

## 35<sup>th</sup> International Physics Olympiad

Pohang, Korea  
15 ~ 23 July 2004

### Θεωρητική Εξέταση ,

17 Ιουλίου 2004

**Παρακαλούμε να διαβάσετε πρώτα τα παρακάτω:**

1. Για τη θεωρητική εξέταση ο διαθέσιμος χρόνος είναι 5 ώρες. Υπάρχουν τρία θέματα.
2. Να χρησιμοποιήσετε μόνο το στυλό που σας δόθηκε.
3. Να γράψετε μόνο στην μπροστινή **πλευρά των φύλλων**. Να γράψετε μόνο μέσα στα πλαίσια.
4. Να αρχίζετε την κάθε ερώτηση σε ξεχωριστό φύλλο.
5. Για κάθε ερώτηση, εκτός από το **κενό φύλλο που γράφετε**, υπάρχει ένα **φύλλο απαντήσεων** όπου *πρέπει* να συνοψίσετε τα αποτελέσματα στα οποία έχετε καταλήξει. Τα αριθμητικά αποτελέσματα *πρέπει* να γραφτούν με τόσα ψηφία όσα χρειάζονται.
6. Να γράψετε στα **κενά φύλλα γραψίματος** οτιδήποτε θεωρείτε ότι απαιτείται για την απάντηση των ερωτήσεων. Παρακαλώ να χρησιμοποιήσετε *όσο το δυνατόν λιγότερο κείμενο* και να εκφραστείτε πρώτιστα με εξισώσεις, αριθμούς, σχήματα, και γραφήματα.
7. Να συμπληρώσετε στα πλαίσια που βρίσκονται στην αρχή κάθε φύλλου τον κωδικό της χώρας (**Country Code**), και τον αριθμό σπουδαστή (**Student Code**), τον αριθμό ερώτησης (**Question Number**), τον αριθμό σελίδας (**Page Number**), και το συνολικό αριθμό σελίδων που χρησιμοποιούνται για κάθε ερώτηση (**Total Number of Pages**). Να γράψετε τον αριθμό ερώτησης και το γράμμα που αντιστοιχεί σε κάθε υποερώτημα που απαντάτε, στην αρχή κάθε φύλλου. Εάν χρησιμοποιείτε **φύλλα** για σημειώσεις (πρόχειρα), τα οποία δεν επιθυμείτε να βαθμολογηθούν, να βάλετε ένα μεγάλο X σε ολόκληρο το φύλλο και μην το περιλάβετε στην αρίθμησή σας.
8. Στο τέλος του διαγωνισμού, να τακτοποιήσετε όλα τα φύλλα χωριστά για κάθε θέμα με την ακόλουθη σειρά:
  - Το **Φύλλο απαντήσεων**
  - Τις γραμμένες σελίδες με τη σειρά
  - Τις σελίδες που χρησιμοποιήσατε ως πρόχειρο
  - Τα χρησιμοποιήσιμα φύλλα και τα τυπωμένα φύλλα με τις ερωτήσεις

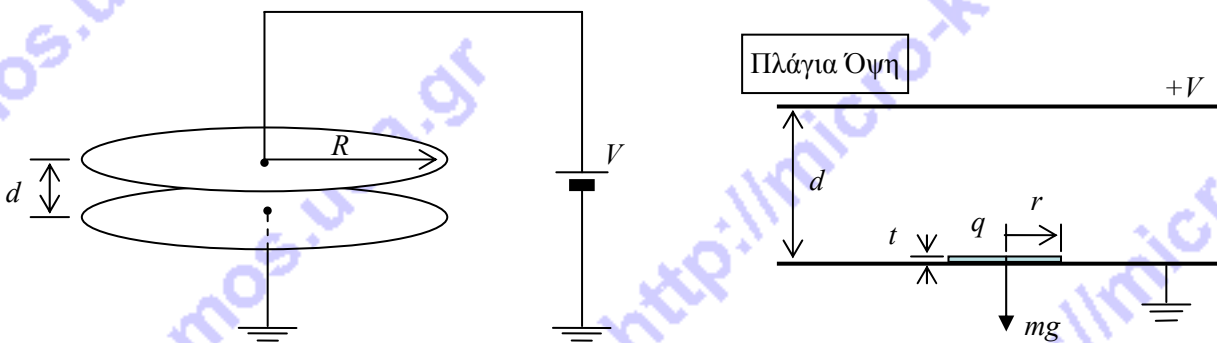
Να τοποθετήσετε τα έγγραφα μέσα στο φάκελο και να τα αφήσετε όλα στο γραφείο σας. Δεν επιτρέπεται να πάρετε κανένα φύλλο μαζί σας.

## 1° Θεωρητικό θέμα

### Αντιστάτης “Πινγκ – Πονγκ”

Ένας πυκνωτής αποτελείται από δύο παράλληλες κυκλικές πλάκες, οι οποίες και οι δύο έχουν ακτίνα  $R$  και απέχουν μεταξύ τους απόσταση  $d$ , όπου  $d \ll R$ , όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1(a). Η επάνω πλάκα συνδέεται με πηγή σταθερής τάσης σε δυναμικό  $V$ , ενώ η κάτω πλάκα είναι γειωμένη. Τότε, ένας λεπτός και μικρός δίσκος μάζας  $m$ , με ακτίνα  $r$  ( $\ll R, d$ ) και πάχος  $t$  ( $\ll r$ ), τοποθετείται στο κέντρο της κάτω πλάκας, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1(b).

Ας υποθέσουμε, ότι ο χώρος μεταξύ των πλακών είναι κενός, με διηλεκτρική σταθερά  $\epsilon_0$ . Οι πλάκες και ο δίσκος αποτελούνται από υλικό που είναι ιδανικός αγωγός. Όλα τα ηλεκτροστατικά φαινόμενα στα άκρα τους να αγνοηθούν. Η επαγωγή ολοκλήρου του κυκλώματος και τα σχετικιστικά φαινόμενα μπορούν να παραβλεφθούν. Τα επαγωγικά φορτία μπορούν επίσης να αγνοηθούν.



Εικόνα 1.1 Σχηματικές παραστάσεις (a) ενός πυκνωτή με παράλληλες πλάκες, που συνδέονται με μια πηγή σταθερής τάσης και (b) της πλάγιας όψης των παραλλήλων πλακών με έναν μικρό δίσκο τοποθετημένο στο εσωτερικό του πυκνωτή (βλ. το κείμενο για τις λεπτομέρειες).

(a) [1.2 μονάδες] Υπολογίστε την ηλεκτροστατική δύναμη  $F_p$  μεταξύ των πλακών που βρίσκονται σε απόσταση  $d$  πριν εισαχθεί ο δίσκος μεταξύ τους, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1(a).

(b) [0.8 μονάδες] Όταν ο δίσκος τοποθετείται στην κάτω πλάκα, το φορτίο  $q$  που εμφανίζεται επάνω στο δίσκο της εικόνας 1.1(b) συσχετίζεται με την τάση  $V$  με τη σχέση  $q = \chi V$ . Βρείτε το  $\chi$  ως συνάρτηση των  $r$ ,  $d$  και  $\epsilon_0$ .

(c) [0.5 μονάδες] Οι παράλληλες πλάκες βρίσκονται κάθετα σε ομογενές βαρυτικό

πεδίο  $g$ . Για να ανυψώσουμε το δίσκο πάνω από την αρχική του θέση ακινησίας, πρέπει να αυξήσουμε την εφαρμοζόμενη τάση πάνω από μια τιμή  $V_{th}$ . Αποδώστε το  $V_{th}$  ως συνάρτηση των  $m$ ,  $g$ ,  $d$  και  $\chi$ .

(d) [2.3 μονάδες] Όταν  $V > V_{th}$ , ο δίσκος κάνει μια κίνηση πάνω-κάτω μεταξύ των πλακών. (Υποθέστε ότι ο δίσκος κινείται μόνον κάθετα χωρίς καμία παρέκκλιση). Οι κρούσεις μεταξύ και των πλακών είναι ανελαστικές, με λόγο ταχυτήτων (restitution coefficient)  $\eta \equiv (v_{after} / v_{before})$ , όπου  $v_{before}$  και  $v_{after}$  είναι οι ταχύτητες του δίσκου ακριβώς πριν και μετά από κάθε κρούση, αντίστοιχα. Οι πλάκες είναι στερεωμένες ακλόνητα σε σταθερές θέσεις. Η ταχύτητα του δίσκου αμέσως μετά από κάθε κρούση με την κάτω πλάκα προσεγγίζει μια “σταθερή” (“steady-state”) τιμή  $v_s$ , η οποία εξαρτάται από το  $V$  σύμφωνα με τη σχέση:

$$v_s = \sqrt{\alpha V^2 + \beta} \quad (1.1)$$

Αποδώστε τους συντελεστές  $\alpha$  και  $\beta$  ως συνάρτηση των  $m$ ,  $g$ ,  $\chi$ ,  $d$  και  $\eta$ . Υποθέστε ότι ολόκληρη η επιφάνεια του δίσκου αγγίζει την πλάκα ομοιόμορφα και ταυτόχρονα, έτσι ώστε η μεταφορά όλου του φορτίου συμβαίνει στιγμιαία σε κάθε κρούση.

(e) [2.2 μονάδες] Μετά την επίτευξη μιας σταθερής κατάστασης, η μέση τιμή ως προς το χρόνο του ρεύματος  $I$  μέσω των πλακών του πυκνωτή μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά από την σχέση  $I = \gamma V^2$ , όπου  $qV \gg mgd$ . Εκφράστε το συντελεστή  $\gamma$  ως συνάρτηση των  $m$ ,  $\chi$ ,  $d$  και  $\eta$ .

(f) [3 μονάδες] Όταν η εφαρμοσμένη τάση  $V$  μειώνεται (εξαιρετικά αργά), υπάρχει μια κρίσιμη τιμή της τάσης  $V_c$  κάτω από την οποία η το φορτίο θα σταματήσει να ρέει. Βρείτε την  $V_c$  και το αντίστοιχο ρεύμα  $I_c$  ως συνάρτηση των  $m$ ,  $g$ ,  $\chi$ ,  $d$  και  $\eta$ . Συγκρίνοντας το  $V_c$  με την οριακή τιμή  $V_{th}$ , πάνω από την οποία ο δίσκος αρχίζει να κινείται όπως έχει αναφερθεί στο (c), κάνετε ένα ποιοτικό διάγραμμα  $I - V$  όταν το  $V$  αυξάνεται και ακολούθως μειώνεται στην περιοχή από  $V = 0$  ως  $3V_{th}$ .