

Κβαντικές Τελείες Πλασμονικοί συντονισμοί και βιοϊατρικές εφαρμογές

Νικόλαος - Ραφαήλ Βριθιάς, 734

Επιβλέπων καθηγητής: Ιωάννης Ρεμεδιάκης

Περί κβαντικών τελειών

Τις κβαντικές τελείες μπορούμε να τις φανταστούμε σαν τρισδιάστατα κουτιά (με μήκη πλευρών L_x, L_y, L_z) υπερσυρρικνωμένων διαστάσεων, δηλαδή $L_x, L_y, L_z \leq \lambda_F$. Η ενέργεια είναι κβαντισμένη σε κάθε κατεύθυνση (και τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να κινηθούν ελεύθερα):

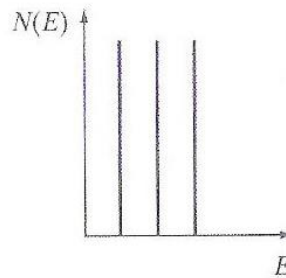
$$E = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m_e} \left(\left(\frac{n_x}{L_x} \right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y} \right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z} \right)^2 \right)$$

Αφού τα ηλεκτρόνια στα μέταλλα έχουν μήκος κύματος Fermi από μερικά έως και δεκάδες νανόμετρα, οι κβαντικές τελείες έχουν μέγεθος από μερικά έως και εκατοντάδες νανόμετρα. Αν υποθέσουμε ότι το μήκος ενός ατόμου είναι περίπου $1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm}$, συμπεραίνουμε ότι μια κβαντική τελεία είναι πολύ μεγαλύτερη από τα άτομα, πολύ όμως μικρότερη από ένα μικρό τεμάχιο τρισδιάστατου υλικού.

Εν αντιθέσει με τα υλικά 1,2,3 διαστάσεων, η πυκνότητα καταστάσεων δεν εξαρτάται από την ενέργεια υψωμένη σε κάποια δύναμη (1D: $\rho(E) \sim E^{-1/2}$, 2D: $\rho(E) \sim E^0$, 3D: $\rho(E) \sim E^{1/2}$), αλλά έχει τη μορφή συνάρτησης δ:

$$N(E) = 2 \sum_i \delta(E - E_n)$$

ο συντελεστής 2 εισάγεται επειδή σε κάθε κατάσταση <<περιέχονται>> 2 ηλεκτρόνια ($m_s = 1/2, -1/2$). επειδή όμως οι συναρτήσεις διευρύνονται λόγω συγκρούσεων των περιεχόμενων ηλεκτρονίων, έρχονται στη μορφή των στενών παλμών.



Εικόνα 1: Θεωρητικό διάγραμμα πυκνότητας καταστάσεων κβαντικής τελείας

Συνήθως κβαντικές τελείες ονομάζουμε τα νανομετρικών διαστάσεων σφαιρικά σωματίδια που είναι φτιαγμένα από ημιαγώγιμα υλικά (π.χ. GaAs) ενώ αυτά που είναι φτιαγμένα από κάποιο μέταλλο θεωρούνται νανοσωματίδια.

Βιοϊατρικές εφαρμογές κβαντικών τελειών

Οι ημιαγώγιμες και μεταλλικές κβαντικές τελείες χρησιμοποιούνται εκτός από τα κυκλώματα φραγής Coulomb και στην Βιολογία-Ιατρική ως βιολογικοί ανιχνευτές. Απορροφώντας φως και εκπέμποντας συγκεκριμένου μήκους κύματος φως μπορούμε να

διαπιστώσουμε αν η συζευγμένη με την κβαντική τελεία ουσία είναι για παράδειγμα καρκινικό κύτταρο.



Εικόνα 2: Ανίχνευση όγκου σε ποντίκι μέσω κβαντικών τελειών

Πλασμόνια και πλασμονικός συντονισμός

Τα νανοσωματίδια (σφαιρικά τις περισσότερες φορές) συνήθως βρίσκονται ομοιογενώς κατανεμημένα σε κάποιο διηλεκτρικό μέσο διάδοσης (κολλοειδής διασπορά) στο οποίο η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν αποσβένυται σχεδόν καθόλου. Αν θεωρήσουμε ότι τα σωματίδια βρίσκονται σε ομογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, θα έχουμε την ταλάντωση των ελευθέρων ηλεκτρονίων γύρω από τη θέση ισορροπίας τους, εξαιτίας της δύναμης που επιβάλλεται από το πεδίο. Το κβάντο αυτής της ταλάντωσης, είναι το πλασμόνιο και η ενέργειά του ισούται με: $E = \hbar\omega_p$, $\omega_p = 4\pi n e^2 / (m \epsilon_0)$

Ο πλασμονικός συντονισμός είναι η ταλάντωση με ίδια φάση των ελευθέρων ηλεκτρονίων όλων των νανοσωματιδίων. Τότε, η αντίδραση του υλικού στο φως είναι εύκολα ανιχνεύσιμη (γι' αυτό και η βιοϊατρική τους εφαρμογή). Για να ταλαντώνονται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια με την ίδια φάση σε κάθε σωματίδιο, θα πρέπει η διάμετρος των σωματιδίων να φτάνει μια μέγιστη τιμή, η οποία είναι περίπου τα 40 nm.

Όταν τα σωματίδια δεν είναι ίδιας διαμέτρου, η σκεδαζόμενη ακτινοβολία μετατοπίζεται προς μεγαλύτερα μήκη κύματος (ερύθρωση).

Βιβλιογραφία

Αρχές Νανοηλεκτρονικής, George W. Hanson, Τζιόλας έκδοση 2009
Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Καταστάσεως, C. Kittel, Πνευματικός
Εγχειρίδιο Εργαστηρίου Στερεών Υλικών, Ε. Σπανάκης-Ε. Στρατάκης

Πηγές εικόνων

Εικόνα 1: Αρχές Νανοηλεκτρονικής, George W. Hanson, Τζιόλας έκδοση 2009, σελ. 408, Σχήμα 9.13

Εικόνα 2: http://ethw.org/File:Quantum_dots_2.jpg