

Ηλεκτρομαγνητισμός

Διάλεξη 00

A. Δροσόπουλος

04-10-2022

1 Προκαταρκτικά

2 Εισαγωγικά

1 Προκαταρκτικά

2 Εισαγωγικά

Περίγραμμα Μαθήματος ECE-K360

από οδηγό σπουδών

- Προπτυχιακό
- Εξάμηνο σπουδών Γ (2ο έτος)
- Εβδομαδιαίες ώρες διδασκαλίας: $3\Theta+1\Phi = 4$
- ECTS: 5

Το μάθημα Ηλεκτρομαγνητισμός διαπραγματεύεται τις θεμελιώδεις γνώσεις Ηλεκτρισμού και Μαγνητισμού πάνω στις οποίες στηρίζεται η ειδικότητα του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού. Χρησιμοποιούνται μαθηματικά καταλλήλου επιπέδου για την υποστήριξη σύνθετων μοντέλων στην επίλυση πραγματικών προβλημάτων της ειδικότητας.

Με την επιτυχή ολοκλήρωση του μαθήματος ο φοιτητής / τρια είναι σε θέση να:

- Έχει κατανοήσει σε βάθος τις έννοιες του ηλεκτρικού φορτίου και των πεδίων που δημιουργεί.
- Τη σχέση ηλεκτρομαγνητισμού και θεωρίας κυκλωμάτων.
- Έχει γνώση της μεθοδολογίας, των εργαλείων και των τεχνικών που χρησιμοποιούνται στην επίλυση απλών και συνθέτων προβλημάτων ηλεκτρομαγνητισμού και εφαρμογών του.

Ενότητα 1 Ηλεκτρικό Φορτίο και Ηλεκτρικό Πεδίο

Ενότητα 2 Νόμος του Gauss

Ενότητα 3 Ηλεκτρικό Δυναμικό

Ενότητα 4 Χωρητικότητα και Διηλεκτρικά

Ενότητα 5 Ρεύμα, Αντίσταση και Ηλεκτρεγερτική Δύναμη

Ενότητα 6 Κυκλώματα Συνεχούς Ρεύματος

Ενότητα 7 Μαγνητικό Πεδίο και Μαγνητικές Δυνάμεις

Ενότητα 8 Πηγές Μαγνητικού Πεδίου

Ενότητα 9 Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

Ενότητα 10 Εναλλασσόμενο Ρεύμα

Ενότητα 11 Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα

Τρόπος διδασκαλίας και αξιολόγηση

Διδασκαλία

- Διαλέξεις
- Υλικό στο eclass

Αξιολόγηση

Ενδιάμεση πρόοδος και τελική γραπτή εξέταση. Ο τελικός βαθμός του μαθήματος προκύπτει από τη στάθμιση των βαθμών προόδου (30%) και τελικής εξέτασης (70%).

Τελικός βαθμός = (βαθμός προόδου) x 0.3 + (βαθμός τελικής εξέτασης) x 0.7

Αν ο φοιτητής δεν κατέβει στην πρόοδο τότε:

Τελικός βαθμός = (βαθμός τελικής εξέτασης) x 0.7

Αν ο φοιτητής δεν περάσει το μάθημα στην πρώτη εξεταστική ο επιμέρους βαθμός του στην πρόοδο κρατιέται μόνο μέχρι και τη 2η εξεταστική του Σεπτέμβρη. Αν δεν περάσει και εκεί, γίνεται reset βαθμών για την επόμενη χρονιά όπου επαναλαμβάνει το μάθημα με ότι τυχόν αναπροσαρμογή χρειαστεί.



Ηλεκτρομαγνητισμός - Οπτική - Σύγχρονη Φυσική

Κωδικός Βιβλίου στον Εοδόξο: 112690846

Συγγραφείς: Young H., Freedman R.

Αριθμός Έκδοσης 4η ελληνική έκδ.

Έτος Τρέχ. Έκδοσης 2022

Αριθμός τόμου Β ΤΟΜΟΣ

Λέξεις κλειδιά

Θεματικές Ενότητες

ISBN 9789600238259

Εκδόσεις ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ

Δέσιμο Μαλακό Εξώφυλλο

Διαστάσεις 21x29

Αριθμός Σελίδων 1040

Διαθέτης (Εκδότης) ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α.ΠΑΠΑΖΗΣΗΣ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΙΔΙΩΤΙΚΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥΧΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ

Τύπος Σύγγραμμα

Ιστοσελίδα Βιβλίου [Εδώ](#)

Σχήμα: Πανεπιστημιακή Φυσική Τόμος Β

1 Προκαταρκτικά

2 Εισαγωγικά

Εισαγωγικά 1

- Κλασσικός Ηλεκτρομαγνητισμός συμπεριλαμβάνει στατικό ηλεκτρομαγνητισμό, χρονικώς σταθερά και μη ρεύματα, χρονικώς μεταβαλλόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, παραγωγή και διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, κυματοδηγούς, μαγνητοϋδροδυναμική, κ.α. Κβάντωση και σταθερά Planck άγνωστα.
- Βασίζεται στις εξισώσεις Maxwell που συνδέουν ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο με πυκνότητες ηλεκτρικού φορτίου και ηλεκτρικού ρεύματος στα οποία οφείλονται. Εμπεριέχεται η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου καθώς και η ανυπαρξία μεμονομένων μαγνητικών πόλων. Μαζί με την εξίσωση Lorentz η οποία παρέχει τη δύναμη σε φορτίο συναρτήσε των εντάσεων του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στο χώρο που βρίσκεται το φορτίο και της ταχύτητάς του, αποτελούν ένα σύστημα εξισώσεων βάσει των οποίων μπορούμε κατ' αρχήν να λύσουμε οποιοδήποτε πρόβλημα Κλασσικού Ηλεκτρομαγνητισμού.
- Εάν προσθέσουμε τη θεμελιώδη εξίσωση Μηχανικής (μεταβολή ορμής συναρτήσε δύναμης) και τον νόμο της παγκόσμιας έλξης, έχουμε το σύνολο των νόμων στους οποίους θεμελιώνεται η κλασσική φυσική. Μαζί με τα τρία θερμοδυναμικά αξιώματα αποτελούσαν το φάσμα των γνώσεων της φυσικής μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα.

Εισαγωγικά 2

- Το 1905 ο Einstein με την Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας διεύρυνε την Νευτώνεια Μηχανική προκειμένου να περιγράψει σωματίδια κινούμενα με μεγάλες ταχύτητες. Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell χρησιμοποιήθηκε από τον Einstein στην ανάπτυξη της θεωρίας της Σχετικότητας και δεν τροποποιήθηκε από αυτήν.
- Το 1901 αρχίζει η εποχή της κβαντικής φυσικής με τον Planck (ακτινοβολία μέλανος σώματος, κβάντωση ενέργειας, εισαγωγή έννοιας του φωτονίου). Οι τροποποιήσεις που επιφέρει η κβαντική θεωρία στον ηλεκτρομαγνητισμό είναι επουσιώδεις ακόμα και για αποστάσεις της τάξεως 10^{-12} m (100 φορές μικρότερες των διαστάσεων των ατόμων). Μπορούμε να περιγράψουμε τις δυνάμεις ηλεκτρονίου - πυρήνα στο άτομο με τους ίδιους νόμους που χρησιμοποιούμε στο μακρόκοσμο για φορτισμένα σώματα.
- Ακολουθεί το 1924 το αξίωμα de Broglie περί δυϊσμού σωματιδίου-κύματος που οδηγεί το 1927 στην αρχή αβεβαιότητας Heisenberg και θεμελιώνεται η Κβαντομηχανική. Κλασσικά μεγέθη όπως μήκος, ορμή, ενέργεια αντικαθίστανται από τελεστές με ιδιότητες που είναι μετρήσιμες ποσότητες (πρώτη κβάντωση). Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell παραμένει ως έχει.

- Αναθεώρηση και επέκταση της Κλασσικής Ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας έχουμε με τη δεύτερη κβάντωση (κβάντωση πεδίου) που αποτελεί αντικείμενο της Κβαντικής Ηλεκτροδυναμικής. Φαινόμενα όπως σκέδαση φωτονίων, κβαντική διεμπλοκή (quantum entanglement) και αλληλεπιδράσεις φωτονίων με κβαντική ύλη χρειάζονται Κβαντική Ηλεκτροδυναμική (Quantum Electrodynamics, QED). Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell καθίσταται πια το κλασσικό όριο της QED.
- Θεωρίες ενοποίησης (electroweak, superstring, standard model) κλπ συνεχίζουν να αναπτύσσονται. Ενδιαφέρον: Σκοτεινή ύλη, σκοτεινή ενέργεια.
- Συμπέρασμα: Διαφορές από τον κλασσικό ηλεκτρομαγνητισμό έχουμε μόνο σε πολύ ισχυρά πεδία ή σε πολύ μικρές αποστάσεις. Η θεωρία «κρατάει» πολύ καλά στο να μπορούμε να περιγράψουμε μακροσκοπικά οτιδήποτε ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα αντιμετωπίζουμε στην καθημερινή μας ζωή και να κατασκευάσουμε ηλεκτρικές συσκευές/στοιχεία/συστήματα με επιθυμητές ιδιότητες.

Τι είναι Ηλεκτρομαγνητισμός

Ηλεκτρομαγνητισμός είναι ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων και των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που δημιουργούνται από αυτά. Συνδέει όλα τα αντικείμενα με τα οποία ασχολείται ένας Ηλεκτρολόγος Μηχανικός.

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΕΙΝΑΙ:

- Φορτία, μαγνήτες, ηλεκτρικές μηχανές, ηλεκτρική ενέργεια, μετασχηματιστές
- Ηλεκτρομαγνητικά κύματα, ραδιοφωνία, τηλεόραση, επικοινωνίες, κινητή τηλεφωνία, φως
- Βιολογικά ηλεκτρικά σήματα, ηλεκτρικά διαγνωστικά συστήματα

ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ: Ηχητικά κύματα, Ταλαντώσεις, Βαρύτητα

ΕΙΝΑΙ μια από τις 4 θεμελιώδεις δυνάμεις στο σύμπαν. Με σειρά ισχύος:

- 1 Ισχυρή πυρηνική δύναμη
- 2 Ηλεκτρομαγνητική
- 3 Ασθενής πυρηνική δύναμη
- 4 Βαρύτητα

- Κλασσικό Ηλεκτρομαγνητισμό, ηλεκτροστατικά πεδία, μαγνητοστατικά πεδία, ηλεκτροδυναμική, εφαρμογές.
- Παράλληλα γίνεται επισκόπηση των αναγκαίων μαθηματικών εννοιών διανυσματικού λογισμού που περιγράφουν τα φυσικά μεγέθη που μας ενδιαφέρουν.

Εξισώσεις Maxwell - Πεδίο Χρόνου

ολοκληρωτική μορφή	διαφορική μορφή	όνομα
$\oint_C \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{l} = - \iint_S \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{S}$	$\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = - \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B}(\mathbf{r}, t)$	<i>Νόμος Faraday</i>
$\oint_C \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{l} = \iint_S \left[\mathbf{J}(\mathbf{r}, t) + \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) \right] \cdot d\mathbf{S}$	$\nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{J}(\mathbf{r}, t) + \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{D}(\mathbf{r}, t)$	<i>Νόμος διαρεύματος Ampère</i>
$\oiint_S \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{S} = \iiint_V \rho(\mathbf{r}, t) dV$	$\nabla \cdot \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) = \rho(\mathbf{r}, t)$	<i>Νόμος Gauss</i>
$\oiint_S \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{S} = 0$	$\nabla \cdot \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = 0$	<i>Όχι μαγνητικό φορτίο</i>
$\oiint_S \mathbf{J}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{S} = - \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho(\mathbf{r}, t) dV$	$\nabla \cdot \mathbf{J}(\mathbf{r}, t) = - \frac{\partial}{\partial t} \rho(\mathbf{r}, t)$	<i>Συνέχεια ρεύματος</i>
$\mathbf{D}(\mathbf{r}, t) = [\epsilon(\mathbf{E}, \mathbf{B}, \mathbf{r}, t)]\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = [\mu(\mathbf{E}, \mathbf{B}, \mathbf{r}, t)]\mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$		<i>Καταστατικές εξισώσεις</i>

Εξισώσεις Maxwell - Πεδίο Συχνοτήτων

ολοκληρωτική μορφή	διαφορική μορφή	όνομα
$\oint_C \mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega) \cdot d\mathbf{l} = - \iint_S j\omega \mathbf{B}(\mathbf{r}, \omega) \cdot d\mathbf{S}$	$\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega) = -j\omega \mathbf{B}(\mathbf{r}, \omega)$	<i>Νόμος Faraday</i>
$\oint_C \mathbf{H}(\mathbf{r}, \omega) \cdot d\mathbf{l} = \iint_S [\mathbf{J}(\mathbf{r}, \omega) + j\omega \mathbf{D}(\mathbf{r}, \omega)] \cdot d\mathbf{S}$	$\nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}, \omega) = \mathbf{J}(\mathbf{r}, \omega) + j\omega \mathbf{D}(\mathbf{r}, \omega)$	<i>Νόμος διαρεύματος Ampère</i>
$\oiint_S \mathbf{D}(\mathbf{r}, \omega) \cdot d\mathbf{S} = \iiint_V \rho(\mathbf{r}, \omega) dV$	$\nabla \cdot \mathbf{D}(\mathbf{r}, \omega) = \rho(\mathbf{r}, \omega)$	<i>Νόμος Gauss</i>
$\oiint_S \mathbf{B}(\mathbf{r}, \omega) \cdot d\mathbf{S} = 0$	$\nabla \cdot \mathbf{B}(\mathbf{r}, \omega) = 0$	<i>Όχι μαγνητικό φορτίο</i>
$\oiint_S \mathbf{J}(\mathbf{r}, \omega) \cdot d\mathbf{S} = -j\omega \iiint_V \rho(\mathbf{r}, \omega) dV$	$\nabla \cdot \mathbf{J}(\mathbf{r}, \omega) = -j\omega \rho(\mathbf{r}, \omega)$	<i>Συνέχεια ρεύματος</i>
$\mathbf{D}(\mathbf{r}, \omega) = [\epsilon(\mathbf{E}, \mathbf{B}, \mathbf{r}, \omega)]\mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega)$ $\mathbf{B}(\mathbf{r}, \omega) = [\mu(\mathbf{E}, \mathbf{B}, \mathbf{r}, \omega)]\mathbf{H}(\mathbf{r}, \omega)$		<i>Καταστατικές εξισώσεις</i>

Εξισώσεις Maxwell - Παράμετροι

όπου	\mathbf{r}	=	διάνυσμα θέσης στο χώρο
	$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$	=	ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε V/m
	$\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)$	=	μαγνητική επαγωγή ή πυκνότητα μαγνητικής ροής σε Wb/ m ²
	$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$	=	ένταση του μαγνητικού πεδίου σε A/m
	$\mathbf{D}(\mathbf{r}, t)$	=	διηλεκτρική μετατόπιση ή πυκνότητα ηλεκτρικής ροής σε C/ m ²
	$\mathbf{J}(\mathbf{r}, t)$	=	πυκνότητα ηλεκτρικού ρεύματος σε A/ m ²
	$\rho(\mathbf{r}, t)$	=	πυκνότητα ηλεκτρικού φορτίου σε C/m ³

Το θεμελιώδες πρόβλημα που καλείται να λύσει η ηλεκτρομαγνητική θεωρία είναι:

Έχουμε κάποια φορτία ΕΔΩ. Τι γίνεται σε κάποια άλλα φορτία ΕΚΕΙ;

Λέμε ότι ο χώρος γύρω από ένα ηλεκτρικό φορτίο είναι διάχυτος από ηλεκτρομαγνητικό πεδίο («οσμή» φορτίου, βλ. βιβλίο Griffiths). Ένα δεύτερο φορτίο στο χώρο αλληλεπίδρασης (χώρο «οσμής») του παραπάνω πεδίου καταλαβαίνει κάποια δύναμη. Τα πεδία είναι αυτά που μεταφέρουν αυτή τη δύναμη.

Όταν το φορτίο επιταχύνεται, ένα κομμάτι του πεδίου «ξεκολλά» και ταξιδεύει με τη ταχύτητα του φωτός μεταφέροντας ενέργεια, ορμή και στροφορμή (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία). Η ύπαρξη αυτής της ακτινοβολίας μας αναγκάζει να αποδεχθούμε την ύπαρξη των πεδίων σαν φυσικές οντότητες εξίσου πραγματικές όπως η γνωστή μας ύλη.

Επομένως πάμε από τη μελέτη δυνάμεων μεταξύ φορτίων στη θεωρία πεδίων και των αλληλεπιδράσεών τους με φορτία. Τα πεδία δημιουργούνται από φορτία και ανιχνεύονται από φορτία.

Έννοια φορτίου

Φορτίο είναι η φυσική οντότητα που αποδεχόμαστε για να εξηγήσουμε τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα.

- Δυο ειδών φορτία. Θετικά και αρνητικά. Αντιστοίχιση αυθαίρετη. Ομώνυμα απωθούνται ετερόνυμα έλκονται. Στη φύση τα φορτία εμφανίζονται σε δομές όπου σχεδόν αντισταθμίζονται πλήρως τα θετικά και αρνητικά φορτία.
- Διατήρηση. Ολική διατήρηση (global conservation) - τοπική διατήρηση (local conservation). Η ολική επιτρέπει εξαφάνιση φορτίου (π.χ. Ελλάδα) και ταυτόχρονη εμφάνιση αλλού (π.χ. Αμερική). Η τοπική επιβάλλει την ύπαρξη κάποιας συνεχούς διαδρομής από το εδώ στο εκεί (εξίσωση συνεχείας).
- Κβάντωση. Δεν είναι συνεχές ρευστό. Υπάρχει διακριτή ελάχιστη ποσότητα, το θεμελιώδες φορτίο. Ηλεκτρόνιο $-e$, πρωτόνιο $+e$. Σε κανονικές συνθήκες όμως εργαζόμαστε με μεγάλο αριθμό φορτίων και μπορούμε να το θεωρήσουμε συνεχές ρευστό.
- Αναλλοίωτο. Δεν μεταβάλλεται με την ταχύτητα όπως η μάζα.

Μονάδες: Θα δουλέψουμε στο σύστημα μονάδων SI.