

Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

Του Αλέκου Χαραλαμπίδου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο ήχος διαδίδεται με διαταραχή των μορίων του αέρα. Μία ηχητική πηγή, κινεί τα άμεσα γειτονικά μόρια, ωθώντας τα και αυτά με την σειρά τους ασκούν κρούση στα γειτονικά τους. Ασφαλώς ένα μόριο πριν κρούσει ένα άλλο, μπορεί να διέλθει ανάμεσα από πολλά. Διαμορφώνεται έτσι μία μέση διαδρομή κρούσης που είναι το μήκος κύματος του ήχου και το οποίο είναι το κυρίαρχο στην διάδοσή του.

Το φως είναι ένα διαμήκες και ταυτόχρονα εγκάρσιο κύμα. Δύο σωμάτια ενός θετικού και ενός αρνητικού φορτίου, είναι δύο αντιμέτωπα ηλεκτρικά δακτυλίδια, που έλκονται ηλεκτρικά και απωθούνται μαγνητικά. Διαδίδονται διά μέσου του κενού, είναι σωμάτιο με παλμική κίνηση και κυριαρχεί η συχνότητα.

Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΗΧΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Θεωρούμε ηχητική πηγή που ηρεμεί στην επιφάνεια της γης και έναν ακίνητο παρατηρητή. Το μήκος κύματος που εκπέμπει είναι λ_0 και υπενθυμίζουμε ότι στον ήχο κυρίαρχο είναι το κύμα. Θεωρούμε ότι η πηγή πλησιάζει ή απομακρύνεται με ταχύτητα u . Τότε η μέση διαδρομή αυξάνεται ή μειώνεται κατά uT και T είναι η περίοδος της μέσης διαδρομής. Η περίοδος είναι χρόνος και ο χρόνος είναι παγκόσμιος και ίδιος για οποιοδήποτε παρατηρητή και οποιαδήποτε πηγή. Αυτό σημαίνει ότι η συχνότητα είναι η ίδια, αλλά το μήκος κύματος θα είναι :

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 \pm \frac{u}{\lambda_0} T\right)$$

Όμως λ_0/T είναι η ταχύτητα του ήχου c και τότε:

$$\lambda = \lambda_0 (1 \pm u/c)$$

και αυτό είναι το φαινόμενο Doppler, για κύματα όμως και όχι για συχνότητα. Η ταχύτητα του κύματος όταν η πηγή κινείται είναι:

$$V = \lambda v = \lambda_0 v (1 \pm u/c) \quad \text{και} \quad V = c \pm u$$

Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα του κύματος της κινούμενης πηγής, αυξομειώνεται ανάλογα με την κίνηση της πηγής.

Ο ίδιος τύπος ισχύει για κίνηση παρατηρητή και ακίνητης πηγής.

Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Το φως έχει ενέργεια $E=mc^2$. Εάν η μονοχρωματική φωτεινή πηγή είναι ακίνητη πάνω στην γη, η ενέργεια είναι $E=m_0 c^2$.

Θεωρούμε ότι η ίδια φωτεινή πηγή, βρίσκεται σε κάποιο πλανήτη του γαλαξία της Ανδρομέδας που πλησιάζει την γη με ταχύτητα u . Ένα φωτόνιο που θα εκπέμψει η φωτεινή πηγή, θα έχει ταχύτητα $c'=c+u$ και c είναι η ταχύτητα του φωτός σε ακίνητο σώμα (ή το κενό). Όταν το φως διαδίδεται στο κενό, θα έχει ορμή:

$$I=m(c+u)=m_0 c \quad \text{και} \quad m_0=m(1+u/c)$$

Και m_0 είναι η μάζα του φωτονίου στο κενό και που αυξήθηκε λόγω του ότι η πηγή είχε ταχύτητα u (κίνηση) και που προστέθηκε στην ταχύτητα του φωτός και θα θυμάστε σε άλλες εργασίες που αναφέραμε ότι η κίνηση είναι συστατικό της μάζας.

Έτσι: $E=m_0 c^2 = h\nu_0 = h\nu(1+u/c)$ και: $\nu_0 = \nu(1+u/c)$.

Συνεπώς η συχνότητα που θα μετρηθεί στην γη, θα μεταβληθεί όπως στο κλασσικό φαινόμενο Doppler.

Έλεος κε Χαραλαμπόπουλε θα πείτε! Θα τινάζουμε το σύμπαν στον αέρα, ποια είναι η ταχύτητα διαστολής των γαλαξιών του σύμπαντος;

Ε! μπορεί να είναι και μεγαλύτερη του φωτός, αλλά πρέπει να υπολογίσουμε και την βαρυτική αλληλεπίδραση.

Να σημειώσουμε ότι το κενό ασκεί πέδηση στα φωτόνια, «φρενάρει» την ταχύτητά τους και το φωτόνιο κερδίζει ενέργεια από την αόρατη και σκοτεινή ενέργεια του σύμπαντος και διανύει μεγάλες αποστάσεις. Παράλληλα μπορεί να απορροφηθεί και να επανεκπεμφθεί από τα αραιά μόρια του ενδογαλαξιακού αερίου.

ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ POUND-REBKA

Αν ένα φωτόνιο «πέσει» από ύψος L πάνω στην γη και έχει αρχική συχνότητα ν_0 , κερδίζει ενέργεια και θα είναι:

$$mgL=(h\nu/c^2)gL \quad \text{και} \quad g \text{ είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και} \quad :$$

$$h\nu=h\nu_0+(h\nu/c^2)gL \quad \text{και} \quad \nu=\nu_0(1+gL/c^2)$$

Αν $g=GM/r^2$ ή $g=GM/r^3$ κάνουμε την κατάλληλη αντικατάσταση, μόνο που τώρα μεταβάλλεται η ακτίνα και συνεπώς η επιτάχυνση. Ασφαλώς:

$$c' = v\lambda = v_0 \lambda (1 + gL/c^2) = 1 + gL/c > c_0$$

Το κύμα όμως δεν υπάρχει εμφανής λόγος να μεταβάλλεται και θεωρούμε ότι μεταβάλλεται η συχνότητα.

Έτσι στο φωτόνιο επιδρά η κίνηση της πηγής και η βαρύτητα των ουρανίων σωμάτων.