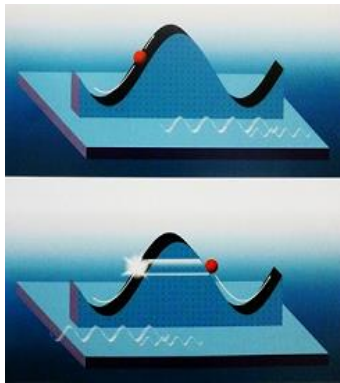


Φαινόμενο Σήραγγας (Quantum Tunneling)

Atsas George*

Herakleion, Crete, Greece

Η φύση διέπεται από τους νόμους της κβαντομηχανικής, η οποία σχετίζεται με τη μελέτη και την περιγραφή της ύλης σε μοριακό, ατομικό και υποατομικό επίπεδο. Ένα από τα πιο παράδοξα, ίσως, συμπεράσματα της κβαντικής θεωρίας είναι το **φαινόμενο σήραγγας**, το οποίο μπορεί να οριστεί ως το φαινόμενο διέλευσης ενός σωματιδίου από ένα ενεργειακό φράγμα, που αποτελεί κλασικά απαγορευμένη περιοχή.



Εικόνα 1: Παρουσίαση του κβαντομηχανικού φαινομένου σήραγγας (κάτω) και αντιστοιχία με την κλασική Φυσική (πάνω). (Η εικόνα είναι από το βιβλίο [Quantικά Παράδοξα\[1\]](#))

Το τετραγωνικό φράγμα δυναμικού, αποτελεί ένα μονοδιάστατο πρόβλημα κβαντομηχανικής φυσικής, στο οποίο παρουσιάζεται μαθηματικά το φαινόμενο σήραγγας. Η λύση του προβλήματος χρησιμοποιεί την χρονικά

ανεξάρτητη εξίσωση του Schrödinger

$$\psi'' + \frac{2m}{\hbar^2}(E - V(x))\psi = 0$$

και υπολογίζει τους συντελεστές διέλευσης (T) και ανάκλασης (R) από το φράγμα σε δυο περιπτώσεις. Αρχικά όταν η ενέργεια του σωματιδίου είναι αρκετή για να περάσει το φράγμα και στη συνέχεια, όταν η ενέργεια του ύστερεί σε σχέση με το φράγμα.

Μετά από την επίλυση του προβλήματος οι συντελεστές θα είναι:

Για $E > V_0$

$$R = \frac{U_0^2 \sin^2 k'L}{U_0^2 \sin^2 k'L + 4k^2 k'^2} \quad T = \frac{4k^2 k'^2}{U_0^2 \sin^2 k'L + 4k^2 k'^2}$$

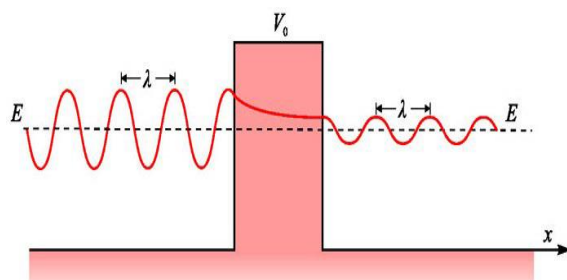
και για $E < V_0$

$$R = \frac{U_0^2 \sinh^2 \gamma L}{U_0^2 \sinh^2 \gamma L + 4k^2 \gamma^2} \quad T = \frac{4k^2 \gamma^2}{U_0^2 \sinh^2 \gamma L + 4k^2 \gamma^2}$$

Επιπλέον για φράγμα με μεγάλο πλάτος και ύψος, ο συντελεστής διέλευσης είναι

$$T = 16 \frac{E}{V_0} \left(1 - \frac{E}{V_0}\right) \exp(-\gamma 2L)$$

από όπου φαίνεται η εκθετική ευαισθησία του T, στις μεταβολές της ενέργειας του σωματιδίου και του πλάτους του φράγματος[2].

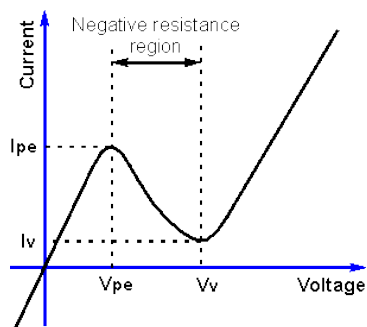


Εικόνα 2: Η γενική μορφή της κυματοσυνάρτησης ενός σωματιδίου καθώς διασχίζει μια κλασικά απαγορευμένη περιοχή (Η εικόνα είναι από τις σημειώσεις του Στέλιου Τζωρτζάκη[3]).

Το φαινόμενο σήραγγας εμφανίζεται σε πολλά φυσικά φαινόμενα και εφαρμογές, μια εκ των οποίων είναι η δίοδος σήραγγας.

Σ' αυτού του είδους δίοδο ηλεκτρόνια, χρησιμοποιώντας το φαινόμενο σήραγγας, καταφέρνουν να διεισδύσουν μέσα από ένα στρώμα υλικού, με αποτέλεσμα το ρεύμα διαμέσου της δίοδου, να αυξάνεται να ελαττώνεται και να αυξάνεται εκ νέου καθώς η τάση μεγαλώνει[4]. Η δίοδος αυτή διαφέρει τόσο στη δομή της (έχει μεγάλο αριθμό προσμίξεων

και μικρό εύρος σύνδεσης p-n), όσο και στη συμπεριφορά της στην ορθή και ανάστροφη πόλωση[5].



Εικόνα 3: Συμπεριφορά δίοδου σήραγγας κατά την ορθή πόλωση. [6]

Όπως όλες οι δίοδοι εμφανίζει κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το μεγαλύτερο της, ίσως, πλεονέκτημα είναι η μεγάλη ταχύτητα λειτουργίας, λόγω του ότι το φαινόμενο σήραγγας που την χαρακτηρίζει, συμβαίνει με την ταχύτητα του φωτός[6]. Οι δίοδοι αυτοί χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, όπως οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι και τα συστήματα NMR.

References

- [1]Al-Khalili J.(2005), *Quantικά Παράδοξα (176)*, Αθήνα: Εκδοτικός Οίκος ΤΡΑΥΛΟΣ
- [2]Τραχανάς Στέφανος (2011), *Κβαντομηχανική I (260-266)*, Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- [3]Τζωρτζάκης Σ. (2013), *ΕΤΥ-202-Υλη και Φώς-Γενικές Συνέπειες*, (20), Ηράκλειο
- [4]Scientific American (ελληνική έκδοση), (Φεβρουάριος 2004), *Επιστημονικά Νέα*, Αθήνα: Εκδόσεις Κάτοπτρο
- [5]Dimou C.(2008), *Electronic Circuits Magazine, Δίοδοι Σήραγγας*, διαθέσιμο στον ηλεκτρονικό ιστότοπο (<http://www.electroniccircuits.gr/diodoi.html#bookmark5>)
- [6] Poole I. (2014), *Electronics and Radio Components, Tunnel Diode Theory and Operation*, διαθέσιμο στον ηλεκτρονικό ιστότοπο (<http://www.radio-electronics.com/info/data/semicond/tunneldiode/theory-operation.php>)
- [7]Poole I.(2014), *Electronics and Radio Components, Tunnel Diode Tutorial*, διαθέσιμο στον ηλεκτρονικό ιστότοπο (<http://www.radioelectronics.com/info/data/semicond/tunneldiode/tunneldiode.php>)