



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Φυσική II

Ενότητα 4: Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια

Κουζούδης Δημήτρης  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

# Σκοποί ενότητας

- Ορισμός της ηλεκτρική δυναμικής ενέργειας.
- Σύγκριση με τη βαρυτική ενέργεια
- Σύγκριση μηχανικού με ηλεκτρικό έργο
- Ορισμός και σχέσεις του ηλεκτρικού δυναμικού
- Διαφορά δυναμικού και παραδείγματα εφαρμογών



# Περιεχόμενα ενότητας

- Βαρυτική δυναμική ενέργεια – μηχανικό έργο
- Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια
  - Παραδείγματα
- Ηλεκτρικό δυναμικό
  - Παράδειγμα
- Διαφορά δυναμικού
  - Παράδειγμα
- Προβλήματα για εξάσκηση

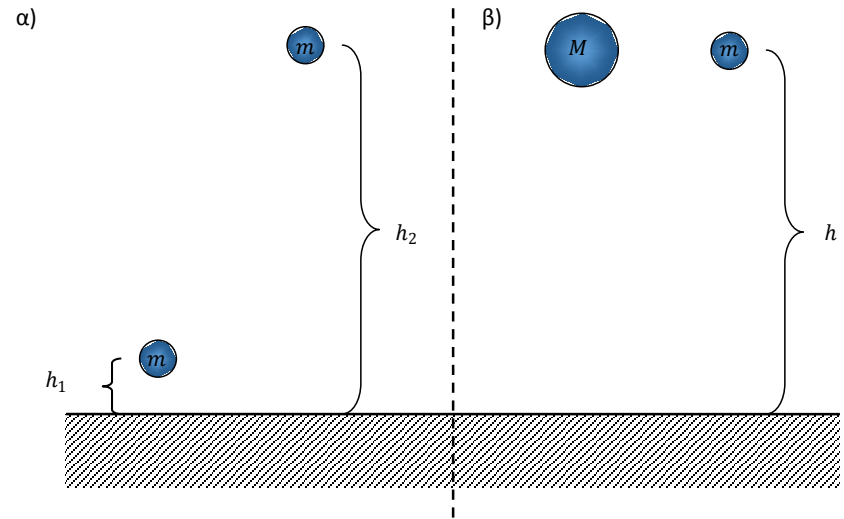


# Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια

Ηλεκτρικό δυναμικό

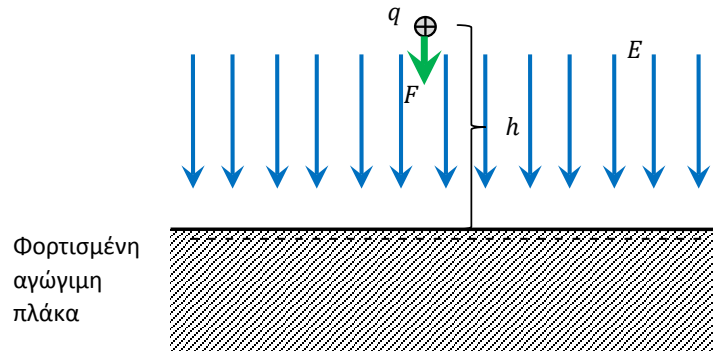
# Βαρυτική δυναμική ενέργεια – μηχανικό έργο

- Ενέργεια λόγω θέσης
  - Ύψος
  - Βαρύτητα
  - Μάζα
- Κοντά στο έδαφος
  - $U = mgh$  ( $\equiv$  Joules,  $J$ )
- Θετική ή αρνητική
- Από υψηλή προς χαμηλή δυναμική ενέργεια
- Έργο δύναμης πεδίου
  - $W = -\Delta U$



# Ηλεκτρική Δυναμική Ενέργεια

- Παρόμοιο με βαρυτικό πεδίο



$$U = q|E|h$$

- Ομοιογενές πεδίο:  $F = q E$

$$U(x) = - \int F(x) dx$$

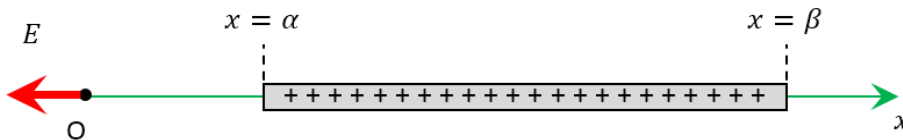
- Μη ομοιογενές πεδίο:  $F(x) = q E(x)$

$$U(x) = -q \int E(x) dx$$



# Παράδειγμα 1

Μια φορτισμένη γραμμή πεπερασμένου μήκους με γραμμική πυκνότητα φορτίου  $\lambda$  εκτείνεται από το  $x=\alpha$  έως το  $x=\beta$ . Το ηλεκτρικό πεδίο στην αρχή των αξόνων είναι:  $E_0=k\lambda(1/\alpha-1/\beta)$ . Να βρεθούν α) το πεδίο  $E(x)$  σε σημείο P με τυχαία συντεταγμένη  $x<\alpha$  και β) η δυναμική ενέργεια ενός υποθετικού δοκιμαστικού φορτίου  $q$  όταν αυτό τοποθετηθεί στο σημείο P. Πάρτε ως σημείο αναφοράς την αρχή των αξόνων.



Αν το P ήταν πριν την αρχή των αξόνων O:

$$E_p = k\lambda \left( \frac{1}{\alpha - x} - \frac{1}{\beta - x} \right)$$

$$U(x) = -q \int E(x) dx = -qk\lambda \int \left( \frac{1}{\alpha - x} - \frac{1}{\beta - x} \right) dx$$

$$U(x) = qk\lambda [\ln(\alpha - x) - \ln(\beta - x)] + c$$

$$U(0) = 0 \Rightarrow qk\lambda [\ln(\alpha) - \ln(\beta)] + c = 0$$

$$c = -qk\lambda [\ln(\alpha) - \ln(\beta)]$$

$$U(x) = qk\lambda \left[ \ln \left( \frac{\alpha - x}{\alpha} \right) - \ln \left( \frac{\beta - x}{\beta} \right) \right]$$



# Παράδειγμα 2

Να υπολογισθεί η δυναμική ενέργεια ενός υποθετικού θετικού δοκιμαστικού φορτίου  $q$  όταν αυτό τοποθετηθεί στο πεδίο ενός άλλου θετικού σημειακού φορτίου  $Q \gg q$ . Υποθέστε ότι και τα δυο φορτία βρίσκονται επάνω στον άξονα  $x$  και εργαστείτε στη μια διάσταση.

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

$$U(r) = -q \int E(r) dr = -q \int k \frac{Q}{r^2} dr = k \frac{Qq}{r} + c$$

$$\frac{1}{r} \rightarrow 0 \text{ όταν } r \rightarrow \infty$$

$$U(\infty) \rightarrow 0, \text{ άρα στο } c = 0$$

Δυναμική ενέργεια 2 σημειακών φορτίων

$$U = k \frac{Qq}{r}$$





# Ηλεκτρικό δυναμικό

- Ορισμός :

$$V(x) = \frac{U(x)}{q}$$

- Ανεξάρτητο του φορτίου
- Μονάδες:  $1 \text{ V (Volt)} = 1 \text{ J/C}$
- Σχέση με το ηλεκτρικό πεδίο:

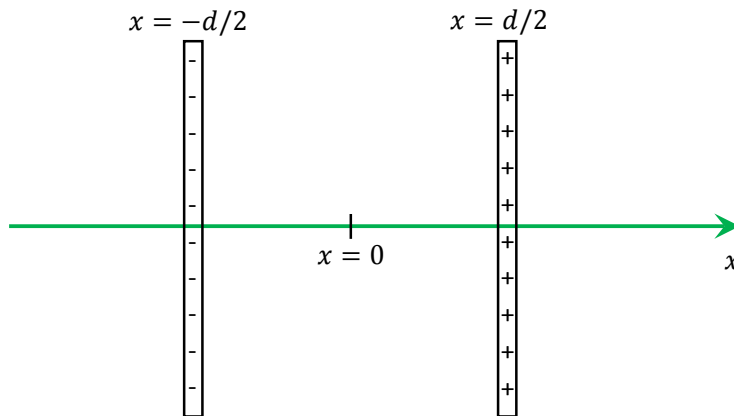
$$V(x) = - \int E(x) dx$$

$$E(x) = - \frac{dV(x)}{dx}$$



# Παράδειγμα 3

Επίπεδος πυκνωτής αποτελείται από δυο ορθογώνιες πλάκες με ομοιόμορφο φορτίο  $Q$  και εμβαδό  $A$  η καθεμία, οι οποίες βρίσκονται κάθετα στις θέσεις  $x = \pm d/2$  επάνω στον άξονα  $x$ . Να βρεθεί το ηλεκτρικό δυναμικό παντού στο χώρο εάν είναι μηδέν στο  $x=0$ .



$$\Delta V = \frac{Qd}{A\epsilon_0}$$

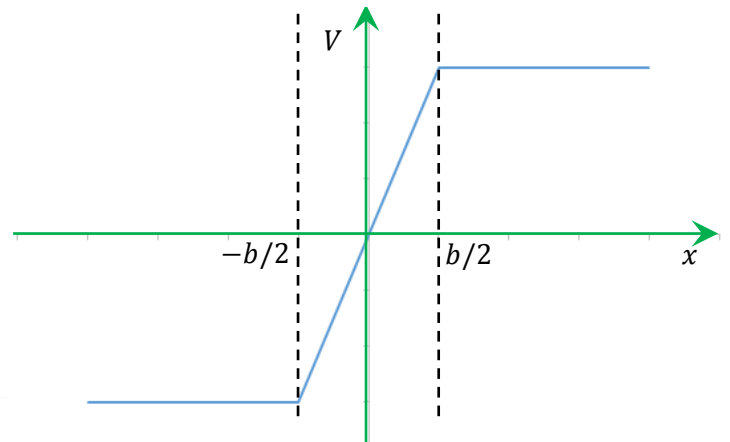
$$V(x) = \begin{cases} -\frac{|E|d}{2} & x \leq -b/2 \\ |E|x & -b/2 < x < b/2 \\ \frac{|E|d}{2} & x \geq b/2 \end{cases}$$

$$E = -\frac{\sigma}{\epsilon_0} = -\frac{Q}{A\epsilon_0}$$

$$V(x) = -\int E dx = -E \int dx = -Ex + c$$

$$V\left(\pm \frac{d}{2}\right) = \mp \frac{Ed}{2}$$

$$\Delta V = V(d/2) - V(-d/2) = -\frac{Ed}{2} - \left(-\frac{Ed}{2}\right) = -Ed$$



# Διαφορά δυναμικού

- Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ 2 σημείων

$$V_B - V_A = - \int_A^B E(x) dx$$

- Όμως,  $E(x) = F(x)/q$

$$V_B - V_A = - \frac{1}{q} \int_A^B F dx$$

- Επικαμπύλιο ολοκλήρωμα  $\rightarrow$  έργο
- Ηλεκτρικό έργο

$$W_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)$$

- Στις 3 διαστάσεις:

$$V_B - V_A = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$



# Παράδειγμα 4

Έστω ότι ο παραπάνω πυκνωτής φέρει φορτίο  $Q=100 \mu\text{C}$ , το εμβαδό του κάθε οπλισμού ισούται με  $6 \text{ cm}^2$  και ότι βρίσκονται μεταξύ τους σε απόσταση  $2 \text{ mm}$ . Να βρεθεί το έργο που αποδίδει το πεδίο του πυκνωτή σε ένα θετικό σημειακό φορτίο  $q=2 \mu\text{C}$  εάν το μετακινεί από το  $x=-0.5 \text{ mm}$  έως και το  $x=0.5 \text{ mm}$

Εσωτερικό πυκνωτή :  $V(x)=-Ex$

$$E = -\frac{Q}{A\epsilon_0} = \frac{-100 \times 10^{-6}}{6 \times 10^{-4} \times 8.85 \times 10^{-12}} = -1.88 \times 10^{10} \text{ N/C}$$

$$V_A = -Ex_A = 1.88 \times 10^{10} (-0.5 \times 10^{-3}) = -0.94 \times 10^7 \text{ V}$$

$$V_B = -Ex_B = 1.88 \times 10^{10} \times 0.5 \times 10^{-3} = 0.94 \times 10^7 \text{ V}$$

$$W_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B) = 2 \times 10^{-6} (-0.94 \times 10^7 - 0.94 \times 10^7) = -37.6 \text{ J}$$



# Προβλήματα

- **Πρόβλημα 1.** Ένα θετικά φορτισμένο φύλλο βρίσκεται 40 mm επάνω από ένα αρνητικά φορτισμένο φύλλο (διάταξη πυκνωτή) και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ τους ισούται με  $5 \times 10^5$  N/C. Βρείτε την δυναμική ενέργεια ενός φορτίου  $+4 \mu\text{C}$  εάν αυτό τοποθετηθεί σε μια απόσταση α) 15 mm και β) 30 mm από το θετικό φύλλο. Πάρτε ως αναφορά του δυναμικού το αρνητικό φύλλο.
- **Πρόβλημα 2.** Στο προηγούμενο Πρόβλημα α) πόση δύναμη  $F_E$  ασκείται στο φορτίο όταν αυτό βρίσκεται στην αρχική του θέση; β) πόση δύναμη  $F$  πρέπει να του ασκηθεί για να το φέρουμε πολύ αργά από τη γείωση (αρνητικό φύλλο) στην αρχική του θέση; γ) Υπολογίστε το έργο στο προηγούμενο υποερώτημα χρησιμοποιώντας τον ορισμό του έργου από την Μηχανική και δ) Υπολογίστε το έργο από την ορισμό του.



# Βιβλιογραφία

- Serway R. A., Jewett J. W., 2013, *Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς : ηλεκτρισμός και μαγνητισμός, φώς και οπτική, σύγχρονη φυσική*, Κλειδάριθμος , Αθήνα
- Halliday D., Resnick R, 2009, *Φυσική: μέρος Β*, 4<sup>η</sup> εκδ., Γ. & Α. Πνευματικός, Αθήνα
- Young H.D., Freedman R.A., 2010, *Πανεπιστημιακή φυσική με σύγχρονη φυσική, τ. 2: Ηλεκτρομαγνητισμός-Οπτική* , 2<sup>η</sup> έκδ., Παπαζήσης , Αθήνα
- Pollack G.L., Stump D. R., 2002, *Electromagnetism*, Addison Wesley, San Francisco
- Hecht E.P., 1975, *Schaum's outline of theory and problems of optics*, McGraw-Hill Book Company, New York



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών

Δημήτριος Κουζούδης. «Φυσική II»

Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:  
<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2165/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.