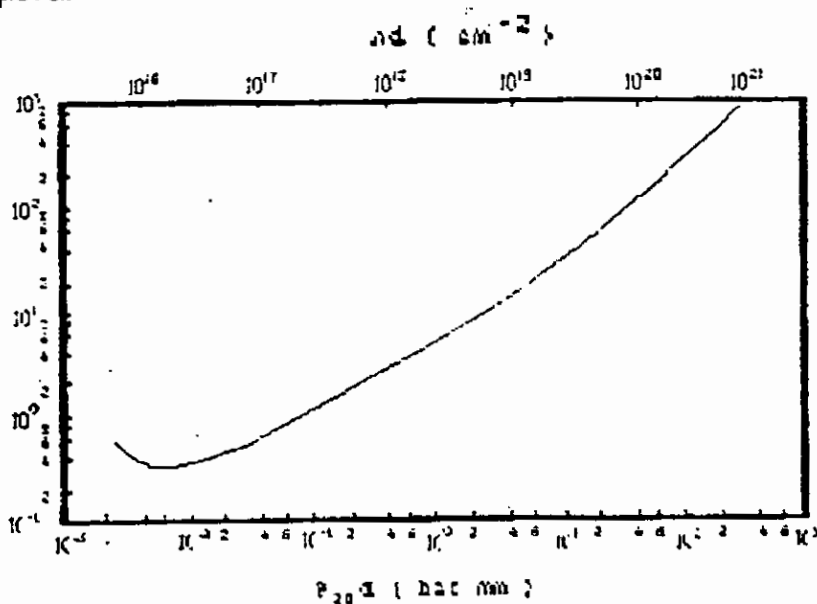
Ένας βοηθητικός μηχανισμός που μπορεί να συνεισφέρει στην υπερεκθετική αύξηση των φορέων φορτίου στο διάκενο, βασίζεται στην απελευθέρωση ηλεκτρονίων από το ηλεκτρόδιο της καθόδου, με διάφορους τρόπους. Οι διάφορες διαδικασίες που συμβάλουν στην κάθοδο και προκαλούν απελευθέρωση ηλεκτρονίων από αυτήν ονομάζονται συνολικά γ. διαδικασίες και χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Βομβαρδισμός της καθόδου από θετικά ιόντα, που έχει σαν αποτέλεσμα την εκπομπή ηλεκτρονίων από αυτήν. Αυτή η διαδικασία χαρακτηρίζεται από μια σταθερά  $\gamma_i$ , που είναι η πιθανότητα ένα θετικό ιόν να απελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο από την κάθοδο, καθώς θα εξουδετερωθεί πάνω σε αυτήν.
2. Ακτινοβολία που προσπίπτει στην κάθοδο υπό μορφή φωτονίων, λόγω των διεγερμένων μορίων που υπάρχουν στο αέριο διάκενο. Η διαδικασία χαρακτηρίζεται από τη σταθερά  $\gamma_p$ .

Η δράση των μετασταθών και των διεγερμένων μορίων στην κάθοδο, που χαρακτηρίζεται από την σταθερά  $\gamma_m$ .

### 2.4.3.3. Ο νόμος του Paschen.

Στα προηγούμενα δώσαμε μια γενική εικόνα του μηχανισμού της ηλεκτρικής διάσπασης του ατμοσφαιρικού αέρα και κατ' επέκταση των άλλων μονωτικών αερίων, που ονομάζεται μηχανισμός διάσπασης κατά **Townsend**. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, ο μηχανισμός αυτός δεν είναι πάντα υπεύθυνος για τη διάσπαση στο ομογενές πεδίο, είναι μάλιστα ανεπαρκής για την ερμηνεία ορισμένων ειδικών πειραματικών παρατηρήσεων. Παρολαυτά δίνει τις βάσεις για κάθε παραπέρα επεξεργασία και συμπλήρωση του μηχανισμού διάσπασης του αέρα στο ομοιογενές πεδίο και επίσης οδηγεί σε πολλές θεωρητικές αναλύσεις που συμφωνούν με τα αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα.



Σχήμα 2.4



Μια τέτοια θεωρητική ανάλυση μας δίνει την ελάχιστη τάση διάσπασης ενός διακένου αέρα **VD**, σαν συνάρτηση του μήκους του διακένου **d** και της πυκνότητας του αέρα, που, για την ίδια θερμοκρασία, είναι ανάλογη με την πίεση **p** του αέρα. Η συναρτησιακή αυτή σχέση επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα της παρεμβολής πολυάριθμων σχετικών πειραματικών δεδομένων, που συνοψίζονται στην εμπειρική σχέση:

$$V_d = 25,4*(pd) + 6,6*\sqrt{pd}$$

όπου: **VD** σε **KV**, **d** σε **cm** και **p** η σχετική πίεση ως προς **1013 mbat** και **20 °C**, που παριστάνεται από την καμπύλη του σχήματος 2.4.

Η εξάρτηση της ελάχιστης τάσης διάσπασης ενός διακένου στο ομογενές πεδίο από το γινόμενο **pd** ονομάζεται **νόμος του Paschen** και δεν έχει ισχύ στις ακραίες (πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές) τιμές του **pd**, στις οποίες οι διαδικασίες που οδηγούν στη διάσπαση είναι διαφορετικές.

#### 2.4.3.4. Ο μηχανισμός διασπάσεων με σχηματισμό οχετών.

Όπως αποκάλυψαν πρόσφατες έρευνες πάνω στη διάσπαση στο ομοιογενές πεδίο, εκτός από την εμφάνιση των ηλεκτρονικών στοιβάδων (που αποτελούν τον κορμό του μηχανισμού διάσπασης κατά **Townsend**) αναπτύσσεται και ένας άλλος διακεκριμένος τύπος ιονισμού, κατά τον οποίο σχηματίζονται νηματοειδή και διακλαδιζόμενα ιονισμένα κανάλια μεταξύ των ηλεκτροδίων που σχηματίζουν το ηλεκτρικό πεδίο. Το φαινόμενο ονομάζεται **οχετός (Streamer)** και ο μηχανισμός που οδηγεί σε διάσπαση με τον τρόπο αυτό **μηχανισμός διασπάσεων με σχηματισμό οχετών**.

Η ανεπάρκεια του μηχανισμού **Townsend** να ερμηνεύσει το φαινόμενο **Streamer** δεν είναι η μόνη, χωρίς αυτό να μειώνει τη σπουδαιότητα της συμβολής του **Townsend** στη μελέτη των διαδικασιών που οδηγούν στην ηλεκτρική διάσπαση των αερίων.

Μια άλλη αδυναμία του είναι ότι δεν παίρνει υπόψη τον σχηματισμό, από φορτία χώρου που δημιουργούν οι ηλεκτρονικές στοιβάδες στο διάκενο, υψηλών τοπικών πεδίων, που παραμορφώνουν το αρχικό στατικό πεδίο. Η τοπική ενίσχυση του τοπικού πεδίου επιδρά σημαντικά, όπως θα δούμε στη συνέχεια, στην εξέλιξη του ιονισμού μέχρι την πλήρη διάσπαση.

Η παραμόρφωση του πεδίου γίνεται αξιοσημείωτη όταν τα φορτία χώρου προκαλούν το σχηματισμό ενός συγκρίσιμου με το αρχικό, πεδίου, δηλαδή όταν ισχύει:

$$E_r = k \cdot E$$

όπου  $E_r$  το πεδίο που προκαλούν τα φορτία χώρου,  $E$  το αρχικό πεδίο, και  $k$  ο λόγος των πεδίων που για να είναι συγκρίσιμα θα πρέπει να έχει τιμή από 0,1 έως 1.

Για να πολλαπλασιαστεί η ηλεκτρονική στοιβάδα, ώστε τα φορτία χώρου που δημιουργεί να έχουν τη δυνατότητα να παραμορφώσουν το στατικό πεδίο, θα πρέπει να διανύσει μια απόσταση  $\chi_c$  κατά το μήκος του διακένου, που την ονομάζουμε κρίσιμο μήκος στοιβάδας. Εφόσον η τοπική ενίσχυση του πεδίου επιδρά στην διαδικασία διάσπασης, μπορούμε να καταλήξουμε σε μία μαθηματική σχέση που θα περιλαμβάνει το κρίσιμο μήκος  $\chi_c$  και θα αποτελεί κριτήριο για τη διάσπαση με το μηχανισμό οχετών. Αποδεικνύεται ότι:

$$\alpha \cdot \chi_c = 17.7 + \ln \chi_c \quad \text{Raether (κριτήριο διάσπασης)}$$

και η σχέση αυτή αναφέρεται σαν κριτήριο διάσπασης του **Raether**, καθώς επίσης ότι:

$$a \cdot X + \ln \frac{a}{p} = 14,46 + \ln \frac{E_r}{p} - 0,5 \cdot \ln pX + \ln X \quad \text{Meek}$$

όπου  $p$  η σχετική πίεση του αερίου και  $a$  ο πρώτος συντελεστής ιονισμού του Townsend. Η σχέση αναφέρεται σαν κριτήριο διάσπασης του **Meek**.

Θα περιγράψουμε ποιοτικά τις φυσικές διαδικασίες που οδηγούν στην ανάπτυξη του νέου τύπου ιονισμού, του "**Streamer**", παρακολουθώντας τις φάσεις της ηλεκτρικής διάσπασης του διακένου μεταξύ δύο παράλληλων επιπέδων, στο οποίο επιβάλλεται τάση, που σχηματίζει ομοιογενές πεδίο. Αυτό θα γίνει με τη βοήθεια του σχήματος 2.5.

Ένα ηλεκτρόνιο ξεκινά από την περιοχή της καθόδου και στην πορεία του προς την άνοδο σχηματίζει μια ηλεκτρονική στοιβάδα. Κοντά στην άνοδο η στοιβάδα πλησιάζει το κρίσιμο μήκος και, καθώς τα ηλεκτρόνια στην κεφαλή της εξουδετερώνονται πάνω σε αυτήν, απομένει μια συγκέντρωση θετικών ιόντων, που προκαλεί ενίσχυση του αρχικού στατικού πεδίου. Καθώς η στοιβάδα αναπτύσσεται, διεγείρονται τα άτομα του αερίου και εκπέμπονται από αυτά φωτόνια, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5.

Τα φωτόνια κατευθύνονται προς όλες τις κατευθύνσεις και τελικά απορροφώνται από τα άτομα του αερίου, προκαλώντας έτσι φωτοϊονισμό. Πολλά από τα σχηματιζόμενα φωτοηλεκτρόνια έχουν την ικανότητα να προκαλέσουν την ανάπτυξη δευτερογενών ηλεκτρονικών στοιβάδων, αν λάβουμε υπόψη μας ότι ο συντελεστής ιονισμού με κρούσεις ηλεκτρονίων  $a$  αυξάνεται, εξαιτίας της ενίσχυσης του στατικού πεδίου από το πεδίο των φορτίων χώρου. Αυτό το βλέπουμε στο σχήμα 2.5.

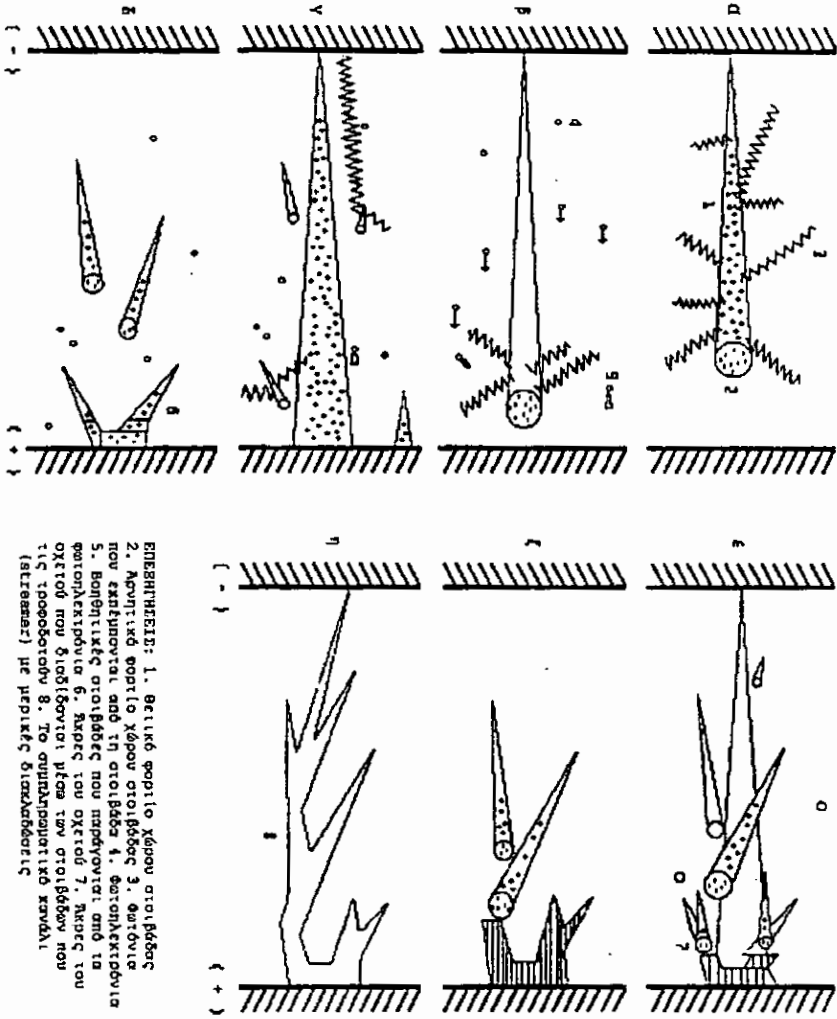
Με τον ίδιο τρόπο οι βοηθητικές στοιβάδες θα εκπέμπουν κατά την ανάπτυξή τους φωτόνια, που θα δημιουργούν καινούρια φωτοηλεκτρόνια, τα οποία, μαζί με τα προηγούμενα, θα δίνουν

"έναυση" σε τριτογενείς βοηθητικές στοιβάδες, όπως απεικονίζει το σχήμα 2.5.

Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 2.5 καθώς η πρωταρχική ηλεκτρονική στοιβάδα καταφθάνει στην άνοδο, προκαλεί, με τη βοήθεια δύο δευτερευουσών στοιβάδων, συγκέντρωση θετικών ιόντων κατά μήκος της ανόδου, σε αντιστάθμιση των αρνητικών φορτίων που υπάρχουν στις κεφαλές των απερχόμενων στοιβάδων. Το φαινόμενο σχηματισμού του οχετού (*Streamer*) συνίσταται στην συγκρότηση αυτού ακριβώς του ιονισμένου καναλιού. Το σχήμα 2.5 δείχνει ότι από την άκρη του οχετού εκπηδούν δύο κλάδοι, που αναπτύσσονται σαν αποτέλεσμα των στοιβάδων που την προσεγγίζουν. Τα ηλεκτρόνια στις κεφαλές των στοιβάδων θα απορροφηθούν από τον οχετό.

Στο σχήμα 2.5 φαίνεται πως η μία άκρη του **Streamer** συνεχίζει να διαδίδεται, ενώ η άλλη εξουδετερώνεται λόγω της μη ύπαρξης στοιβάδων που θα τροφοδοτήσουν τη συνέχισή της. Όλη η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται, ώσπου το διάκενο να γεφυρωθεί πλήρως από το τελικό κανάλι του οχετού (**Streamer**), που έχει το σχήμα που φαίνεται στο 2.5, με πολυάριθμους ασυμπλήρωτους κλάδους.

Το ομοιογενές πεδίο δημιουργεί μεγάλη πιθανότητα να σχηματιστεί πλήρες ιονισμένο κανάλι **Streamer** κατά μήκος του διακένου. Αυτό οφείλεται στο ότι το ηλεκτρικό πεδίο είναι σε κάθε θέση του διακένου αρκετά υψηλό, ώστε να δίνει τη δυνατότητα σε ένα ηλεκτρόνιο να αναπτύξει ηλεκτρονική στοιβάδα με ιονισμό από κρούσεις. Εξασφαλίζει δηλαδή ότι θα υπάρχουν αρκετές στοιβάδες για να τροφοδοτούν τις άκρες του οχετού και να διατηρούν την ανάπτυξή του. Με άλλα λόγια το εξωτερικά επιβαλλόμενο πεδίο, ενισχυμένο και από το πεδίο των φορτίων χώρου, δημιουργεί σχεδόν ακαριαία συνθήκες για ταχύτατη εξάπλωση της εκκενώσεως και έτσι κάθε μερική διάσπαση έχει σαν αποτέλεσμα την πλήρη διάσπαση. Στο ανομοιογενές πεδίο η κατάσταση είναι διαφορετική, όπως θα δούμε παρακάτω.



ΕΠΕΞΗΓΗΣΙΣ: 1. Θετικό φορτίο χάρου στροβίλλου  
 2. Απυρριχτό φορτίο γήινου στροβίλλου 3. Φαύνη  
 που εκπέμπεται από τη στροβίλο 4. Φατοληκτική  
 5. Βοηθητικός στροβίλος που παράγεται από τα  
 φατοληκτικά 6. Άκρος του οξείου 7. Άκρος του  
 οξείου που διαδίδονται μέσα του στροβίλλου που  
 τής τοσοοκοτόν 8. Το ομοιοπαθητικό κενάκι  
 (streamer) με αρνητικό διακατόντισ

Σχήμα 2.5

#### 2.4.4. Η διάσπαση στο ανομοιογενές πεδίο.

Όπως είδαμε, μόλις η πεδιακή ένταση στο ομοιογενές πεδίο υπερβεί ελάχιστα το όριο ιονισμού από κρούσεις, το φαινόμενο της ηλεκτρικής εκκένωσης συνεχίζεται μέχρι να συμπληρωθεί σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, πλήρης διάσπαση, που ισοδυναμεί με πλήρες βραχυκύκλωμα των δύο ηλεκτροδίων. Επειδή η διάσπαση στο ομοιογενές πεδίο είναι φαινόμενο ταχύτατο, δεν επηρεάζεται σχεδόν καθόλου από τη διάρκεια και συνεπώς τη μορφή της τάσεως που δημιουργεί το ηλεκτρικό πεδίο, ούτε από την πολικότητά της.

Ο μηχανισμός διάσπασης σε διάκενα που σχηματίζουν ανομοιογενές πεδίο στηρίζεται κατ' αρχήν στην ίδια βάση, δηλαδή στην αύξηση της αγωγιμότητας του αέρα του διακένου με ιονισμό από κρούσεις. Όμως εδώ η εξελεκτική διαδικασία πριν την τελική διάσπαση συμπεριλαμβάνει διάφορες εκδηλώσεις τοπικά περιορισμένου ιονισμού και διεγέρσεως που μπορούν να παρατηρηθούν οπτικά και που δεν οδηγούν αναγκαστικά στην πλήρη διάσπαση. Αυτή η τελευταία παρατήρηση εξηγείται από το γεγονός ότι η πεδιακή ένταση του ανομοιογενούς πεδίου είναι διαφορετική στα διάφορα σημεία του διακένου. Έτσι ενώ αρχίζει ιονισμός σε σημεία με μεγάλη πεδιακή ένταση και οι φορείς φορτίου πολλαπλασιάζονται αρκετά, η διαδικασία μπορεί να ανακοπεί μετά από ορισμένη διαδρομή της εκκενώσεως, λόγω της ραγδαίας μείωσης της πεδιακής έντασης.

Ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει ένα ανομοιογενές πεδίο και δείχνει πόσο καλά μπορεί να γίνει η εκμετάλευση του διακένου χωρίς η μέγιστη πεδιακή ένταση να υπερβεί την κρίσιμη τιμή που αρχίζει ο ιονισμός, είναι ο συντελεστής χρησιμοποίησεως, που ορίζεται σαν ο λόγος:

$$n = E_{av} / E_{max}$$

όπου  $E_{av}=V/d$  η μέση και  $E_{max}$  η μέγιστη πεδιακή ένταση που εμφανίζεται στο διάκενο υπό τάση  $V$ .

Οι εκδηλώσεις ιονισμού που αποτελούν την πρώτη φάση της πλήρους διάσπασης στο ανομοιογενές πεδίο ονομάζονται γενικά οχετοί κορόνα και τις ιδιότητές τους και το μηχανισμό που μετεξελίσσονται σε ολοκληρωμένη διάσπαση θα γνωρίσουμε συνοπτικά στη συνέχεια. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη των οχετών κορόνα είναι αφενός να δημιουργηθεί στο διάκενο πεδιακή ένταση τουλάχιστον ίση με την κρίσιμη πεδιακή ένταση ενάρξεως ιονισμού, ώστε να μπορούν να αναπτυχθούν ηλεκτρονικές στοιβάδες και αφετέρου η επαρκής πεδιακή ένταση να επικρατεί σε μια πιο εκτεταμένη περιοχή του διακένου, ώστε οι αρχικές στοιβάδες να έχουν τη δυνατότητα να μετεξελιχθούν σε οχετό κορόνα.

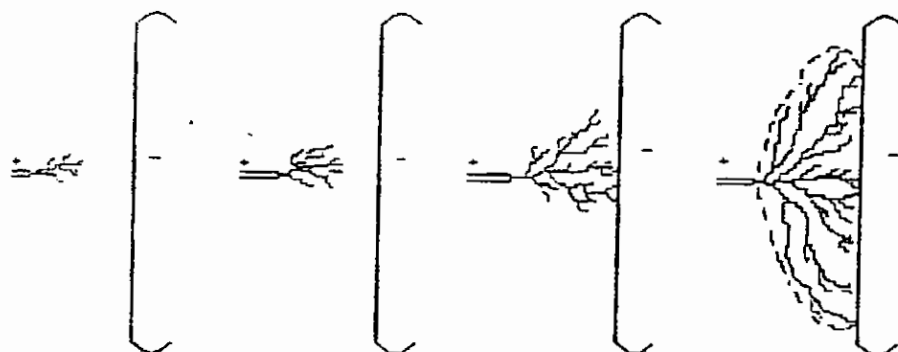
**Η κορόνα, καθώς και οι άλλες φάσεις της διάσπασης στο ανομοιογενές πεδίο, εξαρτάται από τη γεωμετρία του διακένου και επίσης από την πολικότητα της τάσεως που σχηματίζει το ηλεκτρικό πεδίο.** Για να δειχθεί η εξάρτηση από την πολικότητα, της διάσπασης στο ανομοιογενές πεδίο, θα περιγραφεί ο μηχανισμός διασπάσεως για θετική και αρνητική πολικότητα, στο τυπικό διάκενο που σχηματίζεται από ένα επίπεδο και ένα ραβδόμορφο ηλεκτρόδιο. Όταν στο ραβδόμορφο ηλεκτρόδιο επιβάλλεται, σε σχέση με το γειωμένο επίπεδο, θετική ή αρνητική τάση, έχουμε αντίστοιχα διάσπαση υπό θετική ή αρνητική πολικότητα.

Από τη μορφή της τάσεως εξαρτάται η επίδραση των φορτίων χώρου στο μηχανισμό της διάσπασης. Όταν η τάση των ηλεκτροδίων μόλις πλησιάζει το κατώφλι ιονισμού από κρούσεις (και συνεπώς είναι αδύναμη να παράγει φορτία χώρου), ή όταν στο διάκενο επιβάλλεται κρουστική τάση με απότομο μέτωπο, το διάκενο μπορεί να θεωρηθεί ελεύθερο από φορτία χώρου. Αντίθετα στην περίπτωση που επιβάλλεται μια συνεχής τάση, ή μία κρουστική με μικρή κλίση μετώπου, το πεδίο του διακένου υφίσταται, εξ αιτίας του σχηματιζόμενου φορτίου χώρου, σοβαρή

παραμόρφωση, πριν η τάση φτάσει την τιμή διασπάσεως. Η φυσική αυτή διαφορά μειώνει την επίδραση που έχουν τα ιδιαίτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του διακένου, με συνέπεια η τάση διασπάσεως να καθορίζεται κυρίως από την κατανομή της πυκνότητας του φορτίου στις διάφορες θέσεις του διακένου.

#### 2.4.4.1. Διάσπαση στο ανομοιογενές πεδίο υπό θετική πολικότητα.

Πρώτη φάση της διάσπασης στο ανομοιογενές πεδίο είναι ο σχηματισμός οχτών κορόνα, αποτελούμενων από πολλούς διακλαδιζόμενους οχτούς, που εξαιτίας της μικρής τους φωτεινότητας γίνονται αντιληπτοί, σε φωτογραφίες μικρής αναλύσεως, σαν ένα συνεχές νέφος. Οι επιμέρους κλάδοι οχτών είναι διακεκριμένοι σε φωτογραφίες μεγάλης αναλύσεως.



Σχήμα 2.6

Γενικά το νέφος κορόνα εμφανίζεται μπροστά από το άκρο του ηλεκτροδίου στο οποίο η πεδιακή ένταση είναι ισχυρότερη.

Ο μηχανισμός σχηματισμού των οχτών που αποτελούν την κορόνα είναι βασικά ίδιος με εκείνον που περιγράφηκε στην



παράγραφο 2.4.3.4. και αφορούσε το ομοιογενές πεδίο. Το φαινόμενο της κορόνα εξελίσσεται ταχύτατα, έχοντας μορφή εκρήξεως, με ταχύτητα **500-1000 cm/μs**, όπως σχηματικά μπορούμε να δούμε στο σχήμα 2.6, που δείχνει το διάκενο σε χρόνους **8, 15, 20, και 80 nsec**, από την εφαρμογή στην άνοδο κρουστικής τάσης με μέτωπο 8 nsec.

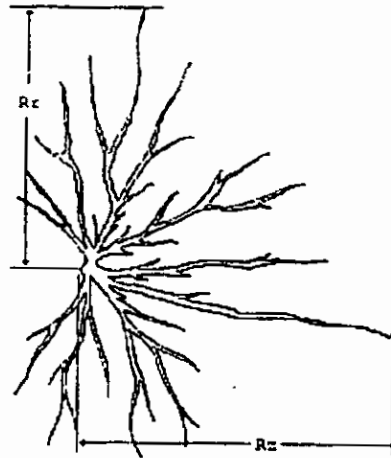
Όταν ο οχετός κορόνα προσκρούσει στην κάθοδο και έχει μεγάλη ένταση, προκαλεί εκπομπή ηλεκτρονίων από αυτή, λόγω του υψηλού πεδίου των φορτίων χώρου που συσσωρεύονται στις άκρες των οχετών. Τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια επιταχύνονται προς την κατεύθυνση του μετώπου των θετικών οχετών και είναι δυνατό να παράγουν ηλεκτρονιακές στοιβάδες, αν υπάρχει χρόνος και απόσταση αρκετή για να αναπτυχθούν.

Αυτό αυξάνει εξαιρετικά την αγωγιμότητα του διακένου και έτσι, το νέφος της πρωτοεμφανιζόμενης κορόνα, που ονομάζεται πρώτη κορόνα, συνοδεύεται από έναν παλμό ρεύματος, το εύρος και η διάρκεια του οποίου εξαρτώνται από τη διάταξη των ηλεκτροδίων και την τάση, καθώς επίσης και από μία λάμψη κοντά στο ηλεκτρόδιο της καθόδου. Η δραστηριότητα που αναπτύσσεται στο διάκενο με τη συμμετοχή της καθόδου, είναι δυνατό να προκαλέσει τέτοια αύξηση της αγωγιμότητας του καναλιού του οχετού κορόνα και συνεπώς του ρεύματος που περνά από αυτό, ώστε να πραγματοποιηθεί πλήρης διάσπαση.

Σημαντικά τοπολογικά χαρακτηριστικά των οχετών κορόνα είναι οι ακτίνες  $R_x$  και  $R_c$  (σχήμα 2.7) που δίνουν μια σχηματική τους εικόνα και ακόμα δείχνουν κατά πόσο τα ιονισμένα κανάλια των επί μέρους οχετών της κορόνα πλησιάζουν το απέναντι ηλεκτρόδιο.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει μπορεί στο ανομοιογενές πεδίο να γίνει έναρξη κορόνα από την επιφάνεια ενός (ή και των δύο) ηλεκτροδίου του διακένου, να εκτεθεί μέχρι μία ορισμένη απόσταση από την επιφάνεια αυτή, αλλά να μην ακολουθήσει πλήρης ηλεκτρική διάσπαση. Όπως δείχνουν τα πειράματα, προϋπόθεση για να ολοκληρωθεί η διάσπαση (υπό κρουστική

τουλάχιστον τάση) είναι να γεφυρωθεί ολόκληρο το μήκος ανάμεσα στα ηλεκτρόδια από οχετούς κορόνα.



Σχήμα 2.7

Αν οι επιμέρους οχετοί της πρώτης κορόνα δεν είναι ικανοί να φτάσουν στην κάθοδο, τότε στη βάση του πρώτου οχετού κορόνα εμφανίζεται ένα στέλεχος με πολύ μεγάλη λαμπρότητα, από το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί ένα νέο ιονισμένο κανάλι. Ο σχηματισμός του στελέχους αυτού οφείλεται στο μεγάλο αριθμό των επί μέρους κλάδων της κορόνα, των οποίων τα αναπτυσσόμενα μέτωπα έχουν μεγάλη ικανότητα για ιονισμό. Έτσι από την άκρη ενός φωτεινού στελέχους εκπηδά μια δεύτερη κορόνα και το νέο φωτεινό στέλεχος που θα ανήκει στη δεύτερη κορόνα προστίθεται σαν προέκταση του πρώτου. Από το πέρας του δεύτερου στελέχους εκπηδά μία τρίτη κορόνα, που προσθέτει ένα τρίτο στέλεχος στα δύο προηγούμενα και σχηματίζεται με τον τρόπο αυτό ο **οχετός προεκκενώσεως (leader channel)**, που έχει, λόγω του μηχανισμού σχηματισμού του, βηματιστική μορφή και

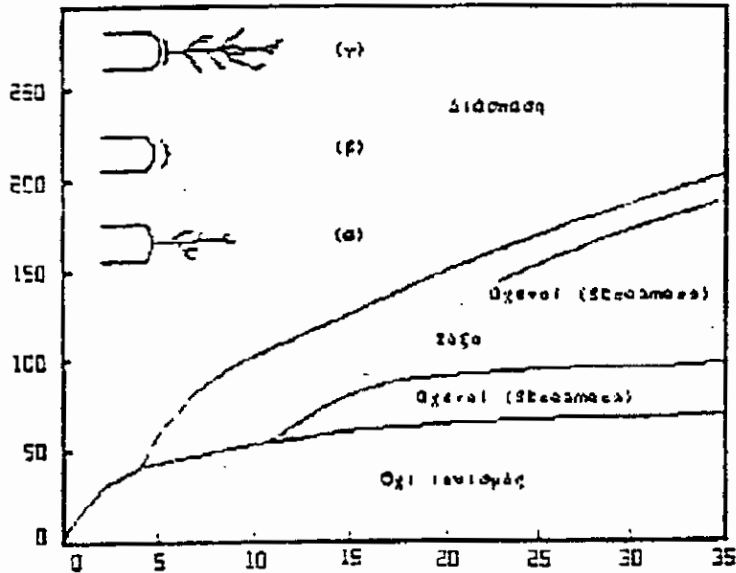
προχωρεί αργά, με ταχύτητα  $2\text{cm}/\mu\text{sec}$  που εξαρτάται κυρίως από τα φυσικά χαρακτηριστικά του αέρα του διακένου.

Όταν η κεφαλή του οχετού προεκκενώσεως φτάσει σε τέτοια απόσταση από το απέναντι ηλεκτρόδιο ώστε ένα τμήμα του διακένου να έχει γεφυρωθεί από αυτόν και το υπόλοιπο από τους οχετούς της τελευταίας κορόνα που ξεπηδά από το κεφάλι του, τότε οι οχετοί κορόνα που παρεμβάλλονται μεταξύ κεφαλής του οχετού προεκκενώσεως και ηλεκτροδίου, μετατρέπονται ταχύτατα σε οχετό προεκκενώσεως. Αφού το διάκενο γεφυρωθεί ολόκληρο με τον οχετό προεκκενώσεως, επακολουθεί ταχύτατη θέρμανση του ιονισμένου καναλιού του, λόγω του διερχόμενου ρεύματος, η ένταση ροής του οποίου εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού κυκλώματος και όχι από την αντίσταση του οχετού που γεφυρώνει τα δύο ηλεκτρόδια. Το φαινόμενο της ηλεκτρικής διασπάσεως δεν είναι δυνατό να ανακοπεί από τη στιγμή που ολοκληρώνεται η γεφύρωση του διακένου από τον οχετό προεκκενώσεως.

Η μέχρι τώρα ανάλυση αφορά στη διάσπαση υπό θετική πολικότητα, όταν τα φορτία χώρου δεν παραμορφώνουν το αρχικό πεδίο, παρά μόνο όταν σχηματίζονται σαν αποτέλεσμα της εξελεκτικής διαδικασίας του ιονισμού του αέρα του διακένου.

Στην περίπτωση που τα φορτία χώρου συγκεντρώνονται και σχηματίζουν ηλεκτρικό πεδίο που παραμορφώνει το αρχικό στο χρονικό διάστημα που απαιτείται για να εφαρμοστεί η τάση στο διάκενο, η πλήρης θεωρητική ανάλυση των φαινομένων που οδηγούν στη διάσπαση είναι πολύ δύσκολη, εξαιτίας των πολλών παραμέτρων που επηρεάζουν τους υπολογισμούς και τις παρατηρήσεις.

Από πολλές παρατηρήσεις προκύπτει ότι και εδώ η κορόνα είναι η πρώτη φάση της διάσπασης, με τη διαφορά ότι αυτή, στη γενική περίπτωση, πραγματοποιείται με διαδοχικές μορφές, ανάλογα με τη διαμόρφωση των ηλεκτροδίων, το μήκος του διακένου και το μέγεθος της τάσης που προκαλεί το ηλεκτρικό πεδίο.



Σχήμα 2.8

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8, η επιβαλλόμενη στο διάκενο DC τάση που είναι ικανή να προκαλέσει σχηματισμό κάποιου τύπου κορόνα, σχεδιάζεται σαν συνάρτηση του μήκους  $d$  του διακένου. Καθώς το  $d$  μένει σταθερό και η τάση αυξάνεται σταδιακά δεν παρατηρείται στην αρχή κανένα φαινόμενο ιονισμού και η αγωγιμότητα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Η πρωταρχική ένδειξη ιονισμού είναι ένα διακοπτόμενο, αμυδρά φωτεινό φαινόμενο, με σχήμα σαν μία λεπτή διακλαδιζόμενη κλωστή, που στην ουσία αποτελεί έναν εκφυλισμένο σχετό (Streamer), όμοιο με εκείνο της κορόνα στο ανομοιογενές πεδίο χωρίς φορτία χώρου (σχήμα 2.8α).

Η τάση αυξάνεται και η παραπάνω, "μεταβαλλόμενη" δραστηριότητα μετασχηματίζεται σε ένα σταθερό λαμπερό τόξο κοντά στην επιφάνεια της ανόδου, όπως δείχνει το σχήμα 2.8β.

Όταν η τάση αυξηθεί ακόμα περισσότερο, εμφανίζεται ξαφνικά ένας άλλος τύπος διακοπτόμενης εκκένωσης, παρόμοιος με τον πρώτο αλλά φωτεινότερος και γενικά πιο ζωηρός. Η παραπέρα ανύψωση της τάσης οδηγεί στον σχηματισμό τόξου ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και στην πλήρη διάσπαση.

#### 2.4.4.2. Διάσπαση στο ανομοιογενές πεδίο υπό αρνητική πολικότητα.

Στα προηγούμενα αναπτύχθηκε με αρκετές λεπτομέρειες ο μηχανισμός διάσπασης στο ανομοιογενές πεδίο με θετική πολικότητα. Επειδή οι βασικές έννοιες είναι ίδιες, η αντίστοιχη περιγραφή υπό αρνητική πολικότητα θα γίνει πιο σύντομα.

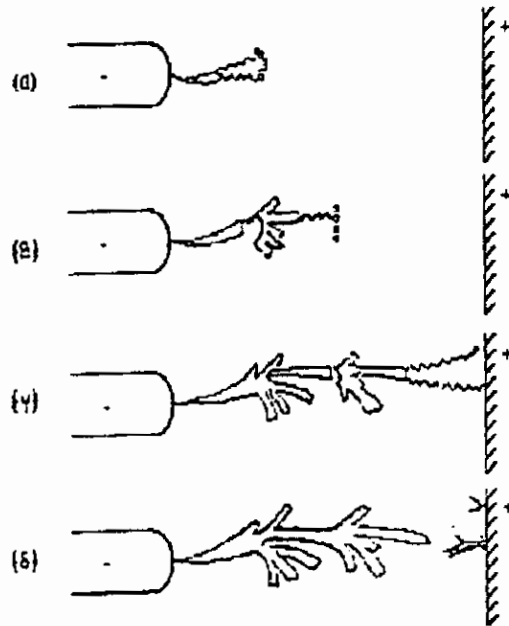
Όπως πρώτη φάση στη διάσπαση υπό θετική πολικότητα ήταν ο σχηματισμός οχρών κορόνα από θετικά ιόντα που κατευθύνονταν από την άνοδο προς την κάθοδο, έτσι και εδώ παρατηρείται στην αρχή ο σχηματισμός από αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) μιας κορόνα που ξεκινά από την κάθοδο και κατευθύνεται προς την άνοδο. **Ο κύριος κορμός της κορόνα όπως και πριν έχει διακλαδώσεις, που όμως σε αυτήν την περίπτωση μοιάζουν με φωτεινά φτερά.** Το φαινόμενο αρχίζει για τάση διακένου κάπως μεγαλύτερη από όταν η πολικότητα είναι θετική. Οι διαστάσεις  $R_x$  και  $R_y$  της αρνητικής κορόνα είναι φαρδύτερες από της θετικής. Τέλος ο αριθμός των φτεροειδών διακλαδώσεων κυμαίνεται από 8 έως 10, ενώ αντίθετα ο θετικός οχτός κορόνα μπορεί να έχει 300 έως 400 διακλαδώσεις. Η ταχύτητα των αρνητικών κορόνα αυξάνεται καθώς αυτές πλησιάζουν την άνοδο, εν αντιθέσει με την ταχύτητα των θετικών κορόνα, που μειώνεται καθώς προχωρούν στην περιοχή χαμηλών πεδιακών εντάσεων του διακένου. Αυτή η διαφορά, αν και το φαινόμενο δεν έχει ακόμα αναλυθεί πλήρως, οφείλεται στο ότι η συμμετοχή του επίπεδου ηλεκτροδίου στην εξελεκτική διαδικασία

του ιονισμού είναι εντονότερη και αρχίζει πιο γρήγορα όταν αυτό έχει θετική πολικότητα παρά όταν έχει αρνητική.

Στο σχήμα 2.9 εικονογραφείται σχηματικά η διαδοχή των διαδικασιών που οδηγούν στη διάσπαση. Καταρχήν σχηματίζεται μια ηλεκτρονική στοιβάδα, που κινείται προς την περιοχή που το ηλεκτρικό πεδίο και συνεπώς και ο συντελεστής ιονισμού  $\alpha$ , μειώνεται. Τα ηλεκτρόνια της στοιβάδας ακολουθούν τις γραμμές του πεδίου (ηλεκτρικές γραμμές) και αποκλείουν το ένα από το άλλο. Πολλές φορές αναπτύσσονται περισσότερες από μια στοιβάδες, που όταν βρίσκονται κοντά η μια στην άλλη, συγχωνεύονται και δημιουργούν ένα φωτεινό όγκο.

Όπως και στο ομοιογενές πεδίο, οι στοιβάδες μπορούν να προκαλέσουν εκπομπή φωτονίων και σχηματισμό φωτοηλεκτρονίων, που υπόκεινται στην επίδραση του ενισχυμένου, από τα φορτία χώρου της στοιβάδας, ηλεκτρικού πεδίου. Έτσι τα φωτοηλεκτρόνια μπορεί να δημιουργήσουν καινούργιες στοιβάδες, μπροστά από την κεφαλή της αναπτυσσόμενης πρώτης στοιβάδας, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9β.

Οι καινούργιες στοιβάδες τείνουν να απωθούνται η μία από την άλλη και έτσι προκύπτει η καμπυλότητα και το φτεροειδές σχήμα των διακλαδώσεων της αρνητικής κορόνα. Την ίδια στιγμή η πρώτη στοιβάδα αυξάνεται σε μήκος ακόμα περισσότερο. Ο δευτερογενής σχηματισμός ηλεκτρονιακών στοιβάδων προκαλεί συγκέντρωση θετικών φορτίων χώρου σε μια περιοχή με σφηνοειδές σχήμα. Το πεδίο των φορτίων χώρου επαυξάνει το στατικό πεδίο μπροστά στην κεφαλή των στοιβάδων και έτσι υποβοηθείται η παραπέρα ανάπτυξή τους, ενώ ταυτόχρονα παράγονται νέα φωτοηλεκτρόνια μπροστά από τις δευτερογενείς στοιβάδες και η όλη διαδικασία συνεχίζεται, προχωρώντας ένα ακόμα βήμα στο διάκενο, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9γ. Τελικά, όταν το επιβαλλόμενο πεδίο ελαττωθεί σημαντικά, σε κάποιο σημείο του διάκενου μακριά από την κάθοδο, το φαινόμενο είναι πιθανό να διακοπεί και τα ηλεκτρόνια να κατευθυνθούν προς την



Σχήμα 2.9

άνοδο, όπου θα εξουδετερωθούν, όπως αντίστοιχα και τα θετικά ιόντα στην κάθοδο.

Αν οι φτεροειδείς διακλαδώσεις της αρνητικής κορόνα μπορέσουν και πλησιάσουν το επίπεδο θετικό ηλεκτρόδιο, δημιουργώντας στην περιοχή του, υψηλό τοπικό πεδίο, τότε τα σχηματιζόμενα φωτοηλεκτρόνια προκαλούν έναρξη θετικών οχητών (**Streamers**), ανάλογους με αυτούς που αναφέραμε στη διάσπαση υπό θετική πολικότητα. Όταν τα δύο αντίθετα κινούμενα ιονισμένα "κύματα" συναντηθούν, το διάκενο γεφυρώνεται ολόκληρο από ένα αγωγίμο κανάλι. Αν η αγωγιμότητα του καναλιού είναι μεγάλη, το ρεύμα που περνά από αυτό αυξάνεται μέχρι ένα επίπεδο που εξαρτάται από το

εξωτερικό κύκλωμα, το κανάλι θερμαίνεται και ακολουθεί ταχύτατα η πλήρης διάσπαση του διακένου.

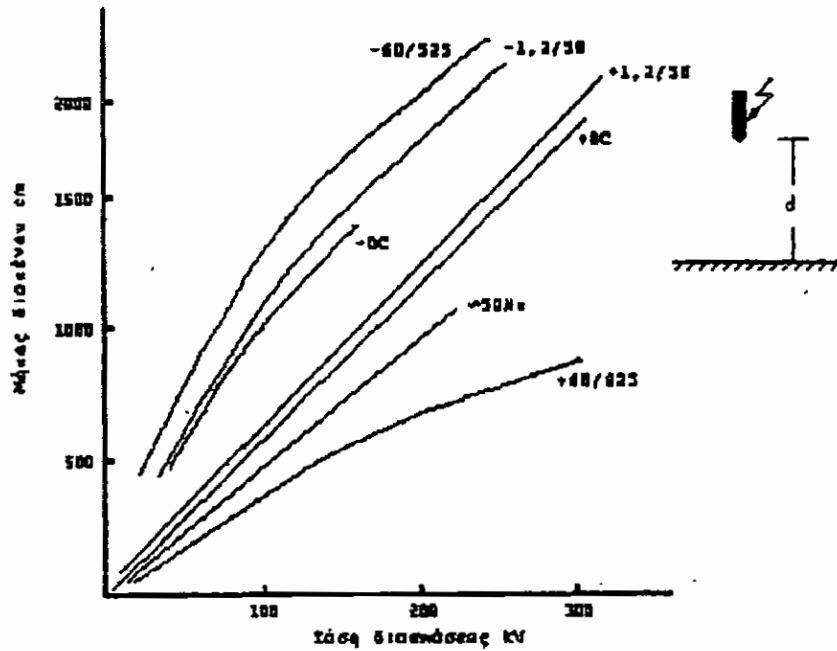
## **2.5. Τάση διασπάσεως διακένων ράβδου-πλάκας.**

Το διάκενο ράβδου - πλάκας είναι πολύ σημαντικό στη μελέτη της διάσπασης του αέρα εξ αιτίας της απλής του μορφής και του γεγονότος ότι παρουσιάζει ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες. Στο σχήμα 2.10 δίνονται οι καμπύλες που παριστάνουν την τάση διάσπασης για διάφορες μορφές και θετική και αρνητική πολικότητα ενός διακένου ράβδου - πλάκας.

Παρατηρούμε ότι η τάση διασπάσεως υπό αρνητική πολικότητα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη θετικής πολικότητας μορφή της. Η παρατήρηση αυτή δεν πρέπει να γενικευτεί και σε άλλα διακένα. Χαμηλότερη και συνεπώς πιο επικίνδυνη τάση διάσπασης αντιστοιχεί στη μορφή κρουστικής τάσης 60/525μs, που αντιστοιχεί στην κατηγορία των μεταβατικών υπερτάσεων χειρισμών. Η τάση διάσπασης που αντιστοιχεί σε κρουστική τάση 1, 2/50 μs θετικής πολικότητας, καθώς και η DC τάση διάσπασης θετικής πολικότητας και η εναλλασσόμενη τάση 50Η, είναι γραμμικές συναρτήσεις του μήκους με αντίστοιχες κλίσεις στο διάγραμμα 5.4, 5 και 4.6 kV/cm.

Αποδεικνύεται πως το διάκενο ράβδου - πλάκας παρουσιάζει την χαμηλότερη τάση διάσπασης θετικής πολικότητας από οποιοδήποτε άλλο διάκενο, για μια ορισμένη μορφή κρουστικής τάσης. Μια άλλη χαρακτηριστική και σπουδαία ιδιότητα του διακένου ράβδου - πλάκας είναι ότι ο λόγος της τάσεως διάσπασης ενός ορισμένου διακένου ράβδου - πλάκας προς την τάση διάσπασης του διακένου ράβδου - πλάκας,





Σχήμα 2.10

διατηρείται σταθερός για όλα τα μήκη διακένων, για μια ορισμένη μορφή κρουστικής τάσης. Ο λόγος αυτός ονομάζεται συντελεστής διακένου και εκφράζει, για κάθε διάκενο, πόσο μεγαλύτερη είναι η τάση διασπάσεώς του από την τάση διασπάσεως του ίδιου μήκους διακένου ράβδου - πλάκας. Συνήθεις τιμές του συντελεστή διακένου είναι για τα περισσότερα πρακτικά διάκενα μεταξύ 1.1 και 1.5.

## 2.6. Εξάρτηση της κρουστικής τάσεως διασπάσεως του αέρα από τη γεωμετρία του διακένου.

Διάσπαση σε ένα ομογενές διάκενο συμβαίνει μόλις η ομοιόμορφη πεδιακή ένταση υπερβεί μία κατώτερη τιμή που είναι 25 KV/cm. Επειδή η διάσπαση στο ομοιογενές πεδίο είναι ένα πολύ ταχύ φαινόμενο, η πεδιακή αυτή ένταση είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την πολικότητα της τάσεως. Σύμφωνα με αυτά λοιπόν, η απαιτούμενη τάση  $V_0$  (σε KV), για τη διάσπαση ενός ομοιογενούς διακένου μήκους  $l$  (cm) θα είναι μια γραμμική συνάρτηση του μήκους του διακένου:

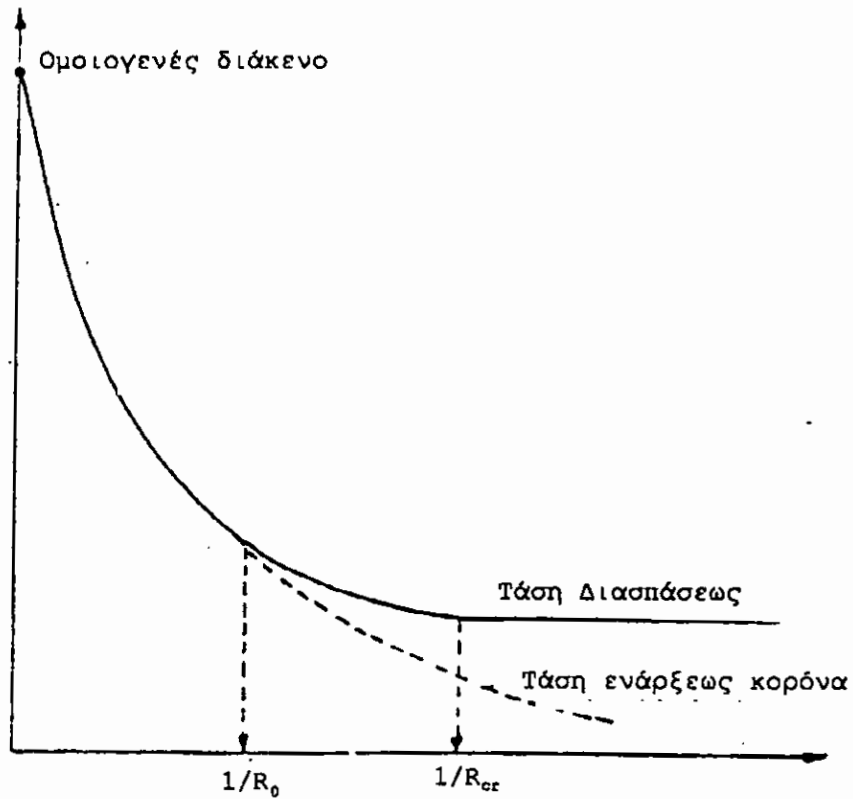
$$V_0 = 25 l \text{ (KV όταν } l \text{ σε cm)}$$

Σε ένα ανομοιογενές διάκενο μήκους  $l$  επίσης, πεδιακή ένταση αρκετά υψηλή για την έναρξη ιονισμού εμφανίζεται μπροστά στο ένα ή και τα δύο ηλεκτρόδια για μία τάση  $V_a < 25 l$ . Παρόλο που η έναρξη ιονισμού δεν αποτελεί ικανή συνθήκη για τη διάσπαση ενός ανομοιογενούς διακένου, ο πιο πάνω συλλογισμός αποδεικνύει ότι ανομοιογενή διάκενα μπορεί να διασπώνται σε τάση μικρότερη από αυτή του ομοιογενούς διακένου του ίδιου μήκους και το πείραμα δείχνει πως αυτό είναι ο κανόνας. Πόσο όμως μικρότερη είναι η τάση διάσπασης εξαρτάται από τη γεωμετρία του διακένου και την πολικότητα της τάσης.

Σε ένα διάκενο ράβδου-επιπέδου με το άκρο της ράβδου περατούμενο σε μία σφαίρα, είναι δυνατό να μεταβληθεί ο συντελεστής πεδίου  $l/n$  του διακένου μεταβάλλοντας μόνο την ακτίνα  $R$  της σφαίρας και διατηρώντας το μήκος του σταθερό. Οι τάσεις ενάρξεως κορόνα και διασπάσεως του διακένου αυτού για μια κρουστική τάση θετικής πολικότητας θα ακολουθούν τότε καμπύλες σαν κι αυτές που παραθέτουμε στο σχήμα 2.11 στο οποίο διακρίνονται τρεις περιοχές.

1. Για  $1/R < 1/R_0$  ή  $R$  μεγαλύτερο μιας τιμής  $R_0$  (που περιλαμβάνει και το ομοιογενές πεδίο) οι τάσεις διασπάσεως και κορόνα συμπίπτουν. Αυτό σημαίνει πως με την πρώτη έκρηξη κορόνα από την επιφάνεια της σφαίρας οι οχετοί της φτάνουν μέχρι το επίπεδο και επειδή, όπως αναφέρθηκε, αυτό αποτελεί ικανή συνθήκη για τη διάσπαση, επακολουθεί αμέσως διάσπαση. Ο χρόνος μέσα στον οποίο συμπληρούνται η εκκένωση, από την έναρξη σχηματισμού της κορόνα μέχρι το πέρας της διασπάσεως, που εκδηλώνεται με την κατακρήμνηση της τάσεως μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων του διακένου, είναι μικρότερος από μερικά  $\mu\text{sec}$  εξαρτώμενος λίγο και από το μήκος του διακένου. Η εξέλιξη της διασπάσεως για αυτήν την περιοχή τιμών του  $R$  συντελείται χωρίς την παρεμβολή της φάσεως του βηματιστικού οχετού προεκκενώσεως. Ο τύπος αυτός της εκκενώσεως ονομάζεται "άμεση διάσπαση".
2. Για  $R < R_0$  οι οχετοί της πρώτης κορόνα δεν εκτείνονται μέχρι το επίπεδο. Έτσι, για να ολοκληρωθεί η διάσπαση απαιτούνται διαδοχικές εκρήξεις κορόνα και ο σχηματισμός ενός τμήματος του βηματιστικού οχετού προεκκενώσεως. Για την περιοχή αυτή που ορίζεται σαν "έμμεση διάσπαση" η τάση διασπάσεως είναι υψηλότερη από την τάση ενάρξεως κορόνα. Όσο το  $R$  γίνεται μικρότερο, η συμβολή του οχετού προεκκενώσεως μεγαλώνει και αυτό έχει σαν συνέπεια περαιτέρω μείωση της τάσης διάσπασης. Αυτό ισχύει για κρουστικές τάσεις θετικής πολικότητας με όχι πολύ απότομο μέτωπο. Για κρουστικές τάσεις με πολύ απότομο μέτωπο ο οχετός προεκκενώσεως που όπως αναφέρθηκε είναι ένα σχετικά βραδύ φαινόμενο δεν έχει το χρόνο να αναπτυχθεί πλήρως και έτσι η παρατηρούμενη μείωση της τάσης με μειούμενο  $R$  γίνεται μικρότερη.

3. Για  $R < R_c$  όπου  $R_c$  μια κρίσιμη τιμή, η τάση διάσπασης φτάνει μια ασυμπτωτική τιμή που είναι ανεξάρτητη από το ηλεκτρόδιο τερματισμού.



Τάση ενάρξεως κορόνα και τάση διασπάσεως διακένου σφαίρας - επιπέδου  
σαν συνάρτηση του λόγου  $1/R$

Σχήμα 2.11

## Κεφάλαιο 3ο

### Στατιστική ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων.

Η στατιστική ανάλυση εφαρμόζεται στις Υψηλές Τάσεις όταν πρόκειται να καθοριστεί η τάση διάσπασης μιας καθορισμένης μόνωσης. Η αξία των αποτελεσμάτων της είναι προφανής αφού από αυτά προκύπτει αν οι ηλεκτρικές καταπονήσεις που προβλέπεται ότι θα αντιμετωπίσει μια συσκευή κατά τη λειτουργία της, υπερβαίνουν ή όχι το όριο διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης της συσκευής.

Η στατιστική ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί κύρια, στις μετρήσεις με κρουστικές τάσεις και όχι τόσο με συνεχή ή εναλλασσόμενη τάση και μάλιστα με την προϋπόθεση ότι οι δοκιμαζόμενες μονώσεις μετά από κάθε διάσπαση επανακτούν τα χαρακτηριστικά που είχαν πριν από αυτήν. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί μετά από μια ενδεχόμενη διάσπαση, στα πλαίσια μιας σειράς μετρήσεων ακολουθούν και άλλες δοκιμές της διηλεκτρικής αντοχής των μονώσεων.

#### 3.1. Χρήσιμα στοιχεία πιθανοθεωρίας.

Το σύνολο των αποτελεσμάτων ενός τυχαίου πειράματος ονομάζεται δειγματικός χώρος του τυχαίου πειράματος. Ας τον συμβολίσουμε με  $\Omega$ .

Πιθανότητα των υποσυνόλων  $E_i$  ενός δειγματικού χώρου είναι μια αριθμητική συνάρτηση των υποσυνόλων αυτών, με τις ιδιότητες:

$$1. 0 \leq P(E_i) \leq 1$$

$$2. P(\Omega) = 1$$

$$3. P\left(\bigcup_{n=1}^{\infty} E_n\right) = \sum_{n=1}^{\infty} P(E_n)$$

Ο δειγματικός χώρος και οι πιθανότητες όλων των υποσυνόλων του αποτελούν το πιθανοτικό μοντέλο  $(\Omega, P)$  ενός τυχαίου πειράματος.

Τυχαία μεταβλητή είναι μια αριθμητική συνάρτηση των αποτελεσμάτων ενός αφηρημένου πιθανοτικού μοντέλου  $(\Omega, P)$  με τέτοιο τρόπο ώστε οι πιθανότητες των συνόλων του αρχικού μοντέλου να μεταφέρονται στα νέα, αριθμητικά σύνολα του νέου χώρου. Αν η τυχαία μεταβλητή συμβολιστεί με  $X$  και με  $X(s)$  συμβολιστεί ο νέος χώρος στον οποίο αντιστοιχίζονται τα αφηρημένα αποτελέσματα του τυχαίου πειράματος, έχουμε τις εξής δύο περιπτώσεις:

Σε κάθε διακριτική τυχαία μεταβλητή μπορεί να αντιστοιχιστεί μια συνάρτηση  $f_X$  που ορίζεται:

$$f_X(x) = P(X=x), X \in X(s)$$

και έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

$$1) f_X(x) \geq 0, x \in X(s)$$

$$2) P(X \in B) = \sum_{x \in B} f_X(x), \forall B \subseteq X(S)$$

Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται πυκνότητα πιθανότητας ή κατανομή της τυχαίας μεταβλητής.

Ανάλογη συνάρτηση ορίζεται και σε κάθε συνεχή τυχαία μεταβλητή, που ονομάζεται μαζική συνάρτηση πιθανότητας ή κατανομή της τυχαίας μεταβλητής και έχει τις ιδιότητες:

$$1) f_X(x) \geq 0, x \in X(s)$$

$$2) P(X \in \Delta) = \int_{\Delta} f_X(x), \forall \Delta \subseteq X(S)$$

από τις οποίες προκύπτει ότι:

$$\int_{X(S)} f_X(x) dx = 1$$

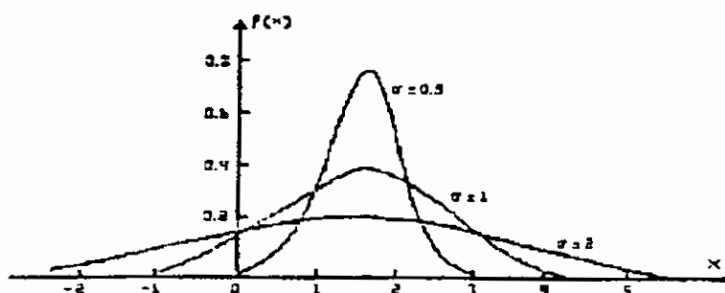
Ενώ δηλαδή η  $f(x)$  δίνει απευθείας την πιθανότητα κάθε τιμής της διακριτικής τυχαίας μεταβλητής  $X$ , στις συνεχείς τυχαίες μεταβλητές μας δίνει την πρώτη παράγωγο της πιθανότητας να βρίσκεται η τιμή της  $X$  σε ένα υποσύνολο  $X(s)$ .

Υπάρχουν μερικές χαρακτηριστικές κατανομές που περιγράφουν πολύ καλά, πρακτικά συναντώμενα πειράματα τύχης. Αυτή που θα μας χρησιμεύσει στην παρούσα εργασία είναι η λεγόμενη κανονική κατανομή ή κατανομή του Gauss, που περιγράφει συνεχείς τυχαίες μεταβλητές και δίνεται από τον τύπο:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} * e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, x \in \mathbb{R}, \mu \in \mathbb{R}, \sigma > 0$$

όπου  $\mu$  και  $\sigma$  είναι οι παράμετροι που πέρνουν τιμές ανάλογα με το συγκεκριμένο πείραμα τύχης που περιγράφεται πιθανοτικά από την παραπάνω σχέση.

Χωρίς να υπεισελθουμε σε αυστηρούς μαθηματικούς ορισμούς, θα δώσουμε με τη βοήθεια του σχήματος 3.1 τη φυσική σημασία των παραμέτρων  $\mu$  και  $\sigma$ , που στην πιθανοθεωρία ονομάζονται μαθηματική ελπίδα ή μέση τιμή και διασπορά ή τυπική απόκλιση τυχαίας μεταβλητής αντίστοιχα.



Σχήμα 3.1

Όπως βλέπουμε η κατανομή μιας τυχαίας μεταβλητής  $X$  που περιγράφεται από την κανονική κατανομή, είναι συμμετρική περί τη μέση τιμή  $\mu$  και το εύρος της ανάλογα με τη τιμή της τυπικής απόκλισης  $\sigma$ . Η μεν λοιπόν παράμετρος  $\mu$  δίνει το μέσο όρο των τιμών που μπορεί με μια ορισμένη πιθανότητα για κάθε μία να πάρει η τυχαία μεταβλητή  $X$  ή διαφορετικά την τιμή που πέρνει η  $X$  με πιθανότητα 50%. Η δε παράμετρος  $\sigma$  δείχνει πόσο απέχουν οι ακραίες πιθανές τιμές της τυχαίας μεταβλητής  $X$  από το μέσο όρο και μας δίνει μια πρόσθετη απαραίτητη πληροφορία για τη συγκεκριμένη μορφή της  $f(x)$ , δεδομένου ότι, για παράδειγμα, τα 5 και 15 έχουν μέσο όρο 10, όπως επίσης και τα 0 και 20, όμως στην πρώτη περίπτωση οι ακραίες τιμές απέχουν μεταξύ τους 10 μονάδες ενώ στη δεύτερη απέχουν 20 μονάδες.



### 3.2. Κατανομή της πιθανότητας διασπάσεως με κρουστικές τάσεις.

Αν μία κρουστική τάση με σταθερή μορφή και εύρος  $V$  εφαρμόζεται σε ένα διάκενο  $N$  φορές και προκαλεί  $n$  διασπάσεις ο λόγος  $P=n/N$  ορίζεται σαν πιθανότητα διασπάσεως του διακένου που αντιστοιχεί στην τάση  $V$ . Μπορούμε λοιπόν, σύμφωνα με όσα αναφέραμε παραπάνω, να θεωρήσουμε την τάση διασπάσεως σαν μία τυχαία μεταβλητή.

Είναι φανερό πως όταν το εύρος  $V$  της κρουστικής τάσεως μεταβάλλεται, ο λόγος  $P$  μπορεί να παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1. Η μαζική συνάρτηση πιθανότητας που περιγράφει την τυχαία μεταβλητή ονομάζεται κατανομή της πιθανότητας διάσπασης  $f(V)$ . Παρόλο που η  $f(V)$  εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του διακένου έχει προκύψει από πειράματα πως συχνά πλησιάζει μία κανονική κατανομή (Gauss), και έτσι έχει την αναλυτική έκφραση:

$$f(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} * e^{-\frac{(V-V_{50})^2}{2\sigma^2}}$$

όπου  $V_{50\%}$  είναι η τιμή της τάσης που αντιστοιχεί σε πιθανότητα διάσπασης 50% και ονομάζεται κρουστική τάση διάσπασης. Η πιθανότητα μιας κρουστικής τάσης εύρους  $V$  να προκαλέσει διάσπαση είναι συνεπώς:

$$P(V) = \int_{-\infty}^{\infty} f(V)dV = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} * \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(V-V_{50})^2}{2\sigma^2}} dV$$

και σχεδιασμένη σε φύλλο κανονικής κατανομής παριστάνεται από μία ευθεία.

Για τον καθορισμό της κανονικής κατανομής της πιθανότητας διάσπασης επαρκούν δύο παράμετροι: η μέση τιμή που είναι το εύρος  $V_{50\%}$  και η τυπική απόκλιση  $\sigma$ . Για την εκτίμηση των καταλληλότερων τιμών των παραμέτρων  $V_{50\%}$   $\sigma$  που αντιστοιχούν σε ένα ορισμένο διάκενο καθορίζονται πειραματικά πολλά ζεύγη τιμών  $P_i - V_i$  και κατόπιν καθορίζεται η συνάρτηση  $P(V)$  είτε με μεθόδους παρεμβολής, είτε με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας όπως θα περιγραφεί αναλυτικά στη συνέχεια.

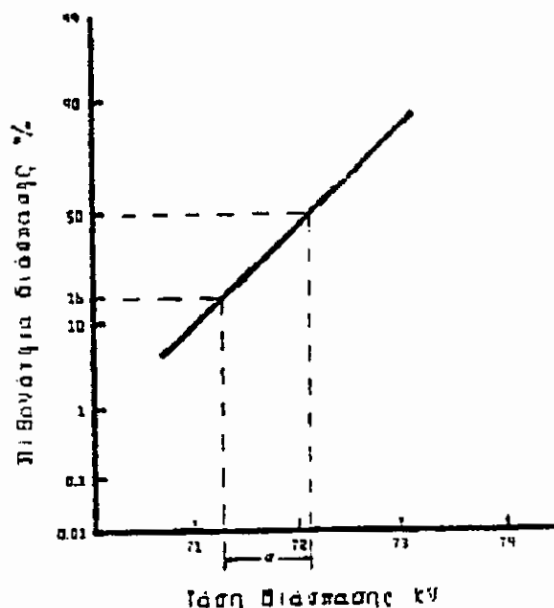
### 3.3. Καθορισμός αντιπροσωπευτικότερης κανονικής κατανομής μιας σειράς πειραματικών αποτελεσμάτων.

#### 3.3.1. Απλή γραφική μέθοδος.

Ένας απλός γραφικός τρόπος για τον καθορισμό των παραμέτρων  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  της συνάρτησης  $P(V)$  είναι η χρησιμοποίηση ενός φύλλου κανονικής κατανομής, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2, όπου η κλίμακα των  $P$  δίνεται από τον τύπο:

$$P = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

Η καμπύλη μιας κανονικής κατανομής σχεδιασμένη σε ένα τέτοιο φύλλο είναι ευθεία. Από πειράματα καθορίζουμε μερικά ζεύγη τιμών  $P_i - V_i$ , τα οποία όπως προηγουμένως έχουν σχέση κανονικής κατανομής μεταξύ τους. Τοποθετούμε τα ζεύγη  $P_i - V_i$  στο φύλλο κανονικής κατανομής και οπτικά χαράζουμε την καταλληλότερη ευθεία που παρεμβάλλεται στα οριζόμενα από τα ζεύγη σημεία.



Σχήμα 3.2

Αν τα πειραματικά αποτελέσματα δεν αποκλίνουν σημαντικά από την κανονική κατανομή, η μέθοδος είναι επαρκώς ακριβής για τις περισσότερες εφαρμογές. Αφού καθορίσουμε την καταλληλότερη ευθεία που αντιπροσωπεύει το πείραμα, βρίσκουμε επίσης γραφικά τα  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  όπως εικονίζεται στο σχήμα 3.2

Για τον καθορισμό της ευθείας που παριστάνει την κατανομή επαρκούν τέσσερα- πέντε ζεύγη  $P_i - V_i$ , που συνήθως επιδιώκεται να καλύπτουν την περιοχή από  $P=S-10\%$  μέχρι  $P=80\%-90\%$ .

### 3.3.2. Η μέθοδος της γραμμικής παρεμβολής.

Μια μεγαλύτερη ακρίβεια στον καθορισμό των παραμέτρων της συνάρτησης  $P(V)$  πετυχαίνεται με επέκταση της

απλής γραφικής μεθόδου που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, έτσι ώστε η ευθεία που παρεμβάλλεται στα πειραματικά σημεία,  $P_i - V_i$  να είναι πράγματι η καταλληλότερη.

Η μέθοδος είναι να θεωρήσουμε γνωστή μια παράμετρο (την  $V_{50\%}$  ή τη  $\sigma$ ) και να υπολογίσουμε μια καλύτερη εκτίμηση της άλλης. Μετά να θεωρήσουμε την υπολογισθείσα παράμετρο σωστή και την άλλη άγνωστη επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία μέχρι που παραπέρα επαναλήψεις να επιφέρουν ασήμαντες μεταβολές. Σημειώνουμε ότι πρακτικά είναι αρκετή μια μόνο επανάληψη. Επίσης, ότι είναι συνήθως καλύτερο να αρχίζουμε υποθέτοντας το  $V_{50\%}$  γνωστό, αφού αυτό καθορίζεται με καλύτερη προσέγγιση με την πρώτη οπτική εκτίμηση.

Έχουμε λοιπόν καταρχήν δεδομένα τα  $m$  πειραματικά ζεύγη  $P_i - V_i$ , όπου  $P_i$  η πιθανότητα που αντιστοιχεί σε επίπεδο τάσης  $V_i$  στο οποίο έχουμε  $n_i$  διασπάσεις στις  $N_i$  εφαρμογές της καθώς επίσης και την τιμή  $V_{50\%}$  που προκύπτει οπτικά από την τοποθέτηση των πειραματικών σημείων στο φύλλο κανονικής κατανομής.

Ενώνουμε κάθε σημείο  $P_i - V_i$  με μία ευθεία με το σημείο  $P_{50\%} - V_{50\%}$ . Από κάθε ευθεία εκτιμούμε ένα  $\sigma_i$  από τη σχέση:

$$\sigma_i = V_{50\%} - (V_{16\%})_i$$

Σε κάθε σημείο  $\sigma_i$  δίνουμε μία βαρύτητα  $W_i$  με την οποία παίρνονται υπόψη:

Ο συντελεστής βαρύτητας που αναφέρεται στον αριθμό εφαρμογών της τάσης είναι ο ίδιος αριθμός  $N_i$  και ο συντελεστής  $w_i$  με τον οποίο λαμβάνεται υπόψη το επίπεδο πιθανότητας δίνεται από την καμπύλη του σχήματος 3.3. Έτσι έχουμε ότι:

$$W_i = N_i \cdot w_i$$

Η καλύτερη εκτίμηση του  $\sigma$  θα είναι η μέση τιμή των  $\sigma_i$  λαμβανομένης υπόψη της βαρύτητας που έχει δοθεί σε καθένα από αυτά. Η αντιπροσωπευτικότερη λοιπόν τιμή του  $\sigma$  θα είναι:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^m W_i \sigma_i}{\sum_{i=1}^m W_i} = \frac{\sum_{i=1}^m N_i w_i [V_{50} - (V_{16})_i]}{\sum_{i=1}^m N_i w_i}$$

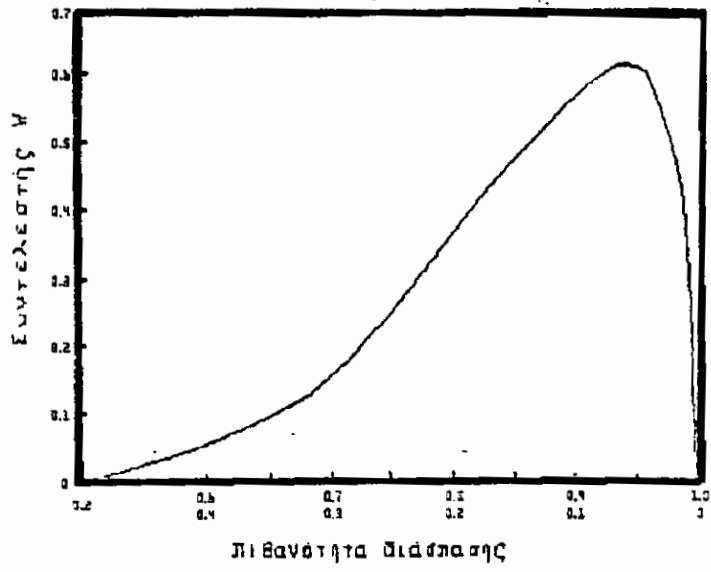
Αν υπάρχει αμφιβολία για την ακρίβεια καθορισμού του  $V_{50\%}$  η διαδικασία αντιστρέφεται και θεωρώντας το διορθωμένο  $\sigma$  γνωστό ξαναυπολογίζουμε το  $V_{50\%}$ .

Από κάθε πειραματικό σημείο  $P_i - V_i$  χαράζουμε μια ευθεία που να έχει σαν τυπική απόκλιση την τιμή του  $\sigma$  που καθορίστηκε πιο πάνω. Οι  $m$  ευθείες που θα προκύψουν θα είναι μεταξύ τους παράλληλες και από κάθε μία από αυτές καθορίζουμε μια τιμή  $(V_{50\%})_i$ .

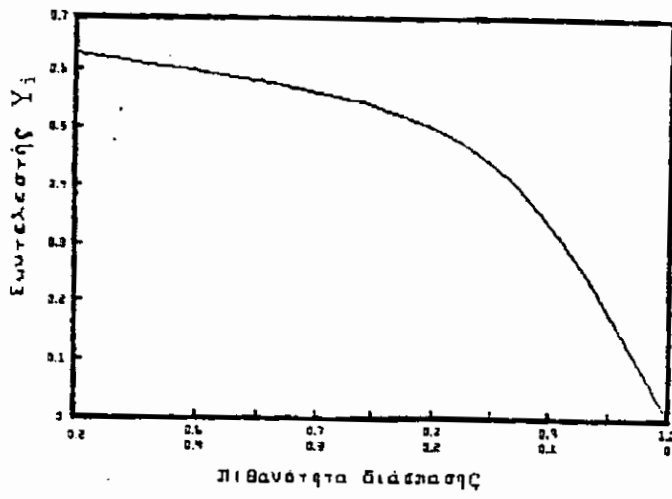
Η μέση τιμή των  $(V_{50\%})_i$  δίνει την αντιπροσωπευτικότερη τιμή του  $V_{50\%}$  με την προϋπόθεση πάλι πως σε κάθε  $(V_{50\%})_i$  δίνεται ένας συντελεστής βαρύτητας  $Y_i$ , με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη αφενός ο αριθμός εφαρμογών της τάσεως  $V_i$ ,  $N_i$  και αφεταίρου το επίπεδο πιθανότητας που αντιστοιχεί στην τάση  $V_i$  μέσω του συντελεστή  $Y_i$  που δίνεται στο σχήμα 3.4.

Έτσι η αντιπροσωπευτικότερη τιμή του  $V_{50\%}$  δίνεται από τη σχέση:

$$V_{50\%} = \frac{\sum_{i=1}^m N_i Y_i (V_{50\%})_i}{\sum_{i=1}^m N_i Y_i}$$



Σχήμα 3.3



Σχήμα 3.4

### 3.3.3. Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Μια άλλη μέθοδος για να εκτιμήσουμε προσεγγιστικά από τα δεδομένα ενός πειράματος με περιορισμένο αριθμό εφαρμογής κρούσεων τα  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  είναι εκείνη της μέγιστης πιθανοφάνειας που θα περιγράψουμε στη συνέχεια.

Έστω πως στο ορισμένο διάκενο εφαρμόζονται  $n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_n$  κρούσεις σε κάθε ένα από τα  $N$  διαφορετικά επίπεδα τάσης  $V_1, V_2, \dots, V_k, \dots, V_N$  που καταλήγουν αντίστοιχα σε  $X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_n$  διασπάσεις. Αν η θεωρητική πιθανότητα που αντιστοιχεί στο επίπεδο  $V_k$  είναι  $P_k$  η πιθανότητα  $f(X_k)$  να συμβούν  $X_k$  διασπάσεις είναι σύμφωνα με τη διωνυμική κατανομή:

$$f(X_k) = \frac{n_k!}{X_k!(n_k - X_k)!} * P_k^{X_k} * (1 - P_k)^{(n_k - X_k)}$$

Με την προϋπόθεση ότι οι πιθανότητες  $f(X_k)$  είναι ανεξάρτητα φαινόμενα, η πιθανότητα να εμφανιστεί ακριβώς η διαδοχή αποτελεσμάτων  $X_1, X_2, \dots, X_n$  δίνεται από το γινόμενο:

$$L = \prod_{k=1}^N f(X_k) = \prod_{k=1}^N \frac{n_k!}{X_k!(n_k - X_k)!} * P_k^{X_k} * (1 - P_k)^{(n_k - X_k)}$$

Η κατανομή των  $P_k$  για την οποία η τιμή του  $L$  γίνεται μέγιστη αποτελεί την πιο αντιπροσωπευτική κατανομή των πειραματικών αποτελεσμάτων. Συνεπώς θα πλησιάζει περισσότερο τη θεωρητική κατανομή του φαινομένου. Οι παράμετροι λοιπόν  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  της αντιπροσωπευτικότερης κατανομής μπορούν να εκτιμηθούν από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\frac{\partial(L)}{\partial(V_{50})} = \frac{\partial(L)}{\partial(\sigma)} = 0$$

Οι μερικές παράγωγοι υπολογίζονται ευκολότερα αν αντί για το  $L$  χρησιμοποιηθεί ο φυσικός λογάριθμος  $\ln L$  οπότε η σχέση μεγιστοποίησης γίνεται:

$$\frac{\partial(\ln L)}{\partial(V_{50})} = \frac{\partial(\ln L)}{\partial(\sigma)} = 0$$

που αναλύεται στις:

$$\frac{\partial(\ln L)}{\partial(V_{50})} = \sum_{k=1}^N \frac{X_k - n_k P_k}{P_k (1 - P_k)} \cdot \frac{\partial(P_k)}{\partial(V_{50})} = 0 \quad (1a)$$

$$\frac{\partial(\ln L)}{\partial(\sigma)} = \sum_{k=1}^N \frac{X_k - n_k P_k}{P_k (1 - P_k)} \cdot \frac{\partial(P_k)}{\partial(\sigma)} = 0 \quad (1b)$$

Επειδή εξ υποθέσεως η  $P_k$  ακολουθεί την κανονική κατανομή ισχύει η σχέση:

$$P_k = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^{V_k} e^{-\frac{(V_k - V_{50})^2}{2\sigma^2}} dV_k$$

που μετασχηματίζεται σε:

$$P_k = \int_{-\infty}^{Y_k} \xi_k dY$$



αν θεωρήσουμε ότι:

$$\Xi_k = \frac{e^{-\frac{Y_k^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$$

$$Y_k = \frac{V_k - V_{50}}{\sigma}$$

Έτσι οι σχέσεις (1a) και (1b) παίρνουν τη μορφή:

$$S_1 = \sum_{k=1}^N \frac{X_k - n_k P_k}{P_k (1 - P_k)} * \Xi_k = 0 \quad (2a)$$

$$S_2 = \sum_{k=1}^N \frac{X_k - n_k P_k}{P_k (1 - P_k)} * \Xi_k * Y_k = 0 \quad (2b)$$

Το σύστημα των (2a) και (2b) στο οποίο καταλήξαμε περιέχει τις μεταβλητές  $P_k$ ,  $\Xi_k$ ,  $Y_k$  που όμως είναι όλες συναρτήσεις των δύο μόνο παραμέτρων  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  της αντιπροσωπευτικότερης κατανομής και κατά συνέπεια μπορεί να επιλυθεί ως προς αυτές.

Επειδή όμως τα  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  υπεισέρχονται στις εξισώσεις υπό πεπλεγμένη μορφή δεν είναι δυνατό να βρεθούν με συμβατικό τρόπο και έτσι ακολουθείται για τον υπολογισμό τους η μέθοδος των διαδοχικών προσεγγίσεων. Ο αλγόριθμος είναι ο εξής:

Χρησιμοποιούμε σαν πρώτη προσέγγιση τις τιμές που εκτιμάμε με κάποια απλή μέθοδο (π.χ. γραφική) ή ακόμα και τις τιμές:

$$(V_{50\%}) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V_k$$

$$\sigma = 0,05 * V_{50\%}$$

Αντικαθιστούμε τις τιμές στις (2a) και (2b) και έτσι προκύπτουν οι τιμές των  $S_1, S_2$  που γενικά είναι λίγο διαφορετικές από το μηδέν.

Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται νέες τιμές των  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  που αποτελούν καλύτερη προσέγγιση της λύσης των (2a) και (2b). Οι τιμές αυτές είναι:

$$(V_{50\%})' = V_{50\%} + \Delta V_{50\%}$$

$$(\sigma)' = \sigma + \Delta\sigma$$

με  $\Delta V_{50\%}$  και  $\Delta\sigma$  τέτοια ώστε να ισχύουν οι σχέσεις:

$$S_1' \approx S_1 + \frac{\partial(S_1)}{\partial(V_{50\%})} * \Delta V_{50\%} + \frac{\partial(S_1)}{\partial(\sigma)} * \Delta\sigma = 0 \quad (3a)$$

$$S_2' \approx S_2 + \frac{\partial(S_2)}{\partial(V_{50\%})} * \Delta V_{50\%} + \frac{\partial(S_2)}{\partial(\sigma)} * \Delta\sigma = 0 \quad (3b)$$

Οι νέες τιμές  $S_1$  και  $S_2$  θα πλησιάζουν περισσότερο το μηδέν και συνεπώς οι διορθωμένες τιμές των  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  θα

πλησιάζουν περισσότερο τις αναζητούμενες. Για τη λύση των (3a) και (3b) χρειάζονται οι μερικές παράγωγοι των  $S_1, S_2$  ως προς  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  που θα περιέχουν μεγάλο αριθμό όρων γιατί τα  $S_1, S_2$  είναι άθροισμα πολλών προσθετέων. Ο υπολογισμός των παραγώγων συντομεύεται αν αντί για τις ακριβείς εκφράσεις χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω προσεγγιστικές:

$$\frac{\partial(S_1)}{\partial(V_{50})} \approx \frac{1}{\sigma} \sum_{K=1}^N r_k$$

$$\frac{\partial(S_1)}{\partial(\sigma)} = \frac{\partial(S_2)}{\partial(V_{50})} \approx \frac{1}{\sigma} \sum_{K=1}^N r_k Y_k$$

$$\frac{\partial(S_2)}{\partial(\sigma)} \approx \frac{1}{\sigma} \sum_{K=1}^N r_k Y_k^2$$

όπου:

$$r_k = \frac{n_k * \bar{x}_k^2}{P_k (1 - P_k)}$$

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται όσες ακόμα φορές θέλουμε αν και συνήθως δύο ή τρεις προσεγγίσεις είναι αρκετές. Είναι ευνόητο ότι η τυποποίηση της μεθόδου επιτρέπει την ανάθεση της υπολογιστικής δουλειάς στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ενός κατάλληλου προγράμματος. Σημειώνουμε ότι χρήση του υπολογιστή έγινε και στην επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

### 3.3.3.1. Υπολογισμός της διασποράς.

Αν το πείραμα με τα ίδιο διάκενο επαναληφθεί πολλές φορές και από κάθε μια καθορίζεται με την παραπάνω μέθοδο ένα ζεύγος τιμών  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  οι διάφορες τιμές θα παρουσιάζουν διασπορές  $V(V_{50\%})$  και  $V(\sigma)$  που δίνονται από τους τύπους:

$$V(V_{50}) = \frac{\sigma^2}{D} \sum_{K=1}^N r_K Y_K^2$$

$$V(\sigma) = \frac{\sigma^2}{D} \sum_{K=1}^N r_K$$

όπου:

$$r_K = \frac{n_K * \bar{x}_K^2}{P_K (1 - P_K)}$$

$$D = \left( \sum_{K=1}^N r_K Y_K^2 \right) \left( \sum_{K=1}^N r_K \right) - \left( \sum_{K=1}^N r_K Y_K \right)^2$$

Αν αντί για τη διασπορά των  $V_{50\%}$  και  $\sigma$  ζητείται η διασπορά  $V(V_B)$  της τάσης  $V_B$  που αντιστοιχεί σε ορισμένη πιθανότητα  $P_B$  ή η διασπορά  $V(P_B)$  της πιθανότητας  $P_B$  που αντιστοιχεί σε ορισμένη τάση  $V_B$  οι αντίστοιχοι τύποι είναι:

$$V(V_B) = \frac{\sigma^2}{D} \sum_{K=1}^N r_K (Y_K - Y_B)^2$$

$$V(P_B) = \frac{\sum_{k=1}^N r_k (Y_k - Y_B)^2}{D}$$

Για να εκτιμηθούν από τις παραπάνω τιμές της διασποράς  $V$  όρια αξιοπιστίας μέσα στα οποία περιέχεται με ορισμένη πιθανότητα  $P$  (συνήθως 95%), η αντίστοιχη θεωρητική τιμή γίνεται για απλούστευση δεκτό, πως ο αριθμός των κρούσεων είναι αρκετά μεγάλος, ώστε η εκτιμηθείσα τιμή (παριστάμενη μέσα σε αγκύλη) να είναι πολύ κοντά στην αντίστοιχη θεωρητική τιμή (χωρίς αγκύλη). Με την παραδοχή αυτή η αξιοπιστία καθορίζεται από ένα ορισμένο αριθμό  $t$  τυπικών αποκλίσεων  $\sigma = \sqrt{V}$ . Για αξιοπιστία  $P=95\%$  π.χ.  $t=1,96$  ενώ για  $P=99\%$   $t=2,33$ . Για τα διάφορα μεγέθη που αναφέρθηκαν πιο πάνω, τα 95% όρια αξιοπιστίας θα είναι:

$$[V_{50}] \pm 1,96\sqrt{V(V_{50})}$$

$$[\sigma] \pm 1,96\sqrt{V(\sigma)}$$

Όταν δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια για τη διασπορά της πιθανότητας  $P_B$  μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί ο τύπος:

$$V(P_k) = \frac{P_k(1-P_k)}{n_k}$$

όπου  $n_k$  ο αριθμός των κρούσεων στο επίπεδο  $k$ . Από τον τύπο αυτό μπορεί να καθοριστεί προσεγγιστικά ο απαιτούμενος αριθμός κρούσεων  $n_k$  ώστε η  $V(P_k)$  να έχει ορισμένη τιμή:

$$\eta_k \approx \frac{[P_k](1-[P_k])}{V[P_k]}$$

οπότε η πιθανότητα  $P_k$  θα έχει ορισμένη αξιοπιστία.

## **Κεφάλαιο 4ο**

### **Πειραματική διαδικασία και διορθώσεις λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών.**

#### **4.1. Εργαστηριακές δοκιμές σε διάκενο σφαίρας-πλάκας.**

Στο εργαστήριο υψηλών τάσεων μετρήσαμε την πιθανότητα διάσπασης διακένου μεταξύ σφαίρας και πλάκας.

Μελετήσαμε το φαινόμενο για διαφορετικά μήκη διακένου, έχοντας σαν παράμετρο την ακτίνα της σφαίρας. Για τις πειραματικές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικά σφαιρίδια τα οποία προμηθευτήκαμε από το εμπόριο.

#### **4.2. Περιγραφή πειραματικής διάταξης.**

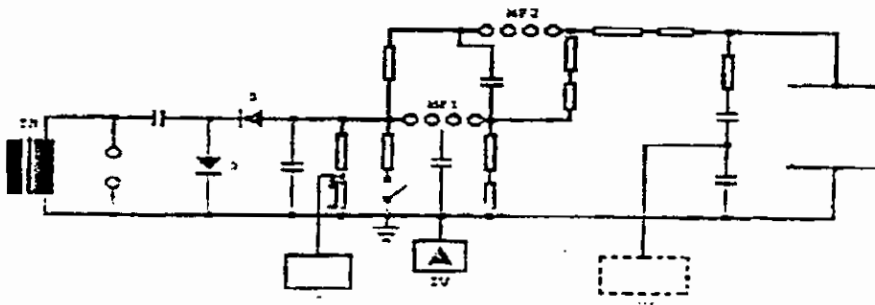
Το κυκλωματικό διάγραμμα ολόκληρης της διάταξης που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των πειραμάτων φαίνεται στο σχήμα 4.1. Ο κύριος όγκος του διαγράμματος εκτός από τις ανεξάρτητες συσκευές που συμβολίζονται SB, IV και SV, παριστάνει την κρουστική γεννήτρια δυναμικότητας 400 kV που κατασκευάστηκε από την εταιρία Haefely.

Η κρουστική γεννήτρια τροφοδοτείται απ' ευθείας από το δίκτυο, η τάση του οποίου πολλαπλασιάζεται μέσω του μετασχηματιστή TH και κατόπιν ανορθώνεται μέσω του κυκλώματος που περιλαμβάνει τις διόδους υψηλής τάσεως D.

Στο κυκλωματικό διάγραμμα φαίνονται οι σπινθηριστές της κρουστικής γεννήτριας που συμβολίζονται με MF1 και MF2, καθώς και το κύκλωμα έναυσης που συμβολίζεται με τη σειρά του IV και παριστάνεται με ένα κουτί. Τα επιμέρους στοιχεία του κυκλώματος δεν αναλύονται. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το κύκλωμα έναυσης έχει σαν βασικό στοιχείο μια λυχνία Krytron.

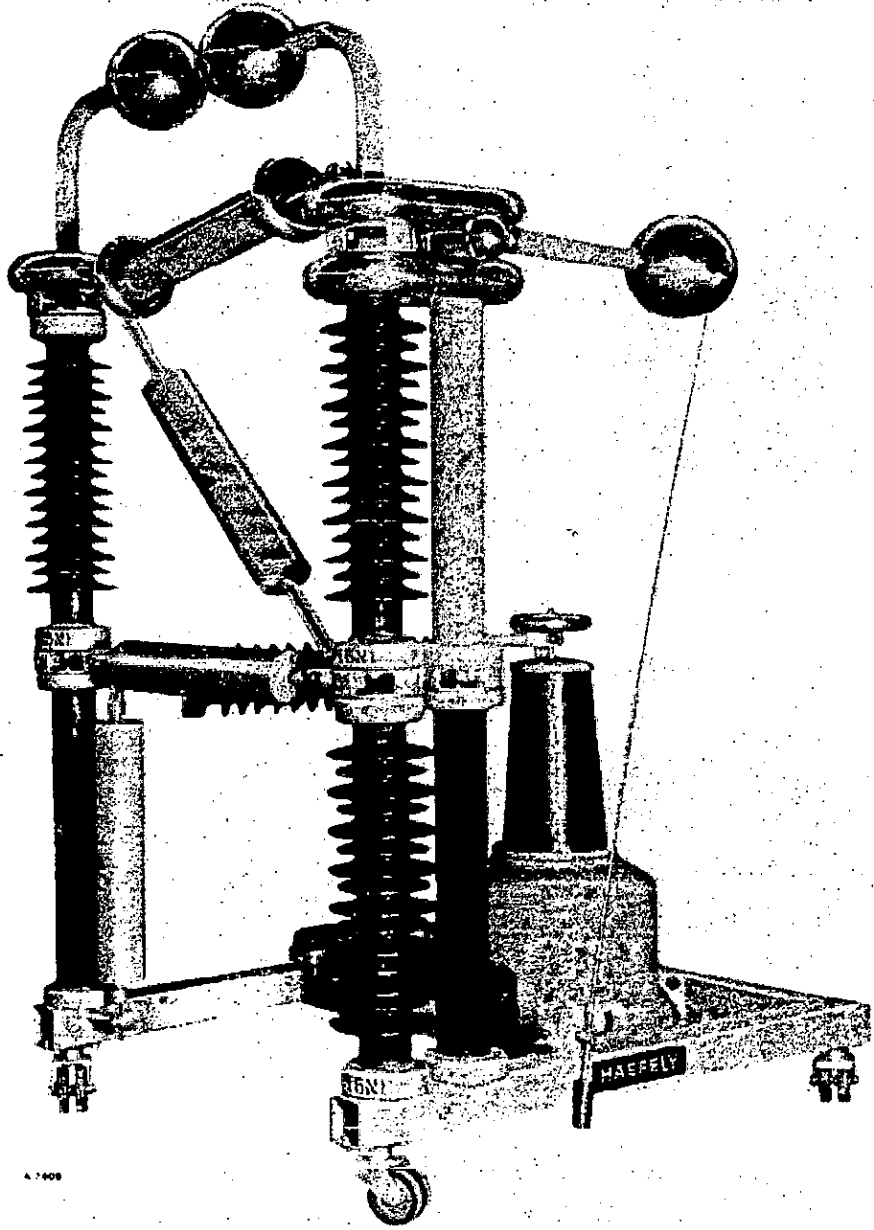
Για τον έλεγχο του επιπέδου τάσης των φορτίσεων στις οποίες υποβάλλαμε τα διάκενα καθώς επίσης και για την παρακολούθηση της κατάστασης όλης της εγκατάστασης και της μέτρησης της τάσης και του ρεύματος εξόδου του μετασχηματιστή χρησιμοποιήσαμε το control box τύπου 273 της Haefely που στο κυκλωματικό διάγραμμα συμβολίζεται με SB.

Τέλος μέσω του κρουστικού βολτομέτρου κορυφής τύπου 65 της Haefely το οποίο στο διάγραμμα συμβολίζεται με SV, είχαμε τη δυνατότητα να μετράμε το εύρος των κρουστικών τάσεων που επιβάλλαμε στα διάκενα, στη διάρκεια των πειραμάτων. Η αδράνεια της ενδεικτικής βελόνας του οργάνου όταν έφτανε να δείχνει την peak τιμή της επιβαλλόμενης κρουστικής τάσης, εξασφάλιζε την άνετη ανάγνωση της ένδειξης, παρά την απειροελάχιστη διάρκεια της φόρτισης.



Σχήμα 4.1

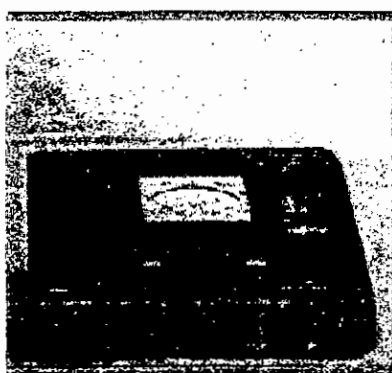




A. 17408



Control box



Κρουστικό βολτόμετρο κορυφής

### 4.3. Περιγραφή πειράματος.

Για κάθε συνδιασμό διακένου και σφαίρας, εκτελέσαμε την παρακάτω διαδικασία:

Μέσω του control box ρυθμίσαμε την τάση φόρτισης προσέχοντας ώστε να μην πέσουμε στην πιθανότητα διάσπασης

0% και 100%. Αυτό το πετύχαμε ρίχνοντας μερικές "δοκιμαστικές βολές". Καταγράψαμε την ένδειξη της φόρτισης που διαβάσαμε στο κρουστικό βολτόμετρο και το εάν έγινε ή όχι διάσπαση με τα σημεία + ή - αντίστοιχα. Επαναλάβαμε το πείραμα είκοσι με εικοσιπέντε φορές ανάλογα με την περίπτωση.

Κατά τακτά χρονικά διαστήματα μετρούσαμε την ατμοσφαιρική πίεση, την θερμοκρασία και την απόλυτη υγρασία, βάσει των οποίων κάναμε τις διορθώσεις της τιμής  $V_i$  με την διαδικασία που θα αναπτύξουμε πιο κάτω. Η εύρεση της απόλυτης υγρασίας έγινε έμμεσα από τις ενδείξεις ξηρού και υγρού θερμομέτρου, τις οποίες πήραμε από ένα ειδικό όργανο, το ψυχρόμετρο, σε συνδιασμό με το ειδικό διάγραμμα που παραθέτουμε στη συνέχεια

#### **4.4. Διόρθωση πειραματικών τιμών της τάσης διάσπασης λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών.**

Όπως προαναφέραμε, η τάση διάσπασης ενός διακένου αέρα, εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα και μάλιστα αυξάνεται ευθέως ανάλογα με αυτήν. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση και την θερμοκρασία. Σύμφωνα με τον μηχανισμό αυτό, η τάση διάσπασης θα πρέπει να εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση και τη θερμοκρασία και μάλιστα να αυξάνεται με την πίεση και να ελατώνεται με την θερμοκρασία.

Ο συντελεστής διόρθωσης της τάσης για την πυκνότητα του αέρα, είναι ο συντελεστής με τον οποίο πολλαπλασιάζουμε την τάση διάσπασης του πειράματος στις συνθήκες πειράματος, για την αναγωγή της σε μία τάση διάσπασης που θα αντιστοιχούσε στις κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας  $t_0=20^{\circ}\text{C}$  ή  $T_0=293\text{ K}$  και ατμοσφαιρικής πίεσης  $P_0=760\text{ mmHg}$ .

Ο συντελεστής αυτός, όπως εύκολα μπορεί να δικαιολογήσει κανείς, είναι το αντίστροφο της σχετικής πυκνότητας  $K_d$ , δηλαδή είναι:

$$\frac{1}{K_d} = \frac{P_0}{P} \frac{T}{T_0}$$

όπου  $P$  και  $T$  η πίεση και η θερμοκρασία σε συνθήκες πειράματος.

Η διόρθωση της τάσης διάσπασης για την επίδραση της υγρασίας είναι περίπλοκη. Η πιο συνήθης μέθοδος μέτρησης υγρασίας είναι με δύο θερμομέτρα, ένα υγρό και ένα ξηρό. Οι απόλυτες υγρασίες προκύπτουν από τις ενδείξεις των θερμομέτρων με την βοήθεια του διαγράμματος (σχ 4.2).

Πειραματικά αποτελέσματα με επιβολή κρουστικής τάσης έχουν δείξει ότι όταν μειώνεται η σχετική πυκνότητα του αέρα αυξάνεται η επίδραση της υγρασίας στην τάση διάσπασης και αντίστροφα. Ακολουθήσαμε τον πειραματικό τύπο:

$$K_h = \frac{1}{1 + \frac{H - H_0}{100K_d}}$$

όπου:

$H$ : απόλυτη υγρασία σε συνθήκες πειράματος

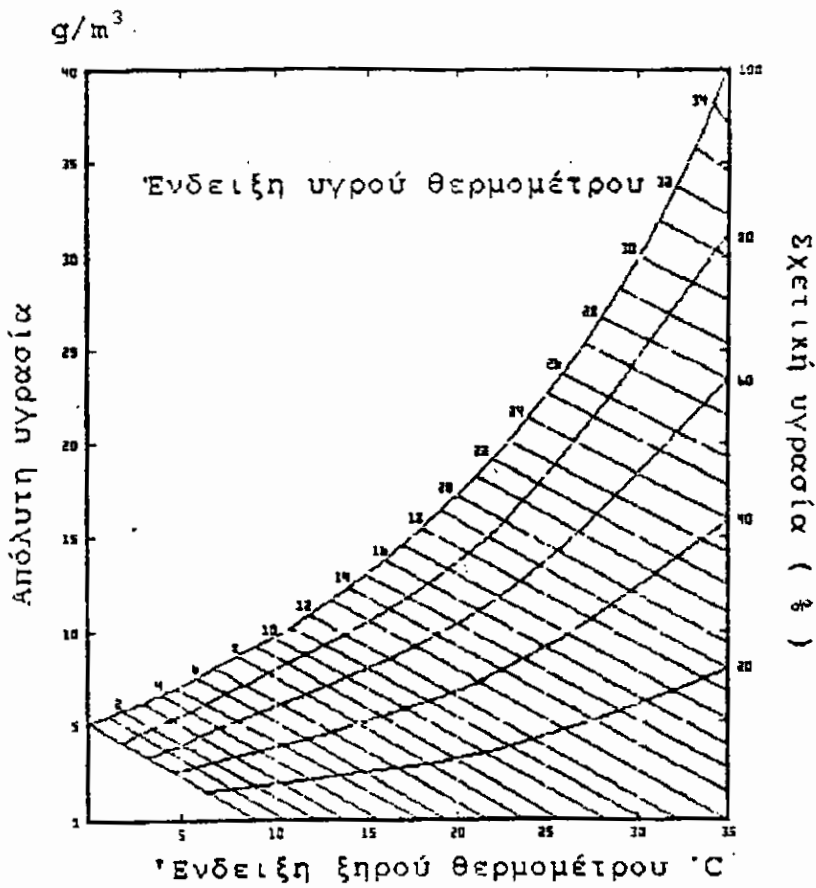
$H_0$ :  $11\text{g/m}^3$

από τον οποίο παίρνουμε τον συντελεστή  $K_h$  για την υγρασία.

Συμπερασματικά για να ανάγουμε την τάση διάσπασης στις συνθήκες πειράματος  $V_i$ , σε υποτιθέμενη τάση διάσπασης με κανονικές συνθήκες  $V_0$ , για να έχουν νόημα η μελέτη και οι

ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΥΤΗΣ, ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ ΤΟΝ ΕΞΗΣ ΤΥΠΟ:

$$V_0 = \frac{1}{K_d} K_h V_i$$



Σχήμα 4.2

## 4.5 Σχολίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

Καταρχήν θα πρέπει να αναφέρουμε μερικές δυσκολίες και προβλήματα που παρατηρήθηκαν στην διάρκεια των πειραμάτων και τα οποία λίγο ή πολύ προκάλεσαν αποκλίσεις των πιθανοτικών δεδομένων διάσπασης που πήραμε από τα πραγματικά. Πρώτη δυσκολία ήταν η αστάθεια του δικτύου από το οποίο τροφοδοτείτο τόσο η κρουστική γεννήτρια όσο και οι άλλες χρησιμοποιηθείσες ηλεκτρικές συσκευές και όργανα. Η αστάθεια επηρέαζε απευθείας την τάση φόρτισης των διακένων αφού μεταξύ κρουστικής γεννήτριας και πηγής τροφοδοσίας δεν μεσολαβούσε καμία σταθεροποιητική διάταξη.

Μια δεύτερη δυσκολία ήταν ότι σημαντική μεταβολή της πιθανότητας διάσπασης ενός διακένου αντιστοιχούσε σε σχετικά μικρή διακύμανση του επιπέδου της τάσης φόρτισης του διακένου συγκρίσιμη με την ακρίβεια μέτρησης του κρουστικού βολτομέτρου. Εξάλλου η κλίμακα μέτρησης του κρουστικού βολτομέτρου που δεν είναι και τόσο ευανάγνωστη είναι πιθανό να προκάλεσε ένα συστηματικό σφάλμα στην ανάγνωση των ενδείξεων από τις οποίες καθορίσαμε το επίπεδο τάσης για κάθε πιθανότητα.

Όλες οι μετρήσεις πάρθηκαν σε διάστημα λίγων ημερών στην διάρκεια των οποίων δεν είχαμε σημαντική μεταβολή των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Παρόλα αυτά κάναμε τις σχετικές διορθώσεις, βάση της θεωρίας που αναπτύχθηκε σε προηγούμενη παράγραφο γεγονός που δίνει μεγαλύτερη αξιοπιστία στα πειραματικά μας αποτελέσματα.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι πειραματικές τιμές που πήραμε ήταν αρκετά καλές αφού δεν παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση από τις αντίστοιχες θεωρητικές.

**Φύλλα Μετρήσεων Εργαστηρίου και  
Διαγράμματα**

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Από την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων σχηματίσαμε μια καμπύλη στο επίπεδο τάση διάσπασης - ακτίνα σφαίρας. Ένα δείγμα αυτών των καμπυλών παραθέτουμε στην συνέχεια και αφορά το διάκενο των 15cm μια και ήταν το καταλληλότερο για να απεικονιστεί.

Αναμενόμενο ήταν να πάρουμε μεγαλύτερη τάση διάσπασης για μεγαλύτερο διάκενο. Επίσης διακρίνουμε στο διάγραμμα τις τρεις περιοχές που είναι γνωστές από την θεωρία που έχει αναπτυχθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Έτσι για σφαίρες με μεγάλη ακτίνα έχουμε την περιοχή της "άμμεσης διάσπασης". Εδώ με την πρώτη έναρξη κορόνα από την επιφάνεια της σφαίρας οι οχετοί της φτάνουν μέχρι το επίπεδο και ολοκληρώνεται αμέσως η διάσπαση. Το φαινόμενο εξελίσσεται χωρίς την παρεμβολή της φάσης του βηματιστικού οχετού προεκκένωσης και είναι ταχύ. Μοιάζει με τη διάσπαση σε ομοιογενές διάκενο [ $(1/R) = 0$ ].

Αμέσως δεξιότερα παρατηρούμε την περιοχή "έμμεσης διάσπασης" όπου καθοριστικό ρόλο παίζει ο βηματιστικός οχετός προεκκένωσης. Εδώ οι οχετοί της πρώτης κορόνα δεν φτάνουν μέχρι το επίπεδο. Είναι προφανές ότι στην περιοχή αυτή η τάση διάσπασης που απαιτείται είναι μεγαλύτερη από την τάση έναρξης κορόνα. Όσο μικραίνει η ακτίνα η συμβολή του οχετού προεκκένωσης μεγαλώνει και γι' αυτό έχουμε μείωση της τάσης διάσπασης.

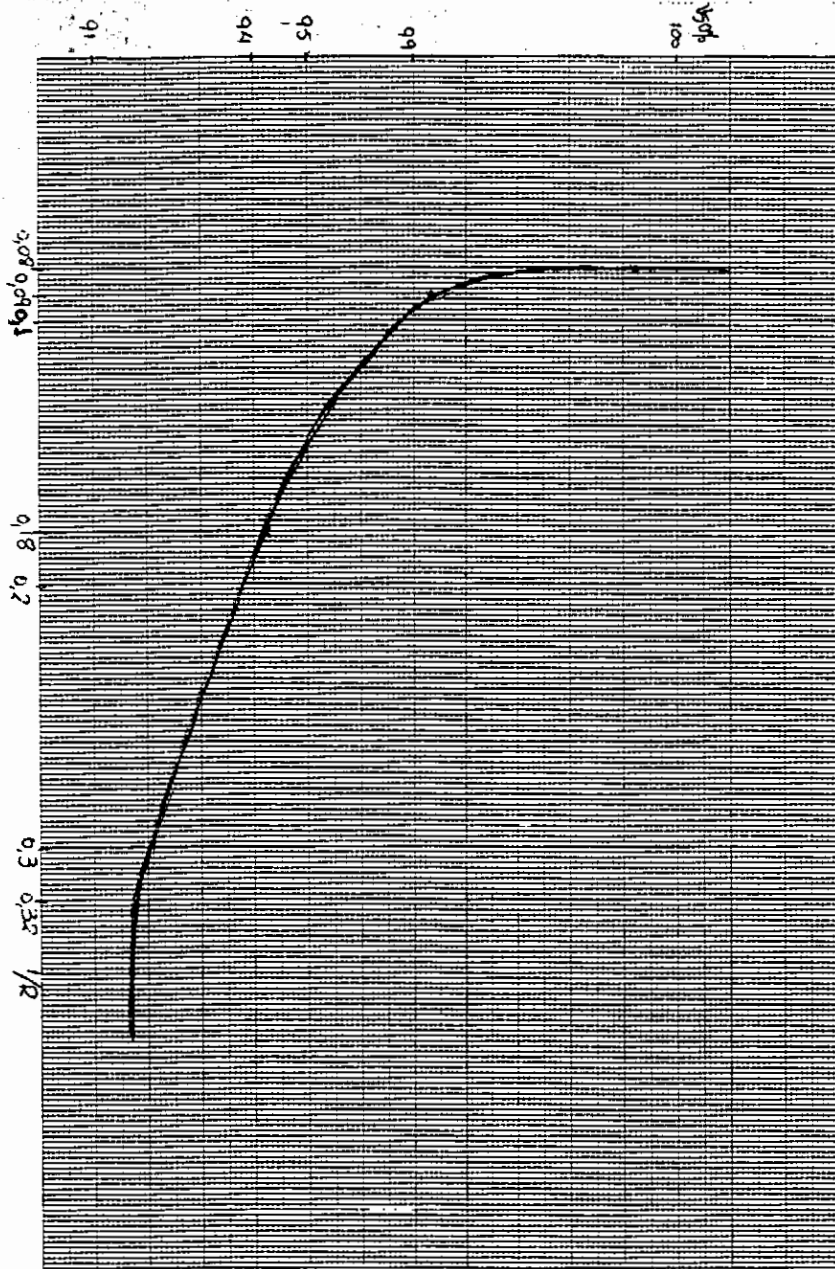
Τέλος για σφαίρες μικρότερες κάποιας ακτίνας δεν επηρεάζεται πλέον αισθητά η τάση διάσπασης. Τείνει δε ασυμπτωτικά στην τάση διάσπασης ακίδας - πλάκας ( $R=0$ ).

Κλείνουμε την εργασία παραθέτοντας τις εργαστηριακές μετρήσεις καθώς και την απεικόνιση των σημείων σε φύλλα κανονικής κατανομής.



Πίνακας διακένου 15cm του διαγράμματος τάση διάσπασης - ακτίνα σφαίρας

| Μήκος διακένου 15cm    |      |                       |
|------------------------|------|-----------------------|
| Διάμετρος σφαίρας (mm) | 1/R  | V <sub>50%</sub> (kV) |
| 6.25                   | 0.32 | 91.718                |
| 11                     | 0.18 | 94.006                |
| 22.15                  | 0.09 | 99.223                |
| 25                     | 0.08 | 99.838                |



**Συγκεντρωτικοί πίνακες**

| διάμετρος σφαίρας 6.25mm |                 |               |
|--------------------------|-----------------|---------------|
| μήκος διακένου<br>(cm)   | $V_{50\%}$ (kV) | $\sigma$ (kV) |
| 9                        | 71.771          | 1.769         |
| 12                       | 86.46           | 6.048         |
| 15                       | 91.718          | 3.469         |

| διάμετρος σφαίρας 11mm |                 |               |
|------------------------|-----------------|---------------|
| μήκος διακένου<br>(cm) | $V_{50\%}$ (kV) | $\sigma$ (kV) |
| 9                      | 67.097          | 2.731         |
| 12                     | 83.965          | 3.659         |
| 15                     | 94.006          | 10.757        |

| διάμετρος σφαίρας 2.215cm |                 |               |
|---------------------------|-----------------|---------------|
| μήκος διακένου<br>(cm)    | $V_{50\%}$ (kV) | $\sigma$ (kV) |
| 9                         | 70.155          | 2.575         |
| 12                        | 84.018          | 2.044         |
| 15                        | 99.223          | 4.016         |

| διάμετρος σφαίρας 2.5cm |                 |               |
|-------------------------|-----------------|---------------|
| μήκος διακένου<br>(cm)  | $V_{50\%}$ (kV) | $\sigma$ (kV) |
| 9                       | 68.095          | 2.041         |
| 12                      | 82.663          | 2.702         |
| 15                      | 99.838          | 2.411         |

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ**Σύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 9cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 23°C
- απόλυτη υγρασία → 14.6gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης

→ 40%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 71.0709KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 75      | - | 10 | 75      | + | 19 | 75      | + |
| 2 | 75      | - | 11 | 75      | - | 20 | 75      | - |
| 3 | 75      | - | 12 | 75      | - |    |         |   |
| 4 | 75      | - | 13 | 75      | + |    |         |   |
| 5 | 75      | + | 14 | 75      | + |    |         |   |
| 6 | 75      | - | 15 | 75      | - |    |         |   |
| 7 | 75      | - | 16 | 75      | + |    |         |   |
| 8 | 75      | - | 17 | 75      | - |    |         |   |
| 9 | 75      | + | 18 | 75      | + |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 9cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 754mmHg
- θερμοκρασία → 23°C

απόλυτη υγρασία → 14.6gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 55%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 72.0185KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       |   |
| 1 | 76      | + | 10 | 76      | - | 19 | 76      | + |
| 2 | 76      | - | 11 | 76      | + | 20 | 76      | + |
| 3 | 76      | + | 12 | 76      | + |    |         |   |
| 4 | 76      | + | 13 | 76      | + |    |         |   |
| 5 | 76      | - | 14 | 76      | - |    |         |   |
| 6 | 76      | - | 15 | 76      | + |    |         |   |
| 7 | 76      | - | 16 | 76      | - |    |         |   |
| 8 | 76      | - | 17 | 76      | - |    |         |   |
| 9 | 76      | + | 18 | 76      | + |    |         |   |

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

#### Σύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 9cm

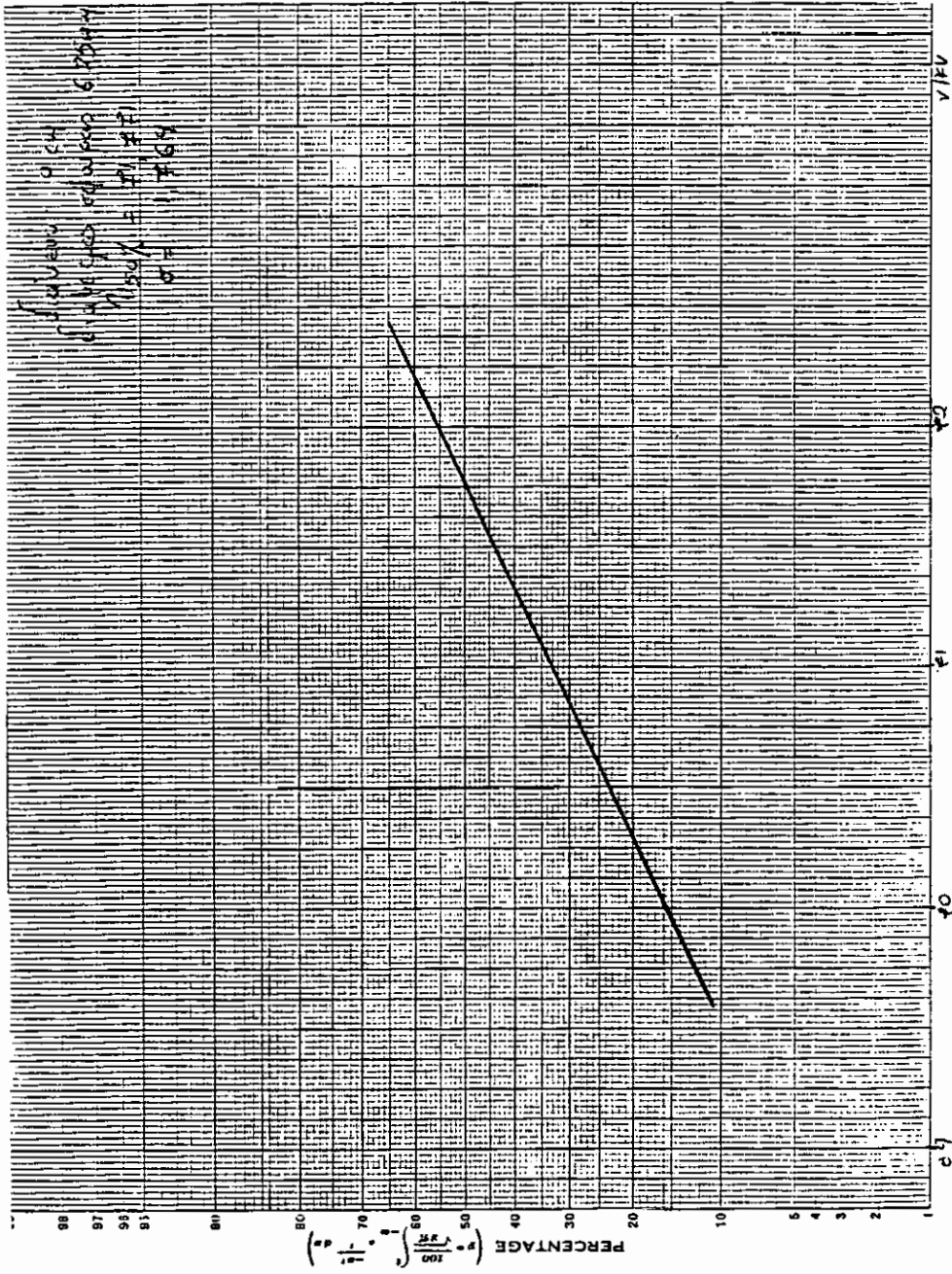
#### Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 754mmHg
- θερμοκρασία → 23°C
- απόλυτη υγρασία → 14.6gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 85%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 73.597KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 77      | + | 10 | 79      | - | 19 | 77      | + |
| 2 | 77      | + | 11 | 79      | + | 20 | 78      | + |
| 3 | 77      | + | 12 | 78      | + |    |         |   |
| 4 | 77      | + | 13 | 77      | + |    |         |   |
| 5 | 77      | + | 14 | 77      | + |    |         |   |
| 6 | 77      | - | 15 | 77      | + |    |         |   |
| 7 | 77      | + | 16 | 77      | + |    |         |   |
| 8 | 77      | - | 17 | 78      | + |    |         |   |
| 9 | 77      | + | 18 | 79      | + |    |         |   |



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 12cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 754mmHg
- θερμοκρασία → 23°C
- απόλυτη υγρασία → 14.6 gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 20%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 81.1985KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       |   |
| 1 | 85      | - | 10 | 86      | - | 19 | 86      | - |
| 2 | 85      | - | 11 | 86      | - | 20 | 86      | - |
| 3 | 85      | - | 12 | 85      | + |    |         |   |
| 4 | 85      | - | 13 | 85      | + |    |         |   |
| 5 | 86      | - | 14 | 85      | + |    |         |   |
| 6 | 86      | - | 15 | 85      | + |    |         |   |
| 7 | 86      | - | 16 | 85      | - |    |         |   |
| 8 | 86      | - | 17 | 86      | - |    |         |   |
| 9 | 86      | - | 18 | 86      | - |    |         |   |



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 12cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 754mmHg
- θερμοκρασία → 23°C
- απόλυτη υγρασία → 14.6gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 40%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 85.048KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 89      | - | 10 | 90      | + | 19 | 90      | - |
| 2 | 89      | - | 11 | 90      | - | 20 | 90      | - |
| 3 | 89      | - | 12 | 90      | - |    |         |   |
| 4 | 90      | - | 13 | 90      | - |    |         |   |
| 5 | 89      | + | 14 | 89      | + |    |         |   |
| 6 | 89      | + | 15 | 89      | + |    |         |   |
| 7 | 89      | + | 16 | 90      | - |    |         |   |
| 8 | 89      | + | 17 | 90      | - |    |         |   |
| 9 | 89      | + | 18 | 90      | - |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 12cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 754mmHg
- θερμοκρασία → 23°C
- απόλυτη υγρασία → 14.6gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 75%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 90.97KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 96      | - | 10 | 96      | - | 19 | 96      | + |
| 2 | 96      | + | 11 | 96      | + | 20 | 96      | + |
| 3 | 96      | - | 12 | 96      | + |    |         |   |
| 4 | 95      | + | 13 | 96      | + |    |         |   |
| 5 | 96      | + | 14 | 96      | - |    |         |   |
| 6 | 95      | + | 15 | 96      | + |    |         |   |
| 7 | 96      | + | 16 | 96      | - |    |         |   |
| 8 | 96      | + | 17 | 96      | + |    |         |   |
| 9 | 96      | + | 18 | 96      | + |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 12cm

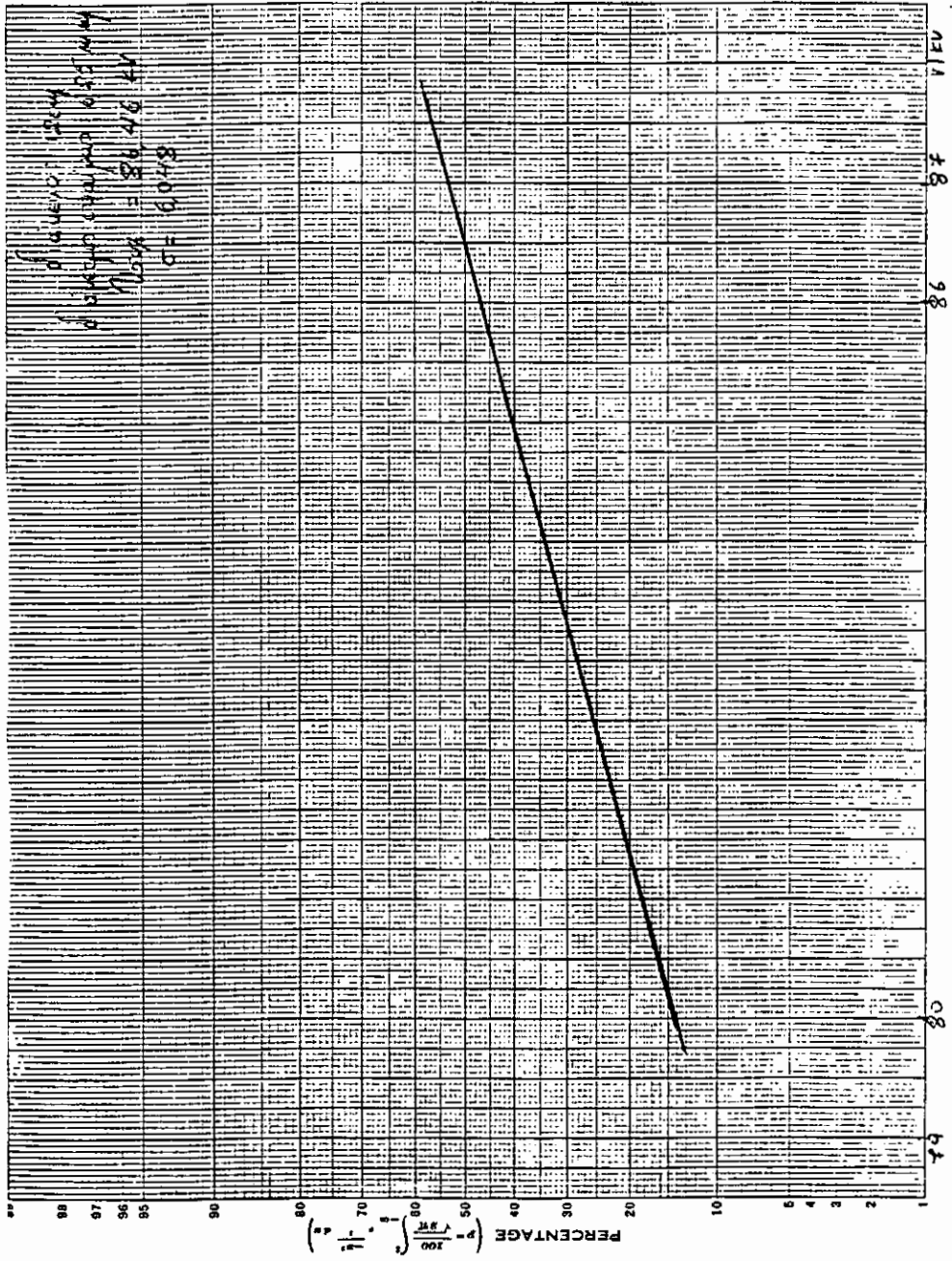
Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 754mmHg
- θερμοκρασία → 23°C
- απόλυτη υγρασία → 14.6gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 85%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 92.2339KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 97      | + | 10 | 97      | + | 19 | 97      | + |
| 2 | 97      | + | 11 | 97      | + | 20 | 97      | + |
| 3 | 97      | + | 12 | 97      | + |    |         |   |
| 4 | 97      | - | 13 | 97      | - |    |         |   |
| 5 | 97      | + | 14 | 97      | + |    |         |   |
| 6 | 97      | + | 15 | 97      | + |    |         |   |
| 7 | 97      | - | 16 | 97      | + |    |         |   |
| 8 | 97      | + | 17 | 97      | + |    |         |   |
| 9 | 97      | + | 18 | 97      | + |    |         |   |



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 15cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 754mmHg
- θερμοκρασία → 23°C
- απόλυτη υγρασία → 14.6gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 10%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 87.285KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       | - |
| 1 | 92      | - | 10 | 92      | + | 19 | 92      | - |
| 2 | 92      | - | 11 | 92      | - | 20 | 92      | - |
| 3 | 92      | + | 12 | 93      | - |    |         |   |
| 4 | 92      | - | 13 | 93      | - |    |         |   |
| 5 | 92      | - | 14 | 92      | - |    |         |   |
| 6 | 92      | - | 15 | 92      | - |    |         |   |
| 7 | 92      | - | 16 | 92      | - |    |         |   |
| 8 | 92      | - | 17 | 92      | - |    |         |   |
| 9 | 92      | - | 18 | 92      | - |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 15cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 754mmHg
- θερμοκρασία → 23°C
- απόλυτη υγρασία → 14.6gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 20%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 89.3124KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 94      | - | 10 | 94      | - | 19 | 94      | - |
| 2 | 94      | - | 11 | 95      | - | 20 | 94      | - |
| 3 | 94      | + | 12 | 95      | - |    |         |   |
| 4 | 94      | - | 13 | 95      | - |    |         |   |
| 5 | 94      | - | 14 | 95      | - |    |         |   |
| 6 | 94      | - | 15 | 94      | + |    |         |   |
| 7 | 94      | + | 16 | 94      | + |    |         |   |
| 8 | 94      | - | 17 | 94      | - |    |         |   |
| 9 | 94      | - | 18 | 94      | - |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 15cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 754mmHg
- θερμοκρασία → 23°C
- απόλυτη υγρασία → 14.6gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 60%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 91.918KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       |   |
| 1 | 97      | + | 10 | 97      | + | 19 | 97      | - |
| 2 | 97      | - | 11 | 97      | - | 20 | 97      | + |
| 3 | 97      | - | 12 | 97      | + |    |         |   |
| 4 | 97      | - | 13 | 97      | + |    |         |   |
| 5 | 97      | + | 14 | 97      | + |    |         |   |
| 6 | 97      | - | 15 | 97      | + |    |         |   |
| 7 | 97      | - | 16 | 97      | + |    |         |   |
| 8 | 97      | + | 17 | 97      | + |    |         |   |
| 9 | 97      | - | 18 | 97      | + |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 6.25mm
- μήκος διακένου → 15cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

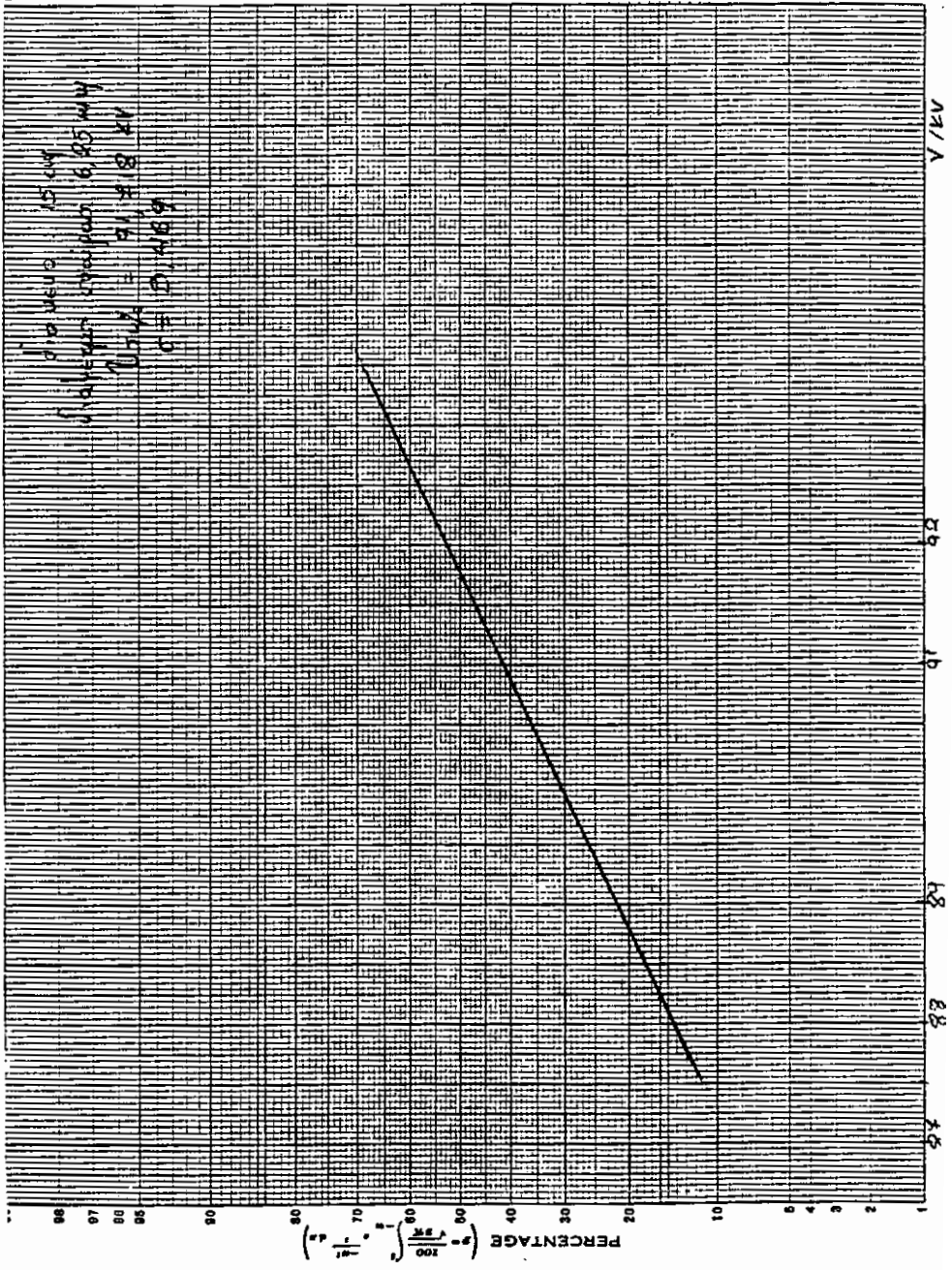
- ατμοσφαιρική πίεση → 754mmHg
- θερμοκρασία → 23°C
- απόλυτη υγρασία → 14.6gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 90%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 96.656kV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 102     | - | 10 | 102     | + | 19 | 102     | + |
| 2 | 102     | + | 11 | 102     | + | 20 | 102     | + |
| 3 | 102     | + | 12 | 102     | + |    |         |   |
| 4 | 102     | - | 13 | 102     | + |    |         |   |
| 5 | 102     | + | 14 | 102     | + |    |         |   |
| 6 | 102     | + | 15 | 102     | + |    |         |   |
| 7 | 102     | + | 16 | 102     | + |    |         |   |
| 8 | 102     | + | 17 | 102     | + |    |         |   |
| 9 | 102     | + | 18 | 102     | + |    |         |   |





ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 9cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4

Πιθανότητα διάσπασης → 10%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 63.8734KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 67      | - | 10 | 68      | - | 19 | 68      | - |
| 2 | 67      | - | 11 | 68      | - | 20 | 68      | - |
| 3 | 67      | - | 12 | 68      | - |    |         |   |
| 4 | 67      | + | 13 | 68      | - |    |         |   |
| 5 | 67      | - | 14 | 68      | - |    |         |   |
| 6 | 67      | - | 15 | 68      | - |    |         |   |
| 7 | 67      | - | 16 | 68      | + |    |         |   |
| 8 | 67      | - | 17 | 68      | - |    |         |   |
| 9 | 68      | - | 18 | 68      | - |    |         |   |

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ**Σύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 9cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 40%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 66.1704KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 70      | - | 10 | 70      | - | 19 | 70      | - |
| 2 | 70      | + | 11 | 70      | + | 20 | 70      | - |
| 3 | 70      | + | 12 | 70      | - |    |         |   |
| 4 | 70      | + | 13 | 70      | - |    |         |   |
| 5 | 70      | - | 14 | 70      | - |    |         |   |
| 6 | 70      | + | 15 | 70      | + |    |         |   |
| 7 | 70      | - | 16 | 70      | + |    |         |   |
| 8 | 70      | - | 17 | 70      | + |    |         |   |
| 9 | 70      | - | 18 | 70      | - |    |         |   |

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

#### Σύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 9cm

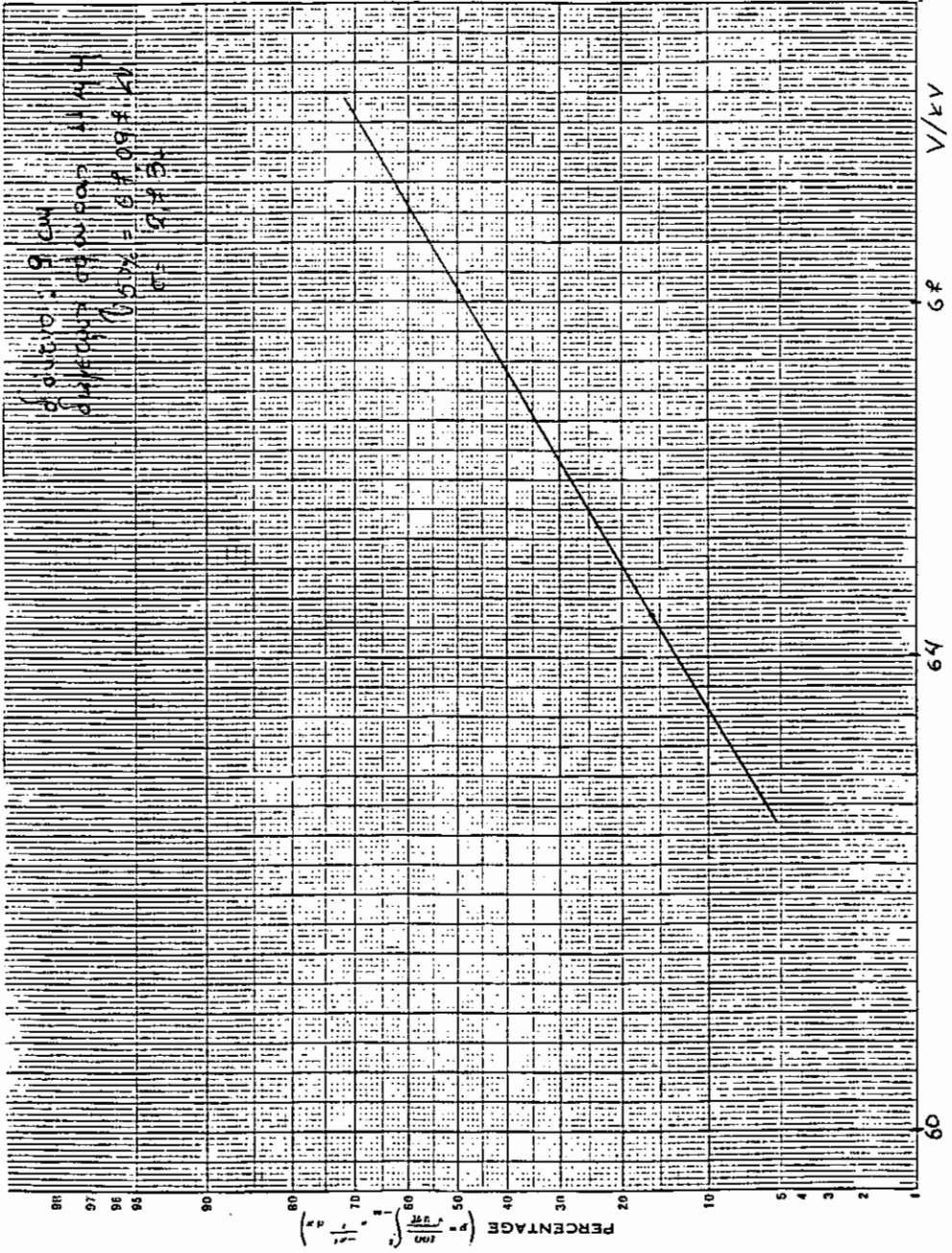
#### Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 95%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 71.798KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       | α |
| 1 | 76      | - | 10 | 76      | + | 19 | 76      | + |
| 2 | 76      | + | 11 | 76      | + | 20 | 76      | + |
| 3 | 76      | + | 12 | 76      | + |    |         |   |
| 4 | 76      | + | 13 | 76      | + |    |         |   |
| 5 | 76      | + | 14 | 76      | + |    |         |   |
| 6 | 76      | + | 15 | 76      | + |    |         |   |
| 7 | 76      | + | 16 | 76      | + |    |         |   |
| 8 | 76      | + | 17 | 76      | + |    |         |   |
| 9 | 76      | + | 18 | 76      | + |    |         |   |



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 12cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 25%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 80.9936KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 85      | - | 10 | 86      | + | 19 | 86      | - |
| 2 | 85      | - | 11 | 86      | + | 20 | 86      | - |
| 3 | 85      | - | 12 | 86      | - |    |         |   |
| 4 | 85      | + | 13 | 86      | - |    |         |   |
| 5 | 85      | - | 14 | 86      | - |    |         |   |
| 6 | 86      | - | 15 | 86      | - |    |         |   |
| 7 | 86      | + | 16 | 86      | - |    |         |   |
| 8 | 86      | - | 17 | 86      | - |    |         |   |
| 9 | 86      | + | 18 | 86      | - |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 12cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 55%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 85.8637KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       |   |
| 1 | 90      | - | 10 | 91      | - | 19 | 91      | + |
| 2 | 90      | + | 11 | 91      | + | 20 | 91      | - |
| 3 | 90      | + | 12 | 91      | + |    |         |   |
| 4 | 90      | + | 13 | 91      | + |    |         |   |
| 5 | 91      | + | 14 | 91      | - |    |         |   |
| 6 | 91      | - | 15 | 91      | + |    |         |   |
| 7 | 91      | + | 16 | 91      | - |    |         |   |
| 8 | 91      | - | 17 | 91      | - |    |         |   |
| 9 | 91      | + | 18 | 91      | - |    |         |   |

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ****Σύντομη περιγραφή πειράματος**

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 12cm

**Ατμοσφαιρικές συνθήκες**

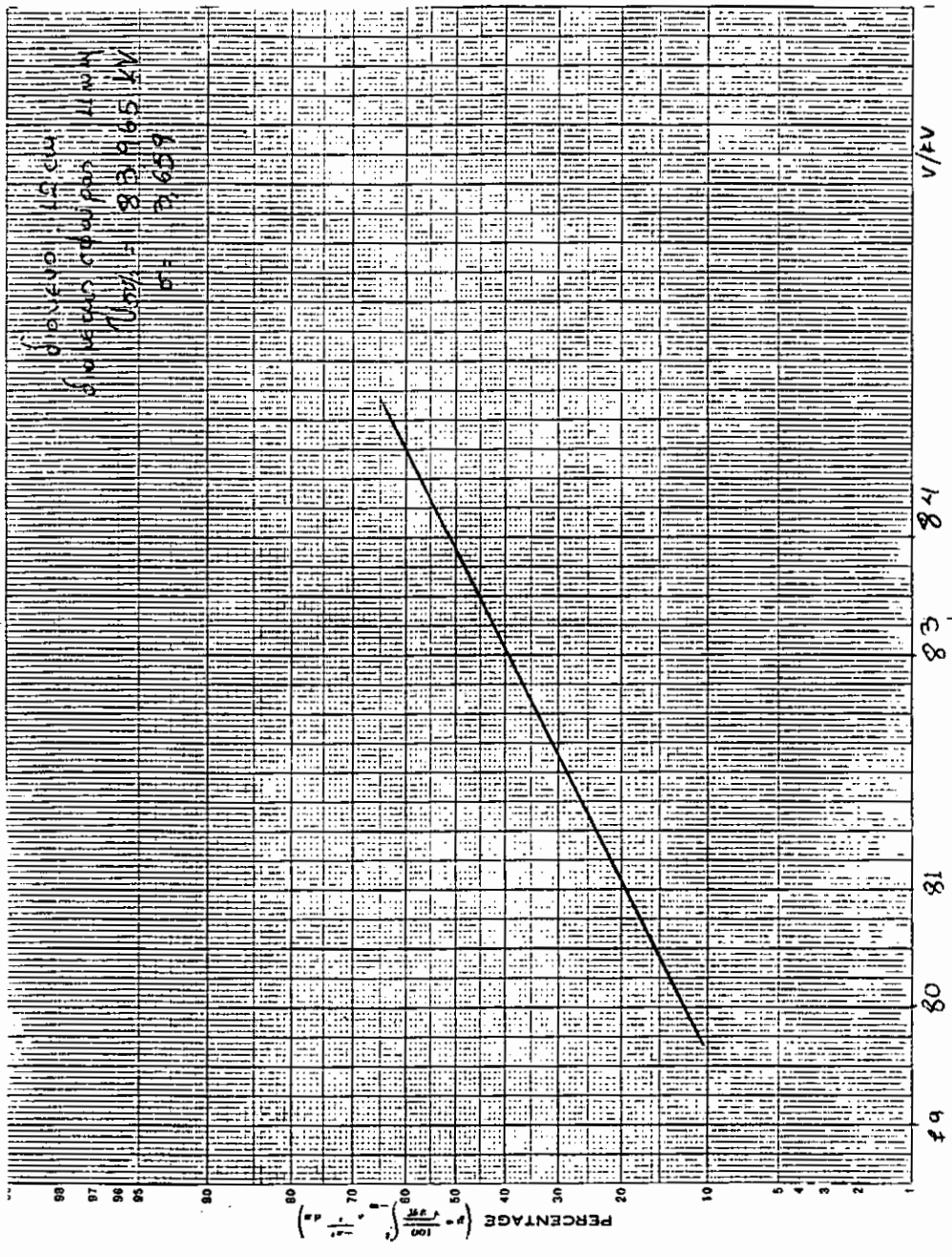
- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4gr/m<sup>3</sup>

**Πιθανότητα διάσπασης** → 95%

**Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης** → 87.8589KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 93      | - | 10 | 93      | + | 19 | 93      | + |
| 2 | 93      | + | 11 | 93      | + | 20 | 93      | + |
| 3 | 93      | + | 12 | 93      | + |    |         |   |
| 4 | 93      | + | 13 | 93      | + |    |         |   |
| 5 | 93      | + | 14 | 93      | + |    |         |   |
| 6 | 93      | + | 15 | 93      | + |    |         |   |
| 7 | 93      | + | 16 | 93      | + |    |         |   |
| 8 | 93      | + | 17 | 93      | + |    |         |   |
| 9 | 93      | + | 18 | 93      | + |    |         |   |





diámetro = 12 cm  
 diámetro copias = 17 mm  
 $U_{av} = 83.965 \text{ V}$   
 $\sigma = 7.659$

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ****Σύντομη περιγραφή πειράματος**

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 15cm

**Ατμοσφαιρικές συνθήκες**

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4gr/m<sup>3</sup>

**Πιθανότητα διάσπασης** → 15%

**Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης** → 89.7484KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 95      | - | 10 | 95      | - | 19 | 95      | - |
| 2 | 95      | - | 11 | 95      | - | 20 | 95      | + |
| 3 | 95      | - | 12 | 95      | - |    |         |   |
| 4 | 95      | - | 13 | 95      | - |    |         |   |
| 5 | 95      | - | 14 | 95      | + |    |         |   |
| 6 | 95      | + | 15 | 95      | - |    |         |   |
| 7 | 95      | - | 16 | 95      | - |    |         |   |
| 8 | 95      | - | 17 | 95      | - |    |         |   |
| 9 | 95      | - | 18 | 95      | - |    |         |   |

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ**Σύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 15cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 40%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 94.157KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       | α |
| 1 | 99      | - | 10 | 100     | - | 19 | 100     | + |
| 2 | 99      | + | 11 | 100     | - | 20 | 100     | - |
| 3 | 99      | - | 12 | 100     | + |    |         |   |
| 4 | 99      | + | 13 | 100     | - |    |         |   |
| 5 | 99      | - | 14 | 100     | + |    |         |   |
| 6 | 99      | + | 15 | 100     | + |    |         |   |
| 7 | 99      | - | 16 | 100     | + |    |         |   |
| 8 | 100     | - | 17 | 100     | - |    |         |   |
| 9 | 100     | - | 18 | 100     | - |    |         |   |

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

#### Σύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 15cm

#### Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 45%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 97.3061KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 103     | + | 10 | 103     | + | 19 | 103     | + |
| 2 | 103     | - | 11 | 103     | + | 20 | 103     | - |
| 3 | 103     | - | 12 | 103     | - |    |         |   |
| 4 | 103     | + | 13 | 103     | - |    |         |   |
| 5 | 103     | - | 14 | 103     | + |    |         |   |
| 6 | 103     | - | 15 | 103     | - |    |         |   |
| 7 | 103     | + | 16 | 103     | + |    |         |   |
| 8 | 103     | - | 17 | 103     | + |    |         |   |
| 9 | 103     | - | 18 | 103     | - |    |         |   |

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

#### Σύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 15cm

#### Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 60%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 88.331KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       |   |
| 1 | 106     | + | 10 | 107     | - | 19 | 107     | + |
| 2 | 106     | + | 11 | 107     | - | 20 | 107     | - |
| 3 | 106     | + | 12 | 107     | - |    |         |   |
| 4 | 106     | + | 13 | 107     | + |    |         |   |
| 5 | 106     | - | 14 | 107     | + |    |         |   |
| 6 | 107     | - | 15 | 107     | + |    |         |   |
| 7 | 107     | + | 16 | 107     | + |    |         |   |
| 8 | 107     | + | 17 | 107     | + |    |         |   |
| 9 | 107     | - | 18 | 107     | - |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 11mm
- μήκος διακένου → 15cm

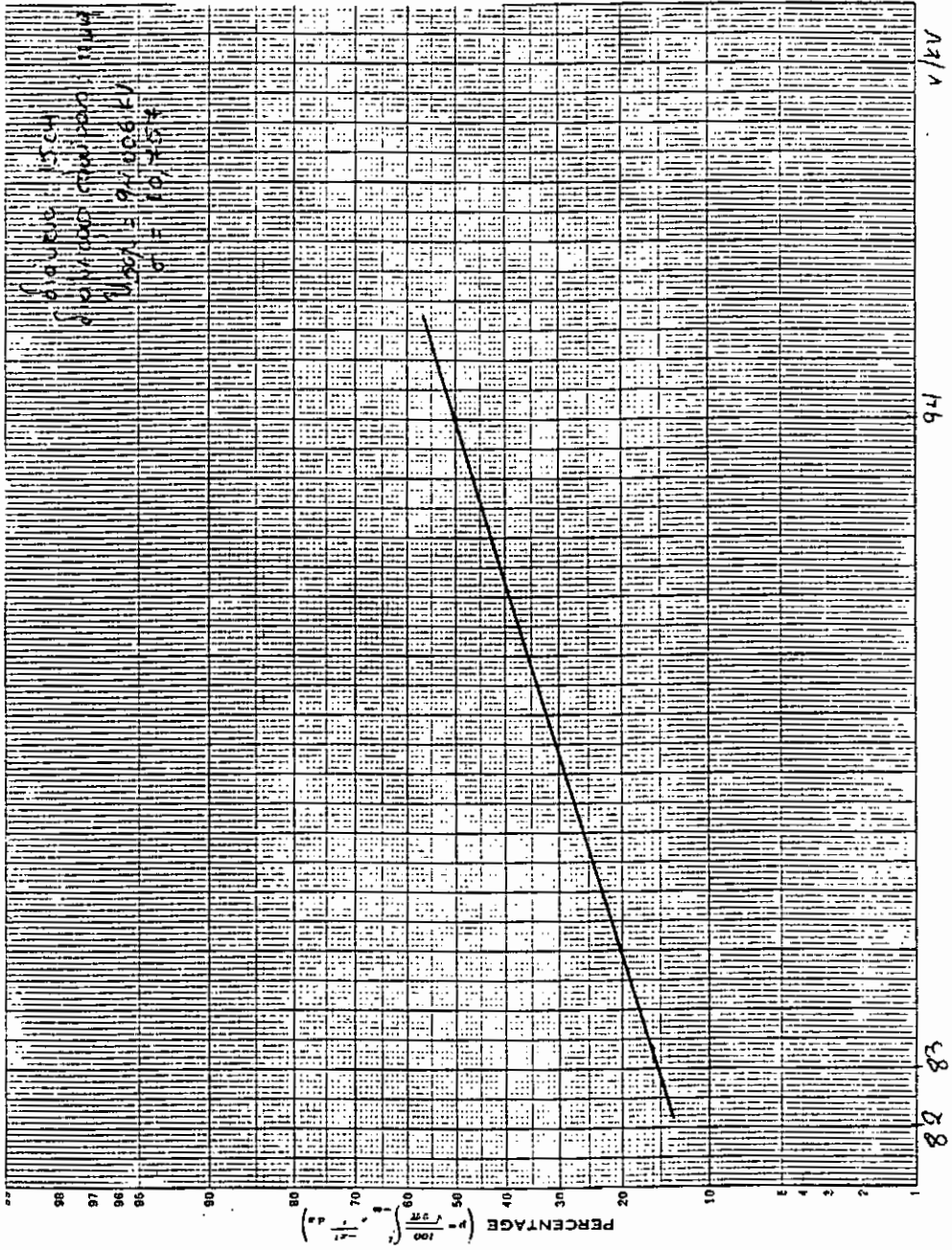
Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 755mmHg
- θερμοκρασία → 22.2°C
- απόλυτη υγρασία → 14.4gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 95%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 102.974KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 108     | + | 10 | 109     | + | 19 | 109     | + |
| 2 | 109     | - | 11 | 109     | + | 20 | 109     | + |
| 3 | 109     | + | 12 | 109     | + |    |         |   |
| 4 | 109     | + | 13 | 109     | + |    |         |   |
| 5 | 109     | + | 14 | 109     | + |    |         |   |
| 6 | 109     | + | 15 | 109     | + |    |         |   |
| 7 | 109     | + | 16 | 109     | + |    |         |   |
| 8 | 109     | + | 17 | 109     | + |    |         |   |
| 9 | 109     | + | 18 | 109     | + |    |         |   |



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm
- μήκος διακένου → 9cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22.5°C
- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 15%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 67.0076KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 70      | - | 10 | 70      | - | 19 | 70      | - |
| 2 | 70      | + | 11 | 70      | - | 20 | 70      | - |
| 3 | 70      | + | 12 | 70      | - |    |         |   |
| 4 | 70      | - | 13 | 70      | - |    |         |   |
| 5 | 70      | - | 14 | 70      | - |    |         |   |
| 6 | 70      | - | 15 | 70      | - |    |         |   |
| 7 | 70      | - | 16 | 70      | - |    |         |   |
| 8 | 70      | - | 17 | 70      | - |    |         |   |
| 9 | 70      | - | 18 | 70      | + |    |         |   |



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm
- μήκος διακένου → 9cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22.5°C
- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 45%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 70.662KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       | α |
| 1 | 73      | - | 10 | 74      | - | 19 | 74      | + |
| 2 | 73      | - | 11 | 74      | - | 20 | 74      | - |
| 3 | 73      | + | 12 | 74      | + |    |         |   |
| 4 | 74      | + | 13 | 74      | - |    |         |   |
| 5 | 74      | - | 14 | 74      | + |    |         |   |
| 6 | 74      | - | 15 | 74      | - |    |         |   |
| 7 | 74      | + | 16 | 74      | + |    |         |   |
| 8 | 74      | - | 17 | 74      | - |    |         |   |
| 9 | 74      | + | 18 | 74      | + |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm
- μήκος διακένου → 9cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22.5°C
- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 75%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 71.602KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       | α |
| 1 | 74      | - | 10 | 75      | + | 19 | 75      | + |
| 2 | 74      | + | 11 | 75      | + | 20 | 75      | + |
| 3 | 75      | + | 12 | 75      | + |    |         |   |
| 4 | 75      | - | 13 | 75      | + |    |         |   |
| 5 | 75      | + | 14 | 75      | + |    |         |   |
| 6 | 75      | - | 15 | 75      | - |    |         |   |
| 7 | 75      | + | 16 | 75      | + |    |         |   |
| 8 | 75      | + | 17 | 75      | + |    |         |   |
| 9 | 75      | - | 18 | 75      | + |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm
- μήκος διακένου → 9cm

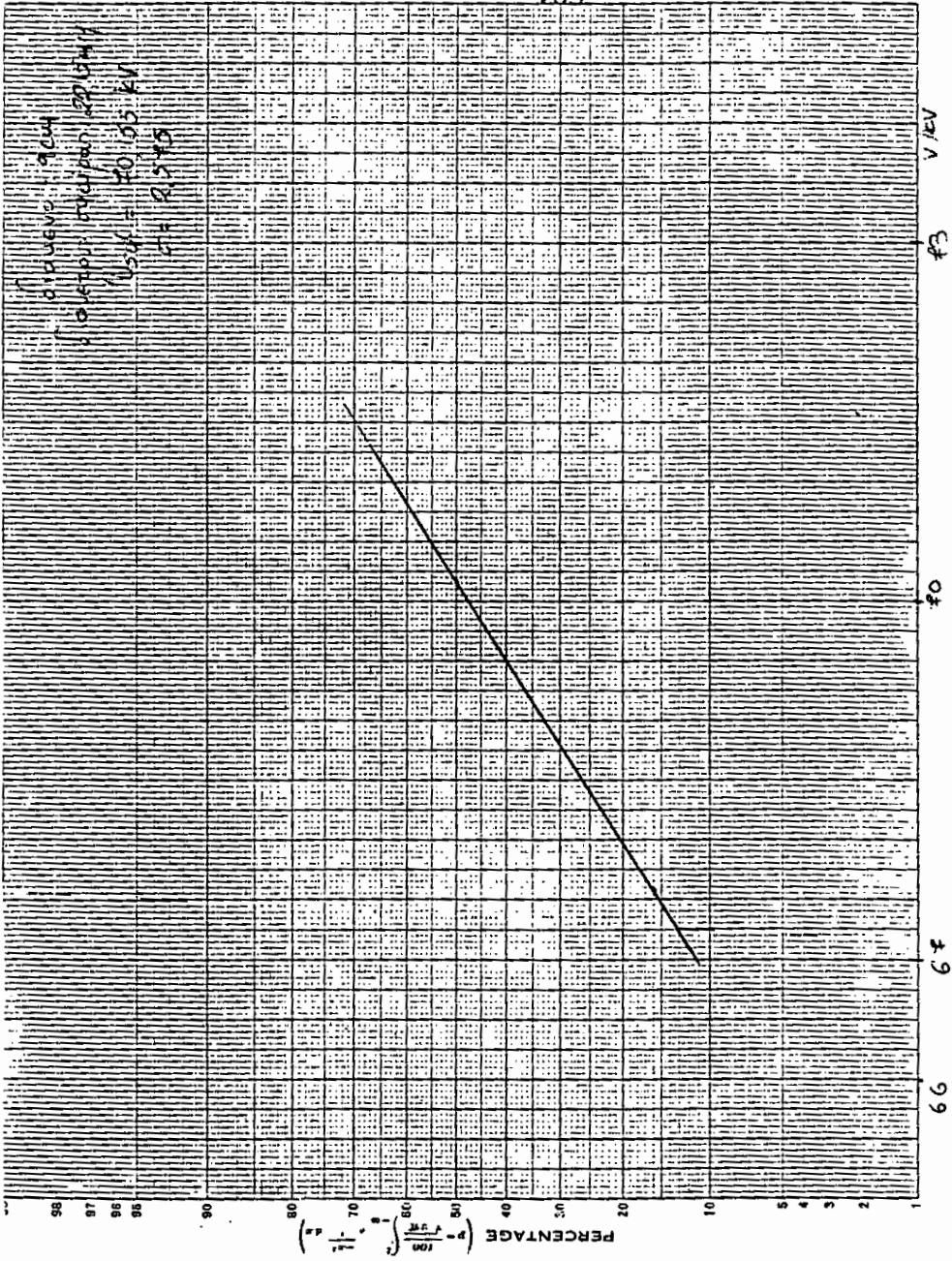
Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22.5°C
- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 95%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 73.708KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       | α |
| 1 | 77      | + | 10 | 78      | + | 19 | 78      | + |
| 2 | 77      | + | 11 | 78      | + | 20 | 78      | + |
| 3 | 77      | + | 12 | 78      | + |    |         |   |
| 4 | 77      | + | 13 | 78      | + |    |         |   |
| 5 | 77      | + | 14 | 78      | + |    |         |   |
| 6 | 77      | - | 15 | 78      | + |    |         |   |
| 7 | 77      | + | 16 | 78      | + |    |         |   |
| 8 | 77      | + | 17 | 78      | + |    |         |   |
| 9 | 77      | + | 18 | 78      | + |    |         |   |



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm
- μήκος διακένου → 12cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22.5°C
- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 10%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 81.366KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 85      | - | 10 | 85      | - | 19 | 85      | - |
| 2 | 85      | - | 11 | 85      | + | 20 | 85      | - |
| 3 | 85      | + | 12 | 85      | - |    |         |   |
| 4 | 85      | - | 13 | 85      | - |    |         |   |
| 5 | 85      | - | 14 | 85      | - |    |         |   |
| 6 | 85      | - | 15 | 85      | - |    |         |   |
| 7 | 85      | - | 16 | 85      | - |    |         |   |
| 8 | 85      | - | 17 | 85      | - |    |         |   |
| 9 | 85      | - | 18 | 85      | - |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm
- μήκος διακένου → 12cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22.5°C
- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 40%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 83.52KV

| $\alpha$<br>/ | Ένδειξη<br>Βολτομ. | + | $\alpha$<br>/ | Ένδειξη<br>Βολτομ. | + | $\alpha$<br>/ | Ένδειξη<br>Βολτομ. | + |
|---------------|--------------------|---|---------------|--------------------|---|---------------|--------------------|---|
| $\alpha$      |                    | - | $\alpha$      |                    | - | $\alpha$      |                    | - |
| 1             | 86                 | - | 10            | 89                 | - | 19            | 89                 | - |
| 2             | 86                 | + | 11            | 89                 | - | 20            | 89                 | - |
| 3             | 86                 | - | 12            | 89                 | + |               |                    |   |
| 4             | 86                 | + | 13            | 89                 | + |               |                    |   |
| 5             | 86                 | + | 14            | 89                 | + |               |                    |   |
| 6             | 86                 | - | 15            | 89                 | - |               |                    |   |
| 7             | 86                 | - | 16            | 89                 | + |               |                    |   |
| 8             | 86                 | - | 17            | 89                 | - |               |                    |   |
| 9             | 86                 | - | 18            | 89                 | + |               |                    |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm
- μήκος διακένου → 12cm

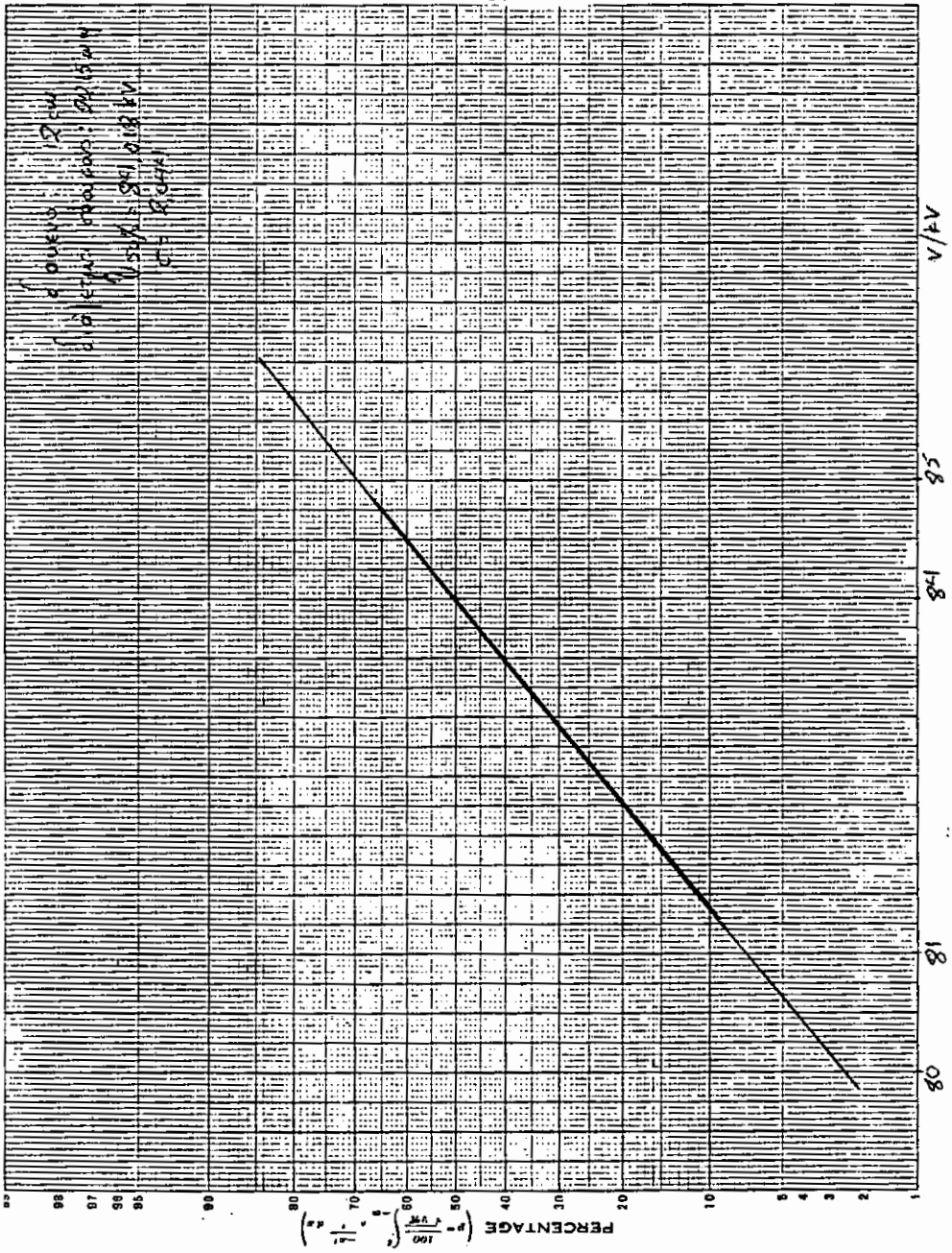
Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22.5°C
- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 90%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 86.631KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       |   |
| 1 | 90      | + | 10 | 91      | + | 19 | 91      | + |
| 2 | 90      | + | 11 | 91      | - | 20 | 91      | + |
| 3 | 90      | + | 12 | 91      | + |    |         |   |
| 4 | 90      | - | 13 | 91      | + |    |         |   |
| 5 | 90      | + | 14 | 91      | + |    |         |   |
| 6 | 90      | + | 15 | 91      | + |    |         |   |
| 7 | 90      | + | 16 | 91      | + |    |         |   |
| 8 | 90      | + | 17 | 91      | + |    |         |   |
| 9 | 90      | + | 18 | 91      | + |    |         |   |





ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm

- μήκος διακένου → 15cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg

- θερμοκρασία → 22.5°C

- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

- Πιθανότητα διάσπασης → 15%

- Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 95.7252KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       |   |
| 1 | 100     | - | 10 | 100     | - | 19 | 100     | + |
| 2 | 100     | - | 11 | 100     | - | 20 | 100     | + |
| 3 | 100     | - | 12 | 100     | - |    |         |   |
| 4 | 100     | - | 13 | 100     | - |    |         |   |
| 5 | 100     | - | 14 | 100     | - |    |         |   |
| 6 | 100     | - | 15 | 100     | - |    |         |   |
| 7 | 100     | - | 16 | 100     | - |    |         |   |
| 8 | 100     | - | 17 | 100     | - |    |         |   |
| 9 | 100     | + | 18 | 100     | - |    |         |   |

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ****Σύντομη περιγραφή πειράματος**

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm
- μήκος διακένου → 15cm

**Ατμοσφαιρικές συνθήκες**

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22.5°C
- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

**Πιθανότητα διάσπασης** → 35%

**Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης** → 96.682KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| α | Βολτομ. | / | α  | Βολτομ. | / | α  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 101     | - | 10 | 101     | - | 19 | 101     | + |
| 2 | 101     | - | 11 | 101     | + | 20 | 101     | + |
| 3 | 101     | - | 12 | 101     | - |    |         |   |
| 4 | 101     | - | 13 | 101     | + |    |         |   |
| 5 | 101     | - | 14 | 101     | + |    |         |   |
| 6 | 101     | - | 15 | 101     | - |    |         |   |
| 7 | 101     | - | 16 | 101     | - |    |         |   |
| 8 | 101     | + | 17 | 101     | - |    |         |   |
| 9 | 101     | - | 18 | 101     | + |    |         |   |

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

#### Σύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm
- μήκος διακένου → 15cm

#### Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22.5°C
- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 48%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 99.554KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 104     | + | 10 | 104     | - | 19 | 104     | + |
| 2 | 104     | - | 11 | 104     | + | 20 | 104     | + |
| 3 | 104     | - | 12 | 104     | - | 21 | 104     | - |
| 4 | 104     | + | 13 | 104     | - | 22 | 104     | + |
| 5 | 104     | + | 14 | 104     | - | 23 | 104     | + |
| 6 | 104     | - | 15 | 104     | + | 24 | 104     | - |
| 7 | 104     | + | 16 | 104     | - | 25 | 104     | - |
| 8 | 104     | - | 17 | 104     | + |    |         |   |
| 9 | 104     | + | 18 | 104     | - |    |         |   |

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ****Σύντομη περιγραφή πειράματος**

- διάμετρος σφαίρας → 22.15mm
- μήκος διακένου → 15cm

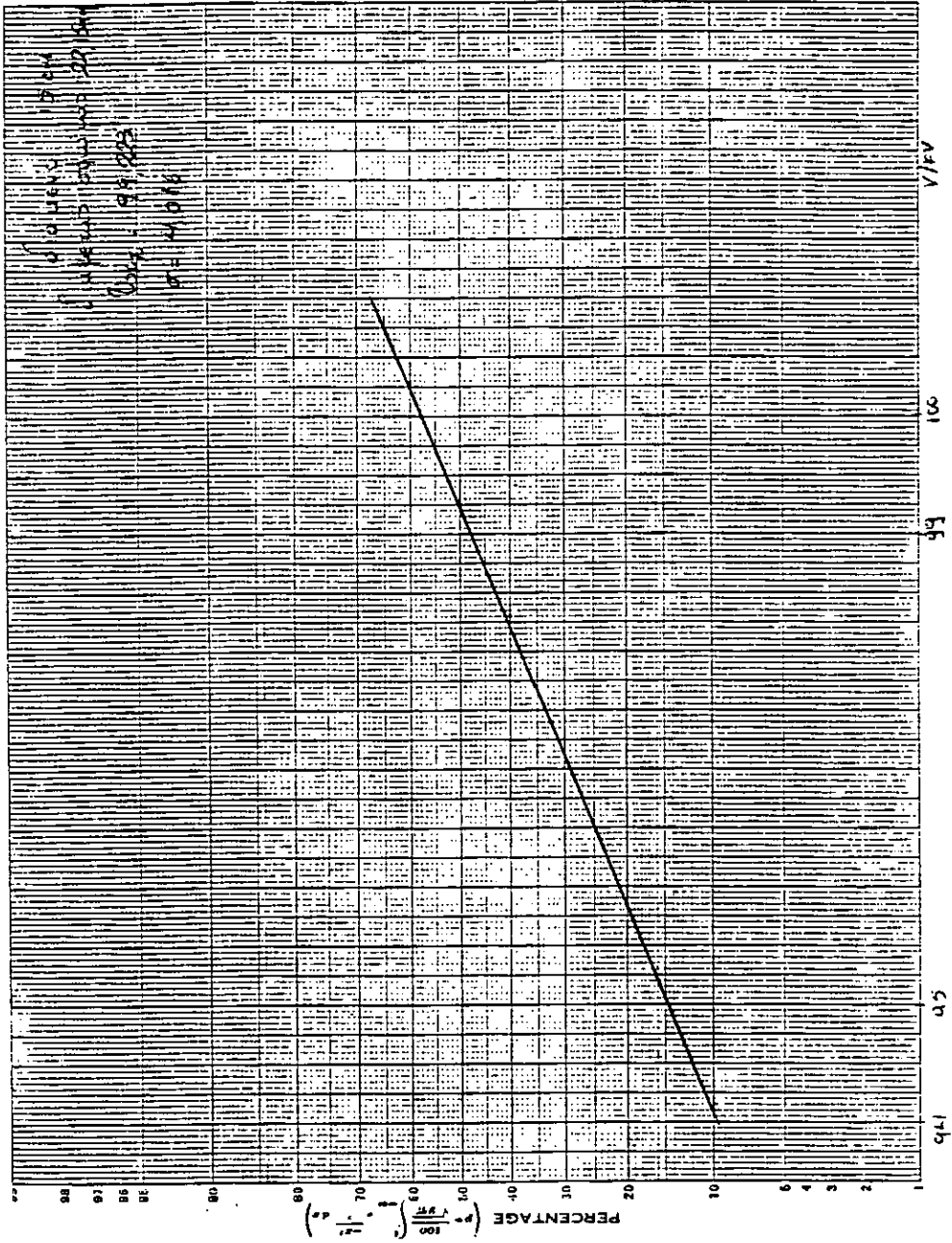
**Ατμοσφαιρικές συνθήκες**

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22.5°C
- απόλυτη υγρασία → 13.8gr/m<sup>3</sup>

**Πιθανότητα διάσπασης** → 85%

**Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης** → 103.064KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 106     | + | 10 | 108     | + | 19 | 108     | + |
| 2 | 107     | + | 11 | 108     | - | 20 | 108     | + |
| 3 | 107     | - | 12 | 108     | + |    |         |   |
| 4 | 108     | + | 13 | 108     | + |    |         |   |
| 5 | 108     | + | 14 | 108     | + |    |         |   |
| 6 | 108     | + | 15 | 108     | - |    |         |   |
| 7 | 108     | + | 16 | 108     | + |    |         |   |
| 8 | 108     | + | 17 | 108     | + |    |         |   |
| 9 | 108     | + | 18 | 108     | + |    |         |   |



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ****Σύντομη περιγραφή πειράματος**

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 9cm

**Ατμοσφαιρικές συνθήκες**

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

**Πιθανότητα διάσπασης** → 20%

**Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης** → 66.098KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 70      | - | 10 | 71      | - | 19 | 71      | - |
| 2 | 70      | - | 11 | 71      | - | 20 | 71      | - |
| 3 | 70      | - | 12 | 71      | + |    |         |   |
| 4 | 70      | - | 13 | 71      | + |    |         |   |
| 5 | 70      | - | 14 | 71      | - |    |         |   |
| 6 | 70      | + | 15 | 71      | - |    |         |   |
| 7 | 71      | - | 16 | 71      | + |    |         |   |
| 8 | 71      | - | 17 | 71      | - |    |         |   |
| 9 | 71      | - | 18 | 71      | - |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 9cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 35%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 67.326KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       |   |
| 1 | 72      | - | 10 | 72      | + | 19 | 72      | - |
| 2 | 72      | - | 11 | 72      | - | 20 | 72      | + |
| 3 | 72      | + | 12 | 72      | - |    |         |   |
| 4 | 72      | - | 13 | 72      | + |    |         |   |
| 5 | 72      | - | 14 | 72      | - |    |         |   |
| 6 | 72      | + | 15 | 72      | - |    |         |   |
| 7 | 72      | + | 16 | 72      | - |    |         |   |
| 8 | 72      | - | 17 | 72      | - |    |         |   |
| 9 | 72      | - | 18 | 72      | + |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 9cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης

→ 55%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 69.196kV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 74      | - | 10 | 74      | + | 19 | 74      | - |
| 2 | 74      | - | 11 | 74      | + | 20 | 74      | + |
| 3 | 74      | + | 12 | 74      | - |    |         |   |
| 4 | 74      | + | 13 | 74      | + |    |         |   |
| 5 | 74      | - | 14 | 74      | - |    |         |   |
| 6 | 74      | - | 15 | 74      | + |    |         |   |
| 7 | 74      | + | 16 | 74      | + |    |         |   |
| 8 | 74      | + | 17 | 74      | - |    |         |   |
| 9 | 74      | + | 18 | 74      | - |    |         |   |



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 9cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης

→ 95%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 70.131KV

| α  | Ένδειξη | +  | α  | Ένδειξη | +  | α  | Ένδειξη | +  |
|----|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|
| /' | Βολτομ. | /' | /' | Βολτομ. | /' | /' | Βολτομ. | /' |
| α  | -       | α  | -  | α       | -  | α  | -       | α  |
| 1  | 75      | +  | 10 | 75      | +  | 19 | 75      | +  |
| 2  | 75      | +  | 11 | 75      | +  | 20 | 75      | +  |
| 3  | 75      | +  | 12 | 75      | +  |    |         |    |
| 4  | 75      | +  | 13 | 75      | +  |    |         |    |
| 5  | 75      | +  | 14 | 75      | +  |    |         |    |
| 6  | 75      | +  | 15 | 75      | +  |    |         |    |
| 7  | 75      | +  | 16 | 75      | +  |    |         |    |
| 8  | 75      | +  | 17 | 75      | -  |    |         |    |
| 9  | 75      | +  | 18 | 75      | +  |    |         |    |



### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

#### Σύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 12cm

#### Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 10%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 78.5467KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       | - |
| 1 | 84      | - | 10 | 84      | - | 19 | 84      | + |
| 2 | 84      | - | 11 | 84      | - | 20 | 84      | - |
| 3 | 84      | - | 12 | 84      | - |    |         |   |
| 4 | 84      | + | 13 | 84      | - |    |         |   |
| 5 | 84      | - | 14 | 84      | - |    |         |   |
| 6 | 84      | - | 15 | 84      | - |    |         |   |
| 7 | 84      | - | 16 | 84      | - |    |         |   |
| 8 | 84      | - | 17 | 84      | - |    |         |   |
| 9 | 84      | - | 18 | 84      | - |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 12cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης

→ 40%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 83.222kV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 89      | - | 10 | 89      | + | 19 | 89      | - |
| 2 | 89      | - | 11 | 89      | - | 20 | 89      | + |
| 3 | 89      | - | 12 | 89      | + |    |         |   |
| 4 | 89      | + | 13 | 89      | - |    |         |   |
| 5 | 89      | + | 14 | 89      | - |    |         |   |
| 6 | 89      | + | 15 | 89      | + |    |         |   |
| 7 | 89      | + | 16 | 89      | - |    |         |   |
| 8 | 89      | - | 17 | 89      | - |    |         |   |
| 9 | 89      | - | 18 | 89      | - |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 12cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 75%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 84.157KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 90      | - | 10 | 90      | + | 19 | 90      | + |
| 2 | 90      | + | 11 | 90      | - | 20 | 90      | + |
| 3 | 90      | + | 12 | 90      | + |    |         |   |
| 4 | 90      | + | 13 | 90      | + |    |         |   |
| 5 | 90      | + | 14 | 90      | - |    |         |   |
| 6 | 90      | - | 15 | 90      | - |    |         |   |
| 7 | 90      | + | 16 | 90      | + |    |         |   |
| 8 | 90      | + | 17 | 90      | + |    |         |   |
| 9 | 90      | + | 18 | 90      | + |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 12cm

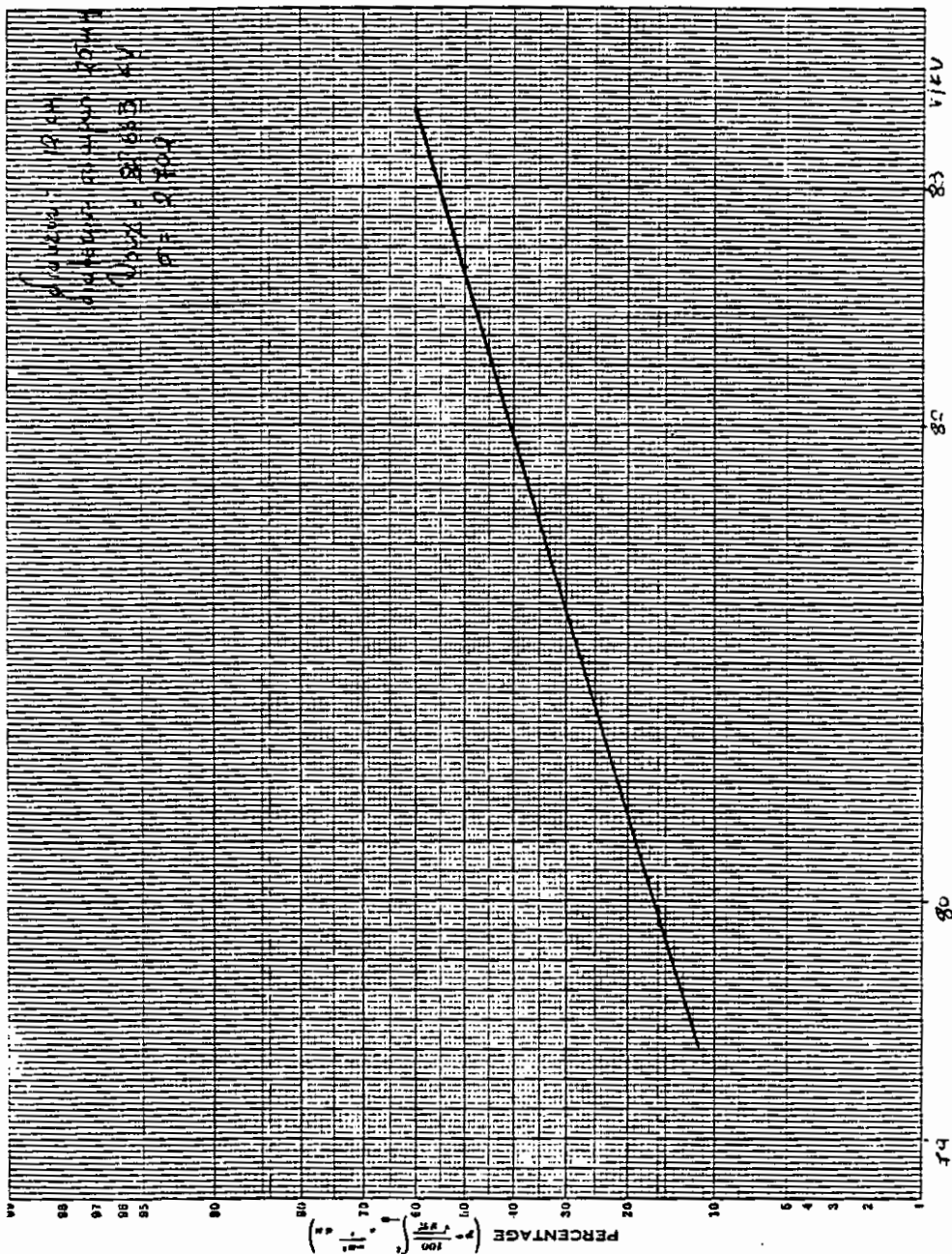
Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 90%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 85.092KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 91      | + | 10 | 91      | + | 19 | 91      | + |
| 2 | 91      | - | 11 | 91      | + | 20 | 91      | + |
| 3 | 91      | + | 12 | 91      | + |    |         |   |
| 4 | 91      | + | 13 | 91      | + |    |         |   |
| 5 | 91      | - | 14 | 91      | + |    |         |   |
| 6 | 91      | + | 15 | 91      | + |    |         |   |
| 7 | 91      | + | 16 | 91      | + |    |         |   |
| 8 | 91      | + | 17 | 91      | + |    |         |   |
| 9 | 91      | + | 18 | 91      | + |    |         |   |



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 15cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 751gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 15%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 98.568KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α | -       | α | -  | α       | - | α  | -       | - |
| 1 | 105     | + | 10 | 106     | - | 19 | 106     | - |
| 2 | 105     | - | 11 | 106     | - | 20 | 105     | - |
| 3 | 105     | - | 12 | 106     | + |    |         |   |
| 4 | 105     | - | 13 | 106     | - |    |         |   |
| 5 | 105     | + | 14 | 106     | - |    |         |   |
| 6 | 105     | - | 15 | 105     | - |    |         |   |
| 7 | 105     | - | 16 | 106     | - |    |         |   |
| 8 | 106     | - | 17 | 105     | - |    |         |   |
| 9 | 105     | - | 18 | 106     | - |    |         |   |



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 15cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 35%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 99.118KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 106     | - | 10 | 106     | + | 19 | 106     | + |
| 2 | 107     | + | 11 | 106     | + | 20 | 106     | + |
| 3 | 106     | - | 12 | 106     | - |    |         |   |
| 4 | 106     | + | 13 | 106     | - |    |         |   |
| 5 | 106     | - | 14 | 106     | - |    |         |   |
| 6 | 106     | - | 15 | 106     | - |    |         |   |
| 7 | 106     | - | 16 | 106     | + |    |         |   |
| 8 | 106     | - | 17 | 106     | - |    |         |   |
| 9 | 106     | - | 18 | 106     | - |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 15cm

Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 70%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 99.586KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| / | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / | /  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 107     | + | 10 | 106     | - | 19 | 106     | + |
| 2 | 106     | + | 11 | 106     | + | 20 | 107     | + |
| 3 | 108     | - | 12 | 107     | + |    |         |   |
| 4 | 107     | - | 13 | 106     | - |    |         |   |
| 5 | 108     | + | 14 | 107     | + |    |         |   |
| 6 | 106     | - | 15 | 106     | + |    |         |   |
| 7 | 107     | + | 16 | 107     | + |    |         |   |
| 8 | 107     | + | 17 | 107     | + |    |         |   |
| 9 | 106     | - | 18 | 106     | + |    |         |   |

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝΣύντομη περιγραφή πειράματος

- διάμετρος σφαίρας → 2.5cm
- μήκος διακένου → 15cm

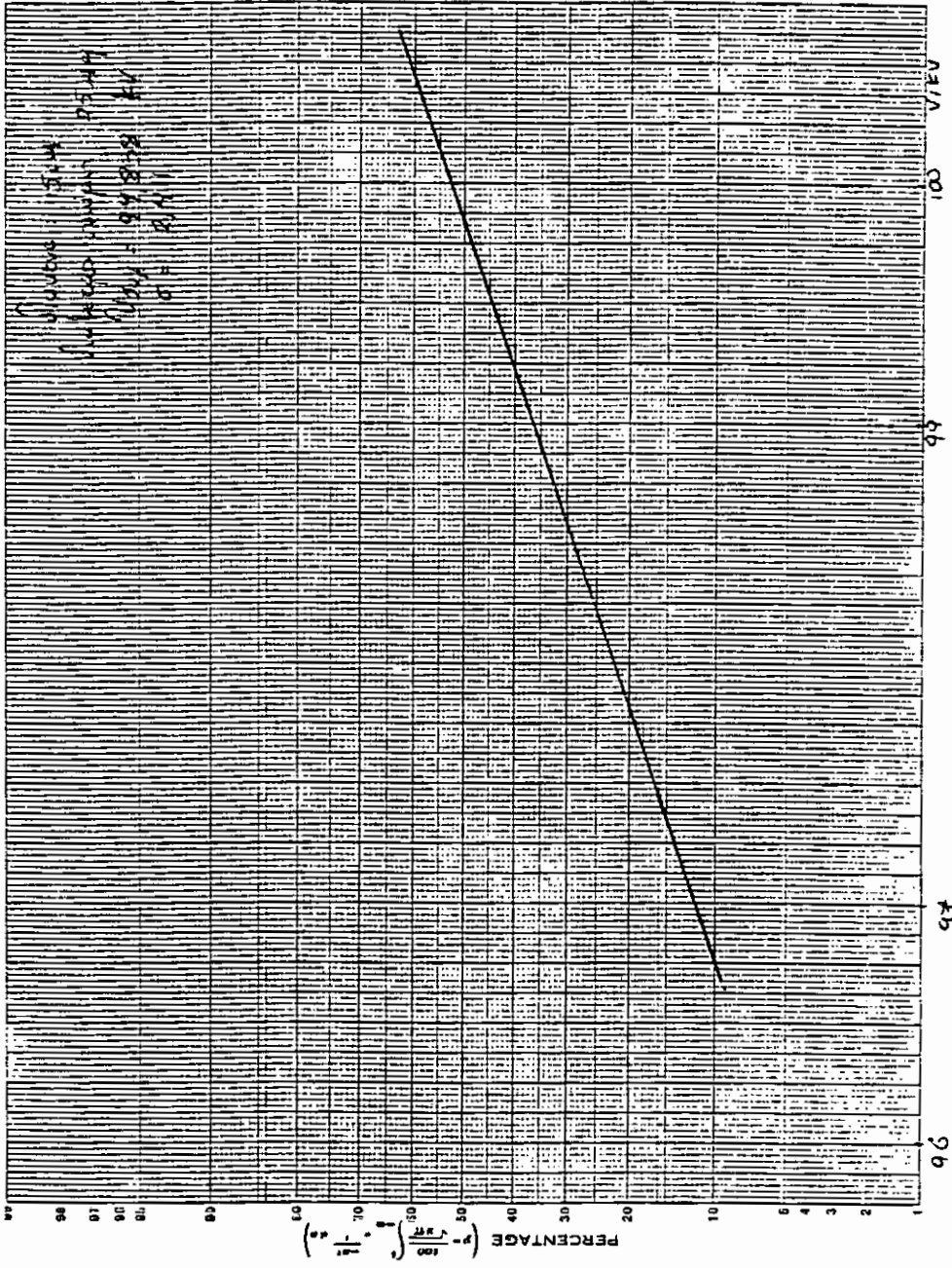
Ατμοσφαιρικές συνθήκες

- ατμοσφαιρική πίεση → 751mmHg
- θερμοκρασία → 22°C
- απόλυτη υγρασία → 16gr/m<sup>3</sup>

Πιθανότητα διάσπασης → 85%

Διορθωμένη τιμή τάσης διάσπασης → 102.858KV

| α | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + | α  | Ένδειξη | + |
|---|---------|---|----|---------|---|----|---------|---|
| α | Βολτομ. | / | α  | Βολτομ. | / | α  | Βολτομ. | / |
| α |         | - | α  |         | - | α  |         | - |
| 1 | 109     | + | 10 | 109     | + | 19 | 110     | + |
| 2 | 110     | + | 11 | 110     | + | 20 | 110     | + |
| 3 | 109     | + | 12 | 110     | - |    |         |   |
| 4 | 110     | + | 13 | 110     | + |    |         |   |
| 5 | 110     | + | 14 | 110     | + |    |         |   |
| 6 | 110     | + | 15 | 110     | + |    |         |   |
| 7 | 110     | - | 16 | 110     | + |    |         |   |
| 8 | 110     | - | 17 | 110     | + |    |         |   |
| 9 | 110     | + | 18 | 110     | + |    |         |   |



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ  
ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ.**

```
$DEBUG
      IMPLICIT REAL*8(A-H, O-Z)
      REAL*8 NK
      DIMENSION
      &XK(50), VK(50), YK(50), PK(50), ZK(50), RK(50),
      NK(50)
      INTEGER A
990   DO 1100 I=1,50
      VK(I)=0.0
      YK(I)=0.0
      ZK(I)=0.0
      PK(I)=0.0
      RK(I)=0.0
1100  NK(I)=0.0
      WRITE (*,*)"Input number of data rows"
      READ (*,*) N
      DO 1 I=1,N
      WRITE (*,*)"Input Xk, nk, Vk"
      READ (*,*) XK(I), NK(I), VK(I)
      WRITE (*,567) XK(I), NK(I), VK(I)
567  FORMAT (2X,F6.1,5X,F6.1,5X,F12.7)
1    CONTINUE
      V50=0.0
      DO 111 III=1,25
      WRITE (*,568) III
568  FORMAT (/2X, "Cycle#",I3,/)
      IF(III.GT.1) GOTO 11
      DO 3 I=1,N
      V50=V50+VK(I)
3    CONTINUE
```

```

AN=DBLE(N)
V50=V50/AN
S=.05*V50
11 WRITE (*,*) " K YK ZK PK"
DO 4 I=1,N
YK(I)=(VK(I)-V50)/S
AAA=(VK(I)-V50)*(VK(I)-V50)/(-2.*S*S)
ZK(I)=DEXP(AAA)/(DSQRT(8.DO*DATAN(1.DO)))
AA=YK(I)
CALL SIMS(AA,AB)
PK(I)=AB
WRITE(*,238) I, YK(I), ZK(I), PK(I)
238 FORMAT(2X, I3, 2X, 3(F7.4,2X))
RK(I)=NK(I)*ZK(I)*ZK(I)/(PK(I)*1-PK(I))
4 CONTINUE
S1=0.0
S2=0.0
THS1V=0.0
THS1S=0.0
THS1S=0.0
THS2S=0.0
DO 5 I=1,N
S1=S1+((XK(I)-NK(I)*PK(I))*ZK(I))/(PK(I)*(1.-PK(I)))
S2=S2+((XK(I)-NK(I)*PK(I))*ZK(I))*YK(I)/(PK(I)*(1.-
PK(I)))
THS1V=THS1V+RK(I)
THS1S=THS1S+RK(I)*YK(I)
THS2S=THS2S+RK(I)*YK(I)*YK(I)
5 CONTINUE
THS1V=THS1V/S
THS1S=THS1S/S
THS2S=THS2S/S
THS2V=THS1S
DV50=(S2-
(THS2S*S1)/THS1S)/((THS2S*THS1V/THS2V)-&THS1S)
DS=-(S1+THS1V*DV50)/THS1S

```

```

IF((DABS(DV50)/V50).GT.0.8) THEN
DV50=DV50/8.
ENDIF
IF ((DABS (DS)/S).GT.0.8)THEN
DS=DS/8.ENDIF
IF (DABS (S1) .LT. . 0001.AND.DABS(S2) .LT . . 0001)
THEN
WRITE(*,678) S1,S2,DV50,DS
WRITE (*,999) DV50,S
999  FORMAT (///,2X,'V50=',F10.3,/,2X,' S=',F10.3)
GOTO 222
ENDIF
V50=V50+DV50
S=S+DS
WRITE (*,678) S1,S2,DV50,DS,V50,S
678  FORMAT (2X,' S1=',F15.8,/,2X,' S2=',F15.8,/,2X,'
&DV50=',F15.8,/,2X,' DS=',F15.8,/,2X,'
&V50=',F15.8,/,2X,' S='F15.8)
111  CONTINUE
222  SR=0
SRY=0
SR2=0
SRV=0
SS=0
SA=0
DO 1001 KI=1,N
SRY=SRY+RK(KI)*YK(KI)*YK(KI)
SR=SR+RK(KI)
SRY2=SRY2+RK(KI)*YK(KI)
SS=SS+(XK(KI)-NK(KI)*PK(KI))**2/(NK(KI)*PK(KI)*(1-
&PK(KI)))
SRV=SRV+RK(KI)*VK(KI)
1001 CONTINUE
D=SRY*SR-SRY2*SRY2
UV50=S*S*SRY/D
US=S*S*SR/D

```

```

XSQ=SS
VB0=SRV/SR
YB=VB0-V50
YB=YB/S
DO 1111 KI=1,N
SA=SA+RK(KI)*(YK(KI)-YB)**2
1111 CONTINUE
UVB0=S**2*SA/D
WRITE (*,1003) SRY2,UV50,US
WRITE (*,1004) XSQ,VB0,UVB0
1003 FORMAT (2X,'SRY2=',F15.5/2X,'UV50=',F15.5/2X,'
&US=',F15.5)
1004 FORMAT (2X,'XSQ=', F15.5/2X,'VB0=', F15.5/2X,'
&UVB0=',F15.5)
WRITE (*,*)'WOULD YOU LIKE TO CONTINUE? (0/1)'
READ (*,*)A
IF (A.EQ.1) GOTO 990
STOP
END

```

C  
C

```

SUBROUTINE SIMS (A,CPHI)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
DIMENSION X(101), PHI(101), CP(101)
A=-A
IND=1
ELSE
IND=0
ENDIF
N=100
PI=4.*DATAN (1.D0)
R=1./DSQRT (2.*PI)
N1=N+1
X(N1)=A
X(1)=0.
DX=(X(N1)-X(1))/N

```



```
DO 10 I=2,N
10 X(I)=X(I-1)+DX
DO 1 I=1,N
1 PHI(I)=R*DEXP(-X(I)*X(I)/2.D0)
CP(1)=.5D0
DO 2 I=3,N1,2
2 CP(I)=CP(I-2)+(PHI(I-2)+4.*PHI(I-1)+PHI(I))*DX/3.
IF (IND.EQ.1) THEN
A=-A
CPHI=1-CP(N1)
ELSE
CPHI=CP(NI)
ENDIF
RETURN
END
```

## **Βιβλιογραφία:**

**"Τεχνική του εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων"**

Χρήστος Μαινεμενλής

**"Μόνωση ηλεκτρικών δικτύων Υψηλής  
Τάσης"**

Χρήστος Μαινεμενλής

