**СЕМИНАР**

для педагогических работников города Москвы, работающих в профильных классах   
инженерной направленности

**«Электронная микроскопия»**

Разрешающая способность светового микроскопа определяется дифракционным пределом Аббе (1873 г.) (подробнее, см. ссылку <http://lab.bmstu.ru/sm/part2/part2/index.htm> ):

где *α*— апертурный угол (у хороших объективов световых микроскопов α близок к 90°);

*n –* показатель преломления среды, для типичной иммерсионной жидкости для светового микроскопа, кедрового масла n=1,515; *n*•*sinα -* числовая апертура, маркируется на объективе в виде двух цифр, например, 0,65; 1,25;

λ – длина волны белого света, для зелёного цвета λ=0,55 мкм.

Тогда разрешающая способность светового микроскопа

Таким образом, для увеличения разрешающей способности оптического прибора необходимо уменьшать длину волны излучения, падающего на исследуемый объект. Например, в качестве излучения использовать пучок электронов.

Определим длину волны электронов в электронном микроскопе.

Формула Луи де Бройля (1924 г.) связывает импульс электрона (а также любого материального объекта) с длиной волны и представляет волновой характер его движения:

где h – постоянная Планка, h=6,63•10-34 Дж•с; m - масса электрона, m=9,11•10-31 кг; V – его скорость.

В электронном микроскопе кинетическая энергия электрона связана с ускоряющим напряжением электронной пушки *U* (В):

где e – заряд электрона, e=1,6•10-19 Кл.

Тогда

При характерном значении ускоряющего напряжения U=100 кВ длина волны электрона составит λ=0,00387 нм, что на два порядка меньше типичных межатомных расстояний в материалах (например, для железа *Feα* с ОЦК решеткой период равен 0,28 нм), и поэтому электронный микроскоп позволяет изучать атомно-кристаллическое строение материалов.

При бóльших ускоряющих напряжениях (современные просвечивающие электронные микроскопы работают с ускоряющим напряжением U=1 МВ) скорость электрона приближается к скорости света и необходимо учитывать релятивистскую поправку.

Существуют просвечивающие (ПЭМ) и растровые (РЭМ) электронные микроскопы.

ПЭМ разработал немецкий инженер Г. Руске в 1931 г., за что получил [Нобелевскую премию по физике](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D0%BE_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B5) в [1986 г.](https://ru.wikipedia.org/wiki/1986_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) В ПЭМ проводится **регистрация электронов, прошедших сквозь тонкий образец** толщиной около 0,1мкм.

РЭМ разработал русский инженер Владимир Зворыкин (работал в США) в 1942 г. В РЭМ тонкий электронный пучок сканирует по поверхности образца и проводится **регистрация возникающих на поверхности излучений**.

Далее рассмотрим физический принцип работы и конструкцию растрового электронного микроскопа: <http://lab.bmstu.ru/rem/index.htm> .