

## Билет 25

### 1. Частица в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Квантование энергии. Плотность вероятности для различных энергетических уровней.

Проведем качественный анализ решений уравнений Шредингера применительно к частице в одномерной прямоугольной потенциальной с бесконечно высокими стенками. Такая яма описывается потенциальной энергией вида (частица движется вдоль оси  $x$ ):

$$U(x) = \begin{cases} \infty, & x < 0 \\ 0, & 0 \leq x \leq l \\ \infty, & x > l \end{cases} \quad \text{где } l \text{ — ширина ямы, а энергия отсчитывается от ее дна}$$

Уравнение Шредингера для стационарных состояний запишется в виде:  $(\partial^2 \psi / \partial x^2) + (2m/\hbar^2) (E - U) \psi = 0$ . По

Уравнение Шредингера для стационарных состояний запишется в виде:  $(\partial^2 \psi / \partial x^2) + (2m/\hbar^2) (E - U) \psi = 0$ . По условию задачи частица не проникает за пределы ямы, поэтому вероятность ее обнаружения за пределами равна 0. На границах ямы вероятность тоже обращается в 0. Следовательно, граничные условия имеют вид  $\psi(0) = \psi(1) = 0$ . В пределах ямы ( $0 \leq x \leq 1$ ) уравнение Ш сведется к  $(\partial^2 \psi / \partial x^2) + (2m/\hbar^2) E \psi = 0$  или  $(\partial^2 \psi / \partial x^2) + k^2 \psi = 0$ , где  $k^2 = 2mE/\hbar^2$ .

Общее решение диф. уравнения  $\psi(x) = A \sin kx + B \cos kx$ . Т.к.  $\psi(0) = 0$ , то  $B = 0$ . Тогда  $\psi(x) = A \sin kx$ . Условие  $\psi(1) = A \sin k1 = 0$  выполняется только при  $k1 = n\pi$ , где  $n$  — целые числа, т.е. необходимо чтобы  $k = n\pi/1$ . Из всего этого следует что  $E_n = (n^2 \pi^2 \hbar^2) / (2m1^2)$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )

( $n=1, 2, 3\dots$ )

Т.е. стационарное уравнение Ш, описывающее движение частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками удовлетворяется только при собственных значениях  $E_n$ , зависящих от целого числа  $n$ .

2. Квантовая яма (англ. A quantum well) – искусственная структура, в которой носители заряда ограничены в одном измерении. Другими словами, электроны демонстрируют волновые свойства в одном измерении, но ведут себя как свободные электроны в двух других. Характерной особенностью движения квантовой частицы в квантовой яме является то, что набор возможных (разрешенных) значений её энергии дискретен. Простейшая квантовая структура, в которой движение электрона ограничено в одном направлении, - это тонкая пленка или просто достаточно тонкий слой полупроводника.

Квантовые нити представляют собой полупроводниковые структуры, в которых движение носителей в двух направлениях резко ограничено, так что его энергия носит квантованный характер.

Квантовая точка — фрагмент проводника или полупроводника (например InGaAs, CdSe или GaInP/InP), носители заряда (электроны или дырки) которого ограничены в пространстве по всем трём измерениям. Размер квантовой

ограничены в пространстве по всем трём измерениям. Размер квантовой точки должен быть настолько мал, чтобы квантовые эффекты были существенными[1]. Это достигается, если кинетическая энергия электрона заметно больше всех других энергетических масштабов: в первую очередь больше температуры, выраженной в энергетических единицах.

Углеродные нанотрубки — это протяжённые цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров[1] (при этом существуют технологии, позволяющие сплести их в нити неограниченной длины [2]), состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку графеновых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена

Приборы для измерения частиц в нанотехнологиях:

Счетчики ядер конденсации-Основной измерительный прибор для контроля частиц в чистых помещениях — лазерный счетчик частиц в воздухе — имеет

частиц в чистых помещениях – лазерный счетчик частиц в воздухе – имеет предельную чувствительность 0,1 мкм, т.е. 100 нм.)

Дифференциальный анализатор подвижности (differential mobility analyzer, DMA) - устройство, позволяющее получить распределение частиц по размеру, при этом его действие основано на принципе разделения частиц в электрическом поле по их под-вижности.

Простым (но надежным и информативным) выбором может явиться коллектор наночастиц – устройство, в котором заряженные наночастицы осаждаются на подложку, в качестве которой могут выступать различные элементы – силиконовые или стеклянные пластины, сетки-подложки для электронной микроскопии и пр.

Сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ, англ. SPM — Scanning Probe Microscope) — класс микроскопов для получения изображения поверхности и её локальных характеристик. Процесс построения изображения основан на сканировании поверхности зондом. В общем случае позволяет получить трёхмерное изображение поверхности (топографию) с высоким

Сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ, англ. SPM — Scanning Probe Microscope) — класс микроскопов для получения изображения поверхности и её локальных характеристик. Процесс построения изображения основан на сканировании поверхности зондом. В общем случае позволяет получить трёхмерное изображение поверхности (топографию) с высоким разрешением.

Задание 25

Известно, что кинетическая энергия нейтрона (протона или нейтрона) в ядре равна 10 МэВ, а значит, исходя из соотношения неопределенности импульса и энергии ядра

Дано:  
 $E_{кин} = 10 \text{ МэВ}$   
 $L = ?$

Решение:  
 $E_{кин} = \frac{p^2}{2m}$   
 $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$   
 $\Delta x = \frac{L}{2}$

$$L = \frac{\hbar}{p} = \frac{\hbar}{\sqrt{2E_{кин}m}}$$