



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Κβαντική Φυσική Ι

Ενότητα 3: Κυματική φύση σωματιδίων

Ανδρέας Τερζής
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Φυσικής

Σκοπός ενότητας

- Σκοπός της ενότητας είναι να κατανοηθεί η κυματική φύση των σωματιδίων καθώς και πώς τα κυματικά χαρακτηριστικά (συχνότητα, μήκος κύματος) συνδέονται με τα σωματιδιακά (ενέργεια, ορμή).

Περιεχόμενα ενότητας

- Θεωρία De-Broglie
- De-Broglie και άτομο του υδρογόνου
- Πείραμα Davisson-Germer

Θεωρία De-Broglie

- Ο De-Broglie ήταν ο πρώτος που εξέφρασε την άποψη ότι όπως το φωτόνιο έχει διττή φύση(σωματιδιακή και κυματική), το ίδιο θα ισχύει και για το ηλεκτρόνιο. Με λίγα λόγια απέδωσε στο ηλεκτρόνιο κυματική φύση.
- Το μήκος κύματος που σχετίζεται με το ηλεκτρόνιο συνδέεται με την ορμή του μέσω της σχέσης

$$\lambda = \frac{h}{p}.$$



Κριτήριο χρήσης κυματικής φύσης

- Θα αναπτύξουμε το κριτήριο χρήσης της κυματικής φύσης των σωματιδίων μέσα από ένα απλό παράδειγμα.
- Έστω σφαίρα μάζας $m = 100g$ και ταχύτητας $v = 900 m/s$.
 1. Να βρεθεί το μήκος κύματος που σχετίζεται με την σφαίρα.
 2. Να υπολογιστεί η ορμή και το μήκος κύματος ενός πρωτονίου γνωρίζοντας ότι η κινητική ενέργειά του είναι $k = 70MeV$.

Λύση:

1. Το μήκος κύματος θα είναι

$$\lambda = \frac{h}{mv} = 6.626 * \frac{10^{-34}}{0.1 * 900} \approx 7 * 10^{-36} m.$$



Συνέχεια άσκησης

2. Από την σχέση $k = E - m_p c^2$ (όπου k η κινητική ενέργεια, E η ολική), μπορούμε να υπολογίσουμε την ολική ενέργεια E (εφ' όσον μας δίνεται η κινητική).

Στην συνέχεια, κάνοντας χρήση της σχετικιστικής σχέσης ενέργειας-ορμής $E = \sqrt{p^2 c^2 + m_p^2 c^4}$, επιλύουμε ως προς p .

Από την σχέση του De-Broglie βρίσκουμε ότι $\lambda \approx 3 * 10^{-15} m$.



Συμπέρασμα

- Στην περίπτωση της σφαίρας η κυματική φύση δεν παίζει ρόλο, επειδή οι διαστάσεις της σφαίρας έχουν μεγάλη διαφορά στην τάξη μεγέθους με το μήκος κύματος.
- Άρα, όταν οι διαστάσεις ενός οποιουδήποτε σώματος δεν είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος, η κυματική φύση μπορεί να αγνοηθεί.
- Στην περίπτωση ενός στοιχειώδους σωματιδίου (όπως το πρωτόνιο) οι διαστάσεις είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος και επομένως η κυματική φύση δεν μπορεί να αγνοηθεί.

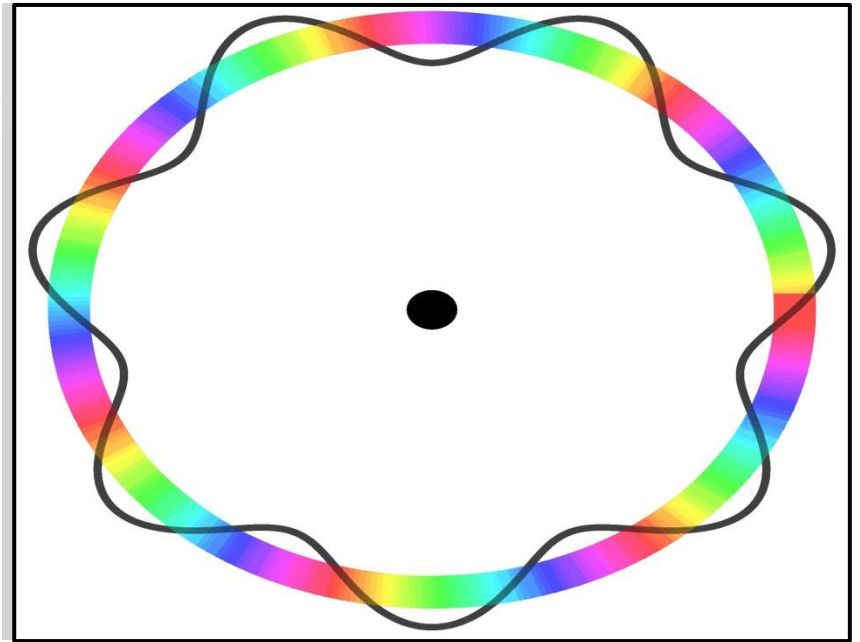
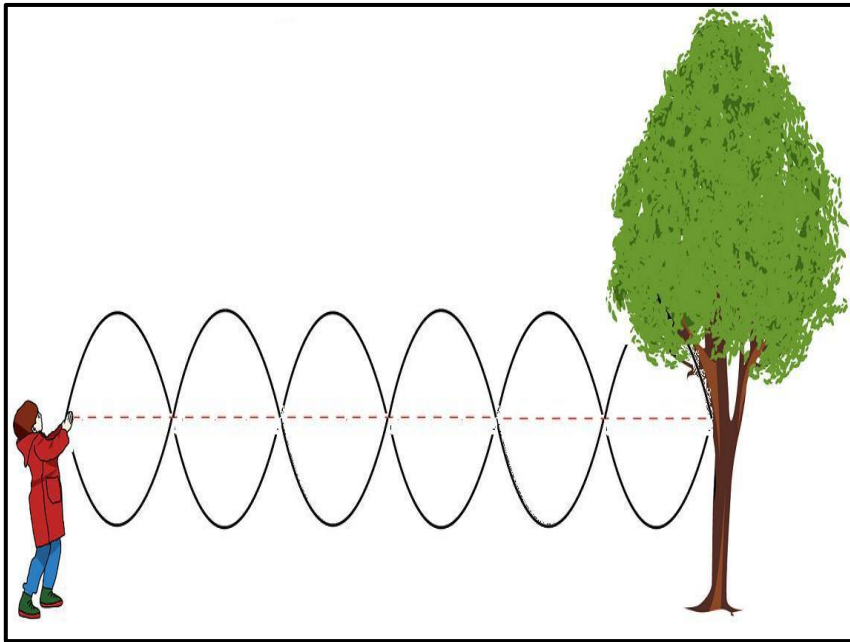


De-Broglie και άτομο υδρογόνου

- Η συνθήκη του Bohr για το άτομο του υδρογόνου, ότι η στροφορμή είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του \hbar , χρησιμοποιήθηκε από τον De-Broglie σαν συνθήκη ύπαρξης στάσιμων κυμάτων.
- Όταν ένα ηλεκτρόνιο είναι δέσμιο σε ένα άτομο, το μήκος κύματός του λαμβάνει συγκεκριμένες τιμές(κατ' αναλογία με την διάδοση **στάσιμου** κύματος σε χορδή).



Στάσιμα κύματα



Σύγκριση

Εικόνα 1(αριστερά):

- Τα κύματα στην χορδή έχουν ένα μήκος κύματος που συνδέεται με το μήκος της χορδής και μπορούμε να έχουμε ενισχυτική συμβολή.

Εικόνα 2(δεξιά):

- Αν την χορδή της εικόνας 1 την μετασχηματίσουμε σε κύκλο, τότε θα έχουμε μια ιδέα για το πώς τα ηλεκτρόνια σε κυκλικές τροχιές μπορούν να συμβάλλουν ενισχυτικά.



Εξαγωγή αξιώματος Bohr από την υπόθεση De Broglie

Σύμφωνα με την θεωρία De-Broglie για το άτομο του υδρογόνου θα έχουμε :

$$2\pi r = n\lambda$$

(αφού έχουμε ενισχυτική συμβολή και όχι καταστροφική).

Αφού $\lambda = \frac{h}{m_e v}$, θα ισχύει ότι $\frac{nh}{m_e v} = 2\pi r_n$.

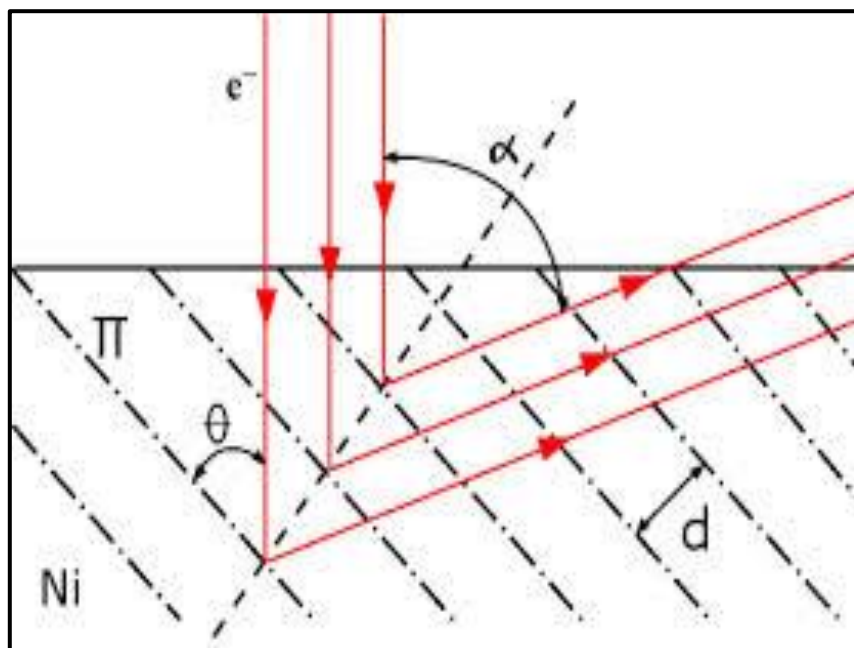
Γνωρίζοντας ότι ο τύπος της στροφορμής για κυκλικές τροχιές είναι $L = mvr$, παίρνουμε την κβάντωση της στροφορμής σαν συνθήκη για τις επιτρεπτές τροχιές:

$$L = m_e v r_n = \frac{nh}{2\pi} = n\hbar.$$



Πείραμα Davisson-Germer

Εικόνα 3: Πείραμα Davisson-Germer



- Το 1927 οι Davisson και Germer ανακάλυψαν ότι η ένταση μιας δέσμης ηλεκτρονίου που σκεδαζόταν από κρύσταλλο, ήταν εξαρτημένη από την γωνία σκεδάσεως. **Η δέσμη δηλαδή των ηλεκτρονίων συμπεριφερόταν όπως και μια δέσμη ακτίνων Χ.** Άρα η ηλεκτρονική δέσμη έχει και κυματική φύση.
- Ο κρύσταλλος εξ' αιτίας της περιοδικότητας των ατόμων δρα σαν φράγμα περίθλασης. Η ακτινοβολία ανακλάται στα επίπεδα του κρυστάλλου και παρατηρούνται μέγιστα της έντασης σε ορισμένες γωνίες.



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, **Ανδρέας Τερζής**. Ανδρέας Τερζής
«**Κβαντική Φυσική Ι. Κυματική φύση σωματιδίων**». Έκδοση: **1.0**. Πάτρα **2015**.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/PHY1957/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού, Μη Εμπορική Χρήση, Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνα 1:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standing_wave_in_a_rope.png

Εικόνα 2:

http://no.wikipedia.org/wiki/Louis_de_Broglie

Εικόνα 3:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electron_diffraction.svg

