

Γενική Φυσική

Κωνσταντίνος Χ. Παύλου
Φυσικός – Ραδιοηλεκτρολόγος (MSc)
Καστοριά, Σεπτέμβριος 14

Το ηλεκτρικό πεδίο

1. Η έννοια του ηλεκτρικού πεδίου
2. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου
3. Πεδίο σημειακού φορτίου
4. Οι δυναμικές γραμμές
5. Η αρχή της υπέρθεσης (επαλληλίας)
6. Μορφές πεδίων
7. Ομογενές πεδίο

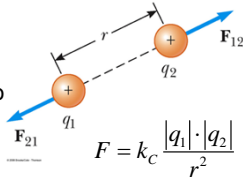
Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Ο νόμος Coulomb

• **Δράση από απόσταση:**

- Οι δυνάμεις μεταφέρονται ακαριαία από το ένα φορτίο στο άλλο χωρίς να είναι αναγκαία η μεσολάβηση κάποιου μέσου.

- Όμως η μέγιστη ταχύτητα στη φύση είναι 300.000 km/s. Έχει νόημα η ακαριαία μεταφορά?



3

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (MSc)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Το ηλεκτρικό πεδίο

- Σύμφωνα με τη θεωρία του (ηλεκτρικού) πεδίου, η δύναμη μεταξύ των φορτίων q_1 και q_2 είναι αποτέλεσμα δυο βημάτων:
 1. Το φορτίο q_1 δημιουργεί γύρω της ηλεκτρικό πεδίο (άγνωστο πως).
 2. το ηλεκτρικό πεδίο αλληλεπιδρά με το φορτίο q_2 (δλδ, το πεδίο ασκεί τη δύναμη στο q_2 και όχι το q_1).
- Άρα, η δύναμη ασκείται στο q_2 από κάτι (το πεδίο) που βρίσκεται στο ίδιο σημείο (με το q_2) και όχι μακριά απ' αυτό (όπως το q_1).

4

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (ΉΣ)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Το ηλεκτρικό πεδίο

Τελικά, τι ακριβώς είναι αυτό το... πεδίο ?



- Ηλεκτρικό πεδίο ονομάζουμε το χώρο ο οποίος ασκεί δυνάμεις σε φορτία που θα βρεθούν σ' αυτόν.
- Άρα, είναι μια ιδιότητα που αποκτά ο χώρος!

5

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (ΉΣ)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Το ηλεκτρικό πεδίο

- Πως μπορούμε να διαπιστώσουμε την ύπαρξη ενός ηλεκτρικού πεδίου?
- Αρκεί να φέρουμε στο χώρο ένα δοκιμαστικό φορτίο (που συνήθως το ονομάζουμε **υπόθεμα**):
 - Αν ασκηθεί πάνω του κάποια δύναμη τότε μπορούμε να πούμε πως βρίσκεται μέσα σε κάποιο ηλεκτρικό πεδίο (το οποίο το δημιουργούν κάποια άλλα φορτία)...
- Υποθέτουμε πως δεν υπάρχουν άλλες αλληλεπιδράσεις, οποιουδήποτε είδους.

6

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (ΉΣ)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Η έννοια του πεδίου γενικά...

- Ως πεδίο αναφέρεται ο χώρος ο οποίος έχει την ιδιότητα να ασκεί δυνάμεις σε “κατάλληλα” υποθέματα:
- **Βαρυτικό πεδίο:** ασκεί δυνάμεις σε μάζες.
- **Μαγνητικό πεδίο:** ασκεί δυνάμεις σε μαγνήτες.
- **Ηλεκτρικό πεδίο:** ασκεί δυνάμεις σε ηλεκτρικά φορτία.

7

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (ΉΣ)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Περιγραφή του πεδίου

- Η περιγραφή ενός πεδίου δυνάμεων γίνεται χρησιμοποιώντας δύο μεγέθη:
- 1. Την **ένταση** του πεδίου (διανυσματικό μέγεθος), που έχει να κάνει με τις δυνάμεις που ασκεί το πεδίο...
- 2. Το **δυναμικό** του πεδίου (μονόμετρο μέγεθος), που έχει να κάνει με την ενέργεια και το έργο...

8

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (ΉΣ)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

- Ως ένταση ενός πεδίου ορίζουμε τη δύναμη που ασκείται στη μονάδα του υποθέματος.
- Άρα, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου θα ισούται με τη βαρυτική δύναμη που ασκείται σε φορτίο ίσο με 1 C.
- Αν συμβολίσουμε με \vec{E} την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου θα έχουμε:
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$
- Άρα μονάδα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου:

$$[\vec{E}] = \frac{[\vec{F}]}{[q]} \Rightarrow [\vec{E}] = \frac{1N}{1C} = 1 \frac{N}{C}$$

9

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (ΉΣ)

19-Σεπ-14

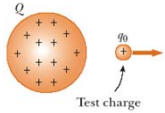
Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

- Εξ' ορισμού λοιπόν, η ένταση \vec{E} δημιουργεί ένα φορτίο Q (πηγή του πεδίου) στη θέση όπου βρίσκεται ένα μικρό φορτίο q_0 (υπόθεμα) δίνεται από τη σχέση

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

- όπου \vec{F} είναι η δύναμη που δέχεται το υπόθεμα.



Θεωρητικά, στον υπολογισμό της έντασης το υπόθεμα πρέπει να είναι πάρα πολύ μικρό για να μην επηρεάζει την κατανομή των φορτίων της πηγής.

10

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5C)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

Σύμφωνα με τον ορισμό, η ένταση είναι μέγεθος διανυσματικό:

- το μέτρο της έντασης ισούται με το μέτρο της δύναμης προς την απόλυτη τιμή του φορτίου που δέχεται τη δύναμη:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{|\vec{F}|}{|q|} \Rightarrow E = \frac{F}{|q|}$$

- η κατεύθυνση της έντασης συμπίπτει με την κατεύθυνση της δύναμης αν το υπόθεμα είναι θετικό. Αλλιώς είναι αντίρροπη απ' αυτή.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \Rightarrow \begin{cases} \vec{E} \uparrow \vec{F}, & q > 0 \\ \vec{E} \downarrow \vec{F}, & q < 0 \end{cases}$$

11

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5C)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Παράδειγμα 3, σελ 84

Παράδειγμα 3

Ποια είναι η δύναμη που ασκείται σε ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται σε σημείο «Σ» ηλεκτρικού πεδίου, στο οποίο η ένταση έχει μέτρο $E = 4 \cdot 10^6 \text{ N/C}$; (Εικ. 11).

Δίνεται: φορτίο ηλεκτρονίου $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

12

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5C)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

- Στο σημείο Α φέρουμε ένα θετικό υπόθεμα q_{01} .
- Δέχεται απωστική δύναμη \vec{F}_1 .
- Η ένταση \vec{E}_A θα είναι

$$\vec{E}_A = \frac{\vec{F}_1}{q_{01}}$$

- ομόρροπη της \vec{F}_1 αφού $q_{01} > 0$.

13 (c) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5c) 19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

- Στο σημείο Β φέρουμε ένα αρνητικό υπόθεμα q_{02} .
- Δέχεται ελκτική δύναμη \vec{F}_2 .
- Η ένταση \vec{E}_B θα είναι

$$\vec{E}_B = \frac{\vec{F}_2}{q_{02}}$$

- αντίρροπη της \vec{F}_2 αφού $q_{02} < 0$.

14 (c) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5c) 19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

- Άρα, όταν το πεδίο δημιουργείται από θετικό φορτίο, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου έχει κατεύθυνση ακτινική “προς τα έξω”, ανεξάρτητα από το υπόθεμα.

15 (c) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5c) 19-Σεπ-14

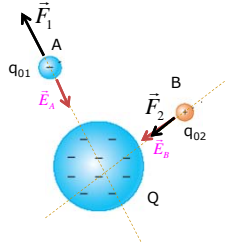
Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

- Στο σημείο A φέρουμε ένα αρνητικό υπόθεμα q_{01} .
- Δέχεται απωστική δύναμη \vec{F}_1 .
- Η ένταση \vec{E}_A θα είναι

$$\vec{E}_A = \frac{\vec{F}_1}{q_{01}}$$

- αντίρροπη της \vec{F}_1 αφού $q_{01} < 0$.



16

(c) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός - Ρ/Η (Φ5c)

19-Σεπ-14

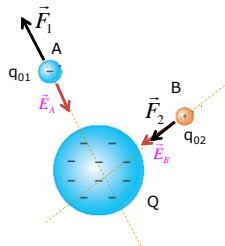
Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

- Στο σημείο B φέρουμε ένα αρνητικό υπόθεμα q_{02} .
- Δέχεται ελκτική δύναμη \vec{F}_2 .
- Η ένταση \vec{E}_B θα είναι

$$\vec{E}_B = \frac{\vec{F}_2}{q_{02}}$$

- ομόρροπη της \vec{F}_2 αφού $q_{02} > 0$.



17

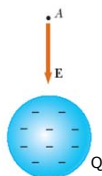
(c) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός - Ρ/Η (Φ5c)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

- Άρα, όταν το πεδίο δημιουργείται από αρνητικό φορτίο, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου έχει κατεύθυνση ακτινική “προς τα μέσα”, ανεξάρτητα από το υπόθεμα.



18

(c) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός - Ρ/Η (Φ5c)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Πεδίο Coulomb

- Αν η πηγή του πεδίου, όπως και το υπόθεμα είναι σημειακά φορτία, τότε για τη μεταξύ τους δύναμη ισχύει ο νόμος του Coulomb. Άρα για την ένταση του πεδίου κατά μέτρο θα έχουμε:

$$E = \frac{F}{|q_0|} \xrightarrow{F=k_c \frac{|q| |q_0|}{r^2}} E = \frac{k_c \frac{|q| \cdot |q_0|}{r^2}}{|q_0|} \Rightarrow E = k_c \frac{|q|}{r^2}$$

- Ανεξάρτητη του υποθέματος.

19

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (ΉΣ)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

- Συνεπώς, έχουμε καταλήξει στο εξής συμπέρασμα:
- Ενώ κατά τον ορισμό της έντασης εισέρχεται η έννοια του δοκιμαστικού φορτίου (υποθέματος), τελικά η ένταση δεν εξαρτάται απ' αυτό:
 - Ούτε κατά κατεύθυνση
 - Ούτε κατά μέτρο.
- Η ένταση του πεδίου εξαρτάται από
 1. Την πηγή του πεδίου
 2. Την απόσταση από την πηγή
 3. Το μέσο μέσα στο οποίο βρίσκεται η πηγή

20

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (ΉΣ)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

- Μπορούμε λοιπόν γύρω από κάποιο φορτίο (πηγή του πεδίου) να σχεδιάσουμε το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που η αυτή δημιουργεί, σε κάθε σημείο.
- Αν στο χώρο αυτό, φέρουμε κάποιο (θετικό) φορτίο q:
 - η κατεύθυνση του διανύσματος της έντασης θα μας δείχνει την κατεύθυνση της δύναμης που θα δεχθεί το φορτίο q (αντίθετη αν q < 0),
 - Το μήκος του διανύσματος (που εκφράζει το μέτρο του διανύσματος) θα μας δείχνει πόσο ισχυρή θα είναι αυτή η δύναμη.

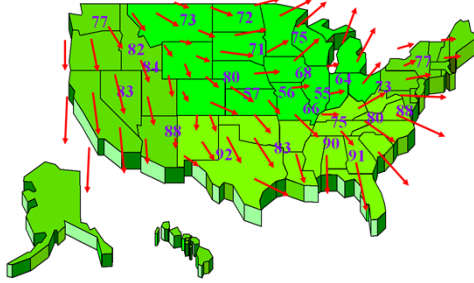
21

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (ΉΣ)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Παράδειγμα διανυσματικού πεδίου



22

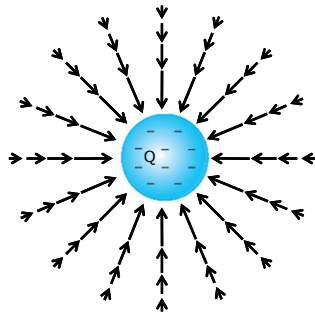
ω) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5c)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Το πεδίο ενός σημειακού φορτίου

- Αν η πηγή του πεδίου είναι αρνητική τότε το πεδίο έχει τη μορφή που φαίνεται δίπλα.



23

ω) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5c)

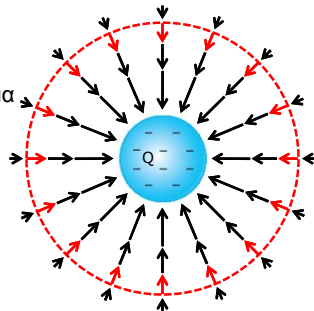
19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Το πεδίο ενός σημειακού φορτίου

- Όλα τα σημεία που ισαπέχουν από το σημειακό φορτίο (πηγή), έχουν την ίδια κατά μέτρο ένταση.

$$E = k_c \frac{|Q|}{r^2}$$



24

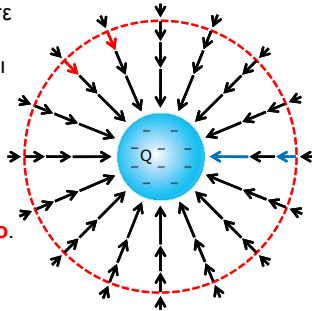
ω) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5c)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Το πεδίο ενός σημειακού φορτίου

- Παρατηρούμε πως σε κάθε σημείο του χώρου, η ένταση έχει γενικώς διαφορετική κατεύθυνση και διαφορετικό μέτρο.
- Ένα τέτοιο πεδίο χαρακτηρίζεται ως **ανομοιογενές πεδίο**.



25

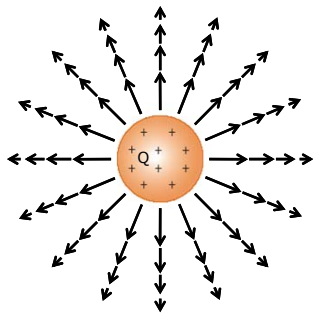
ω) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5c)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Το πεδίο ενός σημειακού φορτίου

- Αν η πηγή του πεδίου είναι θετική τότε το πεδίο έχει τη μορφή που φαίνεται δίπλα και ισχύουν τα ίδια με τα προηγούμενα.



26

ω) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5c)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Οι δυναμικές γραμμές

- Όπως είδαμε στα προηγούμενα είναι δύσκολο να σχεδιάσουμε όλα αυτά τα διανύσματα της έντασης για να περιγράψουμε το πεδίο.
- Γι' αυτό έχει εισαχθεί η έννοια της δυναμικής γραμμής.
- Η **δυναμική γραμμή** είναι μια νοητή γραμμή, σε κάθε σημείο της οποίας, το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι εφαπτόμενο σ' αυτή.
 - Θυμηθείτε την τροχιά ενός σώματος και το διάνυσμα της ταχύτητάς του.
- Η δυναμική γραμμή έχει "φορά" η οποία συμπίπτει με τη φορά του διανύσματος της έντασης.

27

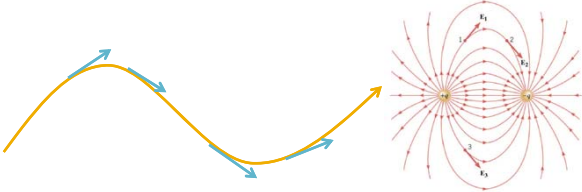
ω) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5c)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Οι δυναμικές γραμμές

- Η **δυναμική γραμμή** είναι μια νοητή γραμμή, σε κάθε σημείο της οποίας, το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι εφαπτόμενο σ' αυτή



28

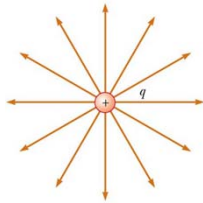
ω) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Ψ5)

19-Σεπ-14

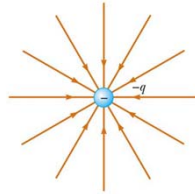
Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Δυναμικές γραμμές σημειακών φορτίων

Θετικό φορτίο



Αρνητικό φορτίο



29

ω) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Ψ5)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Ιδιότητες δυναμικών γραμμών

1. “Ξεκινάνε” από
 - θετικά φορτία και καταλήγουν:
 - είτε σε αρνητικά φορτία
 - είτε στο άπειρο (ανοιχτές δυναμικές γραμμές)
 - το άπειρο και καταλήγουν:
 - σε αρνητικά φορτία (ανοιχτές δυναμικές γραμμές)
2. Δεν τέμνονται μεταξύ τους
3. Εκεί που είναι πιο πυκνές, η ένταση του πεδίου κατά μέτρο είναι μεγαλύτερη.
 - Ο αριθμός των δυναμικών γραμμών γύρω από κάθε φορτίο είναι ανάλογος του φορτίου.

30

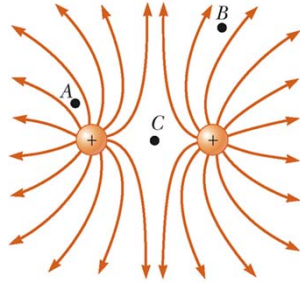
ω) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Ψ5)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Μορφές πεδίων (2 όμοια φορτία)

- Ποια μορφή θα έχει το πεδίο αν τα δυο φορτία ήταν αρνητικά?



34

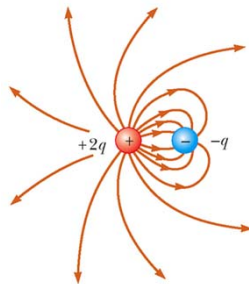
© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5ς)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Μορφές πεδίων (2 ανόμοια φορτία)

- Για κάθε μια δυναμική γραμμή στο $-q$ ξεκινάνε δυο από το $+q$ που είναι μεγαλύτερο (κατ' απόλυτη τιμή).
- Πως θα ήταν το πεδίο αν το αρνητικό φορτίο ήταν το μεγαλύτερο (κατ' απόλυτη τιμή)?



35

© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5ς)

19-Σεπ-14

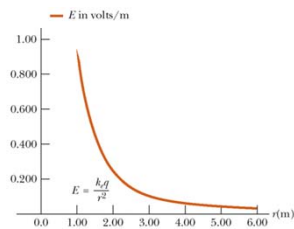
Σχολικό βιβλίο: σελ 82 – 88 (§3.2)

Πεδίο Coulomb

- Για το πεδίο Coulomb είδαμε πως ισχύει η σχέση

$$E = k_c \frac{|Q|}{r^2}$$

- Δλδ η ένταση του πεδίου είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης.



36

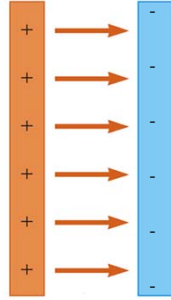
© Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός – Ρ/Η (Φ5ς)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Ομογενές πεδίο

- Μια ιδιαίτερη μορφή πεδίου είναι το ομογενές πεδίο.
- **Ομογενές** ονομάζουμε το πεδίο, σε κάθε σημείο του οποίου η ένταση είναι ακριβώς η ίδια (κατά μέτρο και κατεύθυνση).
- παριστάνεται με δυναμικές γραμμές οι οποίες είναι:
 - παράλληλες
 - ισαπέχουσες



37

(c) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου, Φυσικός - Ρ/Η (H5c)

19-Σεπ-14

Σχολικό βιβλίο: σελ. 82 – 88 (§3.2)

Ερωτήσεις – Ασκήσεις – Προβλήματα

- Σελίδα 111 – 114:
 - 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23
- Σελίδα 119 – 120:
 - 7, 8, 9, 10, 11

38

(c) Κωνσταντίνος Χ. Παύλου

19-Σεπ-14
