

Ηλεκτρομαγνητισμός

Διάλεξη 01

A. Δροσόπουλος

05-10-2022

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.

Περιεχόμενο (wip)

- Ενότητα 1** Διαλέξεις 1-2. Μαθηματικό υπόβαθρο. Φορτίο και βαθμωτά / διανυσματικά πεδία που δημιουργεί. Στοιχεία διανυσματικής ανάλυσης, συστήματα συντεταγμένων, βάρθρωση, απόκλιση, στροβιλισμός, Θεωρήματα Gauss, Stokes, Helmholtz.
- Ενότητα 2** Διαλέξεις 3-4. Ηλεκτροστατικά πεδία. Νόμος Coulomb, Gauss, πεδίο δυναμικού και ηλεκτροστατικό πεδίο. Μέθοδοι υπολογισμού.
- Ενότητα 3** Διάλεξη 5. Ηλεκτρικά πεδία στη ύλη. Χωρητικότητα και διηλεκτρικά. Πόλωση, εξισώσεις Poisson - Laplace στα διηλεκτρικά.
- Ενότητα 4** Διάλεξη 6. Μαγνητικό πεδίο. Νόμος επαγωγής Faraday,
- Ενότητα 5** Διαλέξεις 7-8. Εξισώσεις Maxwell και ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Σκέδαση, διάθλαση (scattering, diffraction). Εφαρμογές.
- Ενότητα 6** Διαλέξεις 9-10. Χρονικά μεταβαλλόμενα πεδία. Ενέργεια και ροή ισχύος - Θεώρημα Poynting.
- Ενότητα 7** Διαλέξεις 11-12. Αρμονική χρονική εξάρτηση. Στιγμιαία τιμή και μιγαδική παράσταση. Εξισώσεις Helmholtz.
- Ενότητα 8** Διάλεξη 13. Μετάδοση, ανάκλαση και διάθλαση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

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

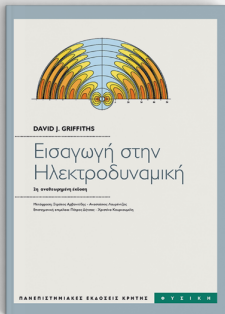
Αν ο φοιτητής δεν περάσει το μάθημα στην πρώτη εξεταστική ο επιμέρους βαθμός του στην πρόοδο κρατιέται μόνο μέχρι και τη 2η εξεταστική του Σεπτέμβρη. Αν δεν περάσει και εκεί, γίνεται reset βαθμών για την επόμενη χρονιά όπου επαναλαμβάνει το μάθημα με ότι τυχόν αναπροσαρμογή χρειαστεί.

GRIFFITHS DAVID J.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

2η αναθεωρημένη έκδοση

Μετάφραση: Αρβαντιδης Στράτος, Λαυρέντζος Αναστάσιος



Προσθήκη στα αγαπημένα



Για να διαβάσετε μερικές σελίδες από το Κεφάλαιο 1 πατήστε εδώ.

Μετάφραση της 3ης αμερικανικής έκδοσης, το βιβλίο αυτό απευθύνεται σε φοιτητές που έχουν τελειώσει το μάθημα της Γενικής Φυσικής και αποσκοπεί στην ολοκληρωμένη «μύηση» τους στην Ηλεκτροδυναμική, με έμφαση στην πλήρη αποσαφήνιση της όμορφης αυτής θεωρίας. Χάρης στο ταλέντο του συγγραφέα να επιχειρηματολογεί με ελκυστικό, και ταυτόχρονα ακριβολόγο και απερίττο τρόπο, καθώς και στην ικανότητά του να διεγείρει τη διερευνητική διάθεση και να αναδεικνύει με σαφήνεια τις κεντρικές ιδέες και τα λεπτά σημεία, το βιβλίο θεωρείται από πολλούς καθηγητές και φοιτητές ως το διεθνώς καλύτερο σύγγραμμα για το μάθημα του Ηλεκτρομαγνητισμού στο προπτυχιακό επίπεδο.

Στο βιβλίο αναπτύσσονται κατά σειρά τα μαθηματικά που απαιτούνται για τη διατύπωση της Ηλεκτροδυναμικής και την επίλυση των προβλημάτων της, τα βασικά στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά φαινόμενα στο κενό και την ύλη, τα χρονομεταβαλλόμενα φαινόμενα του ηλεκτρομαγνητισμού, η παραγωγή και διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, και η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας ως το κατεξοχήν εννοιολογικό πλαίσιο για την ολοκληρωμένη κατανόηση της Ηλεκτροδυναμικής. Η διαγωγή ανάπτυξη της θεωρίας συμπληρώνεται από την παιδαγωγική πραγμάτευση επιλεγμένων παραδειγμάτων και ασκήσεων. Ο αναγνώστης επίσης προτρέπεται και καθοδηγείται σε περαιτέρω διερεύνηση πολλών ειδικότερων θεμάτων με πλήθος αναφορών στην ενδεξιμένη και προσιτή βιβλιογραφία.

Σχήμα: Griffiths

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

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 («οσμής» φορτίου, βλ. βιβλίο). 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. (Σχόλια).
- 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 $+e$. (Σχόλια βιβλίου). 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.