

Ομαδική ταχύτητα και διάδοση ενέργειας H/M κύματος

(Όλες οι παραπομπές αναφέρονται στο βιβλίο μου «*Εισαγωγή στην Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία*».)

Θυμίζω ότι το κύμα είναι μια **διαταραχή** που διαδίδεται με πεπερασμένη ταχύτητα στο χώρο. Η πιο απλή μορφή ηλεκτρομαγνητικού (H/M) κύματος είναι το **μονοχρωματικό επίπεδο κύμα** που περιγράφεται από τις σχέσεις (10.38), σελ. 166, και από το σχήμα της σελ. 157. Ένα τέτοιο αρμονικό κύμα, όμως, δεν μπορεί να μεταφέρει πληροφορία αφού έχει παντού το ίδιο πλάτος, ενώ η «πληροφορία» είναι κάτι μεμονωμένο που η έκτασή του στο χώρο είναι περιορισμένη. Δηλαδή, απαιτείται ένας **κυματικός παλμός** με πλάτος που να είναι μη-μηδενικό σε μια πολύ μικρή περιοχή του χώρου και μηδενικό οπουδήποτε αλλού. Ο παλμός αυτός συνιστά την πληροφορία και είναι αυτός που **κουβαλά την ενέργεια του κύματος** στην κατεύθυνση διάδοσής του.

Ένας παλμός μπορεί να συντεθεί με γραμμικό συνδυασμό (ολοκλήρωμα Fourier) ενός πολύ μεγάλου αριθμού μονοχρωματικών κυμάτων, όπως φαίνεται στις σχέσεις (10.39) και (10.40). Οι σχέσεις αυτές αφορούν H/M κύμα **στο κενό**, όπου όλες οι συνιστώσες (δηλαδή, όλες οι συχνότητες ω) ταξιδεύουν με την ίδια ταχύτητα $c = \omega/k$. Έτσι, και ο σύνθετος παλμός θα κινείται επίσης με ταχύτητα c , όπως φαίνεται στο δεξί άκρο της σχέσης (10.40). Λέμε ότι η **ομαδική ταχύτητα** του παλμού ισούται με τη **φασική ταχύτητα** των συνιστωσών, η οποία, **στο κενό**, είναι κοινή για όλες τις συνιστώσες του H/M κύματος.

Σε ένα υλικό μέσο, όμως, που προκαλεί **διασπορά**, η κάθε συνιστώσα ω κινείται με τη δική της φασική ταχύτητα $u = \omega/k$. Έτσι, θα πρέπει να ξεχωρίσουμε τις φασικές ταχύτητες των συνιστωσών από την ταχύτητα ολόκληρου του παλμού, που συνιστά την **ομαδική ταχύτητα** $u_g = d\omega/dk$ με την οποία διαδίδεται η διαταραχή στο σύνολό της. (Μέσα στον παλμό, οι διάφορες συνιστώσες κινούνται με διαφορετικές φασικές ταχύτητες, με αποτέλεσμα ο παλμός βαθμιαία να αποσυντίθεται.)

Τώρα, όπως γνωρίζουμε (Παρ. 9.8, σελ. 138-9), η **πυκνότητα ενέργειας** του H/M πεδίου μέσα σε ένα γραμμικό μέσο είναι ανάλογη του τετραγώνου του μέτρου του πεδίου, σύμφωνα με τη σχέση (9.43). Σε έναν κυματικό παλμό, το πλάτος ταλάντωσης (άρα και το μέτρο) του πεδίου είναι μη-μηδενικό σε μια πολύ μικρή έκταση, και μηδενικό οπουδήποτε αλλού. Το ίδιο θα ισχύει, λοιπόν, και για την πυκνότητα ενέργειας. Καθώς κινείται ο παλμός, **κουβαλά μαζί του και την ενέργεια του H/M πεδίου**. Έτσι, **η ενέργεια του κύματος μεταφέρεται με την ίδια ταχύτητα που κινείται ο παλμός**, δηλαδή, με την **ομαδική ταχύτητα** u_g .