

Электронная микроскопия

Разрешение:

$$1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

электроны:
 $\lambda = 0,123 \text{ нм}$
100 В
0,0025 нм 0,0016 нм
200 кВ 400 кВ

Источники электронов

(типы катодов):

V-образный вольфрамовый

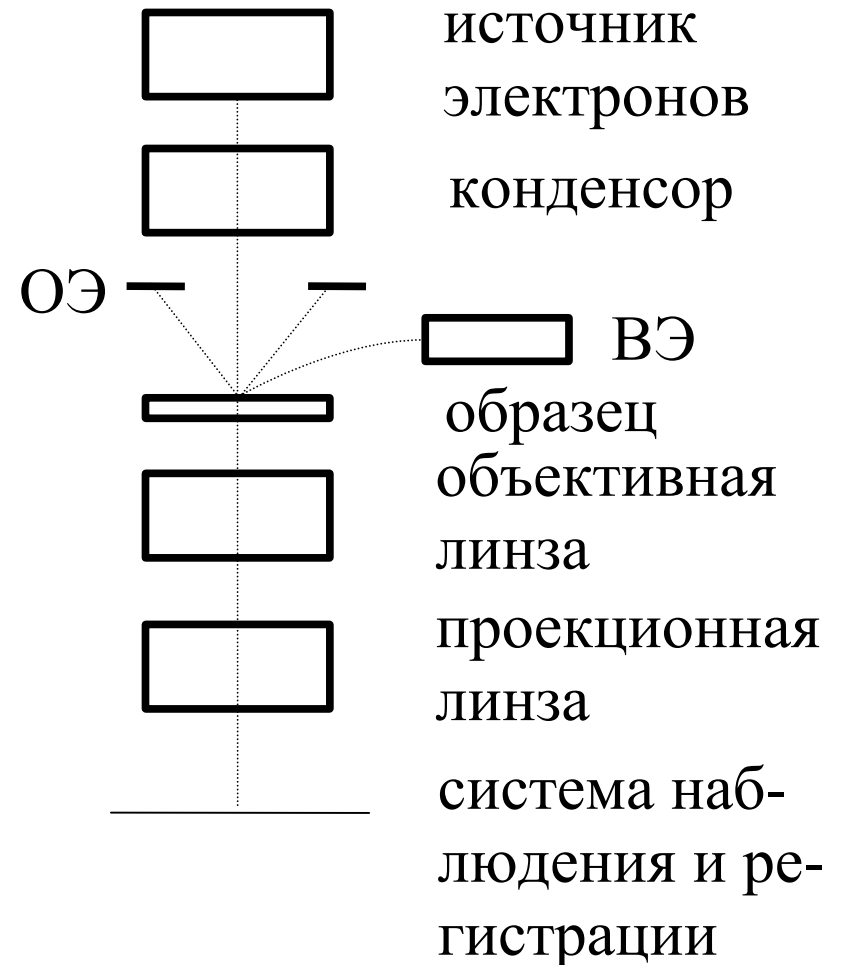
LaB₆

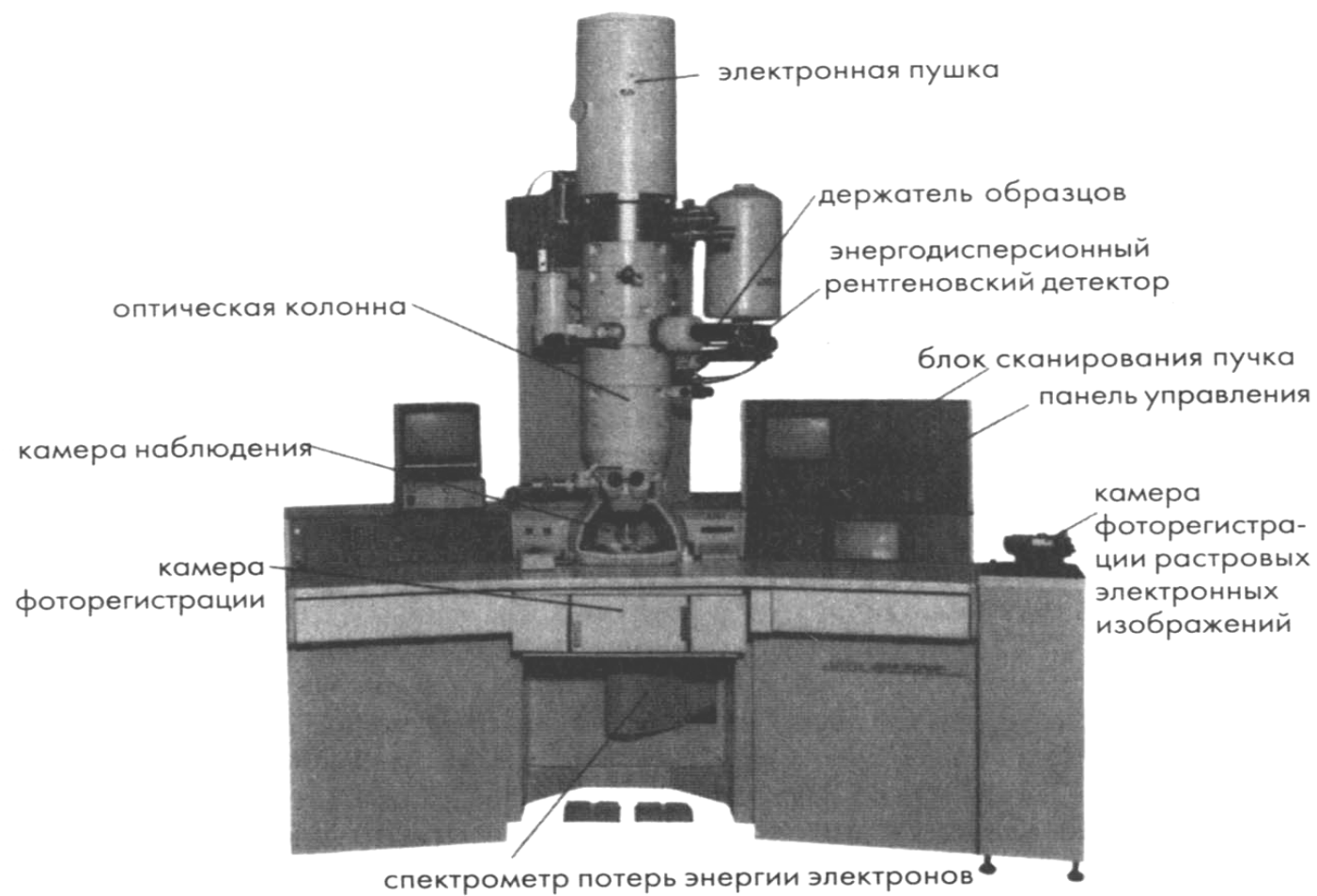
катоды с полевой эмиссией

Формирование изображения

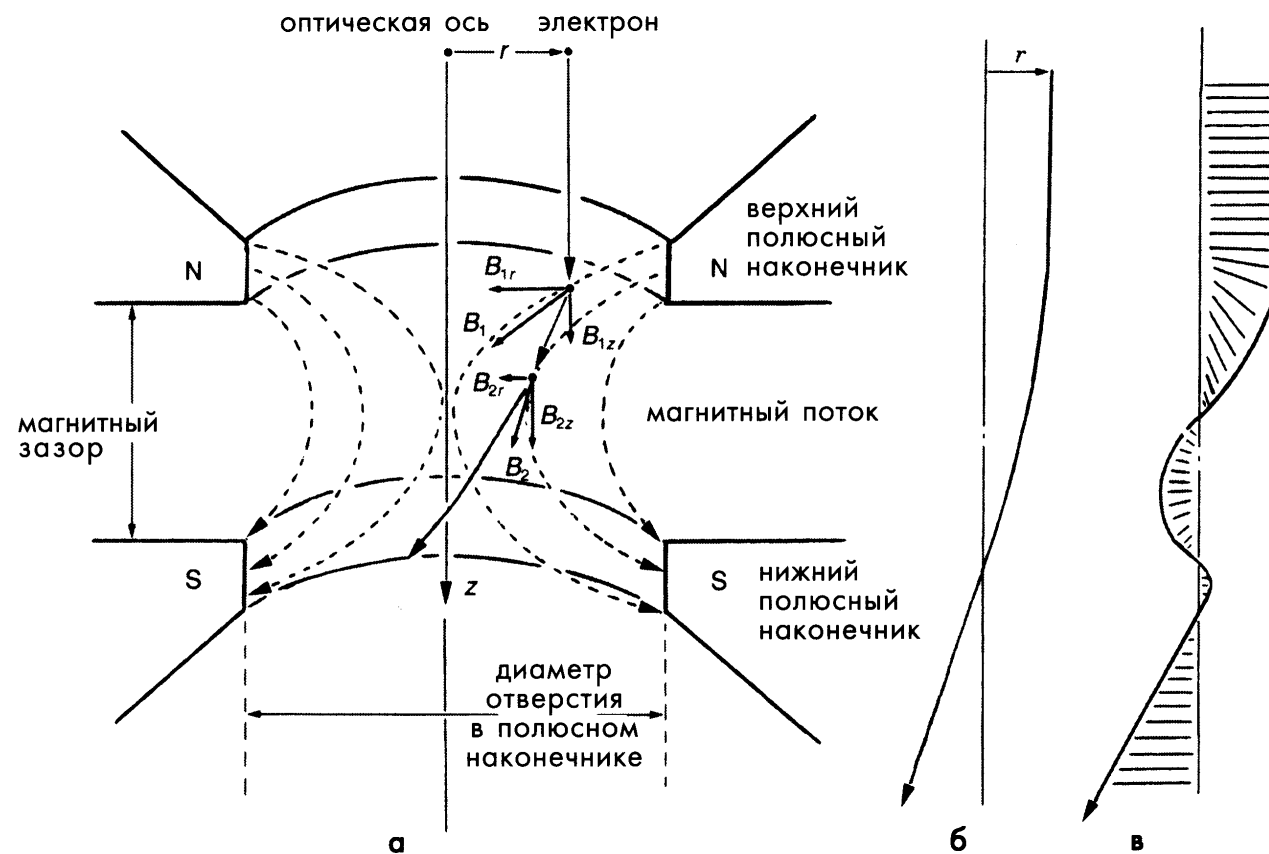
проецирование

сканирование по растру





Фокусировка электронного пучка, магнитная линза

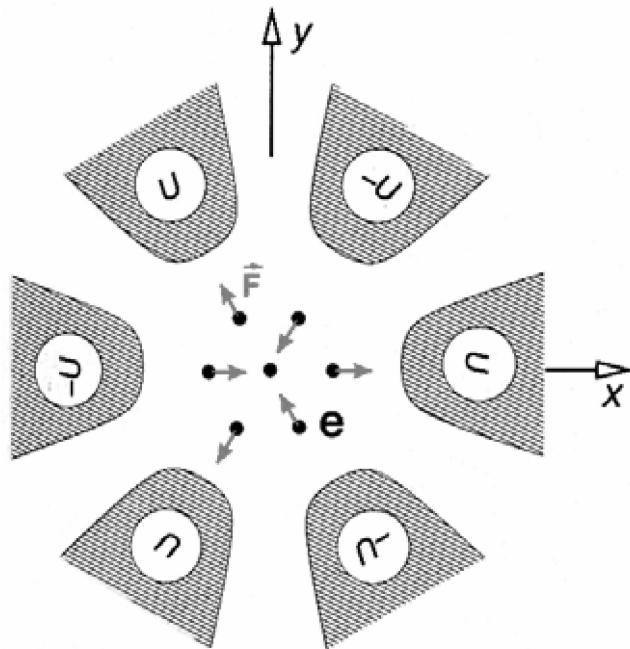


Ограничения разрешения электронномикроскопического изображения

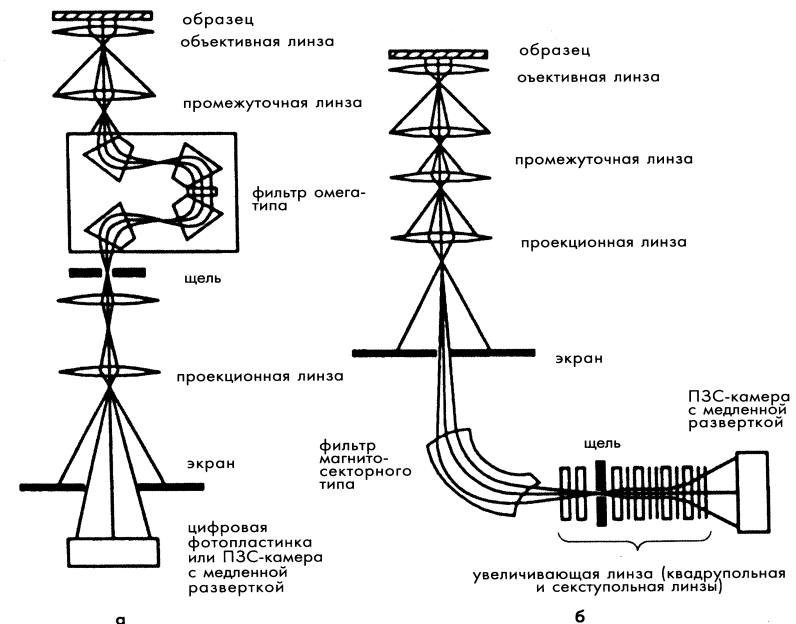
сферическая aberrация
хроматическая aberrация

Корректоры aberrаций

сферической



хроматической



Типы контраста в ПЭМ:

- поглощение пучка образцом

- рассеяние

ПЭМВР амплитудный контраст

- интерференция лучей

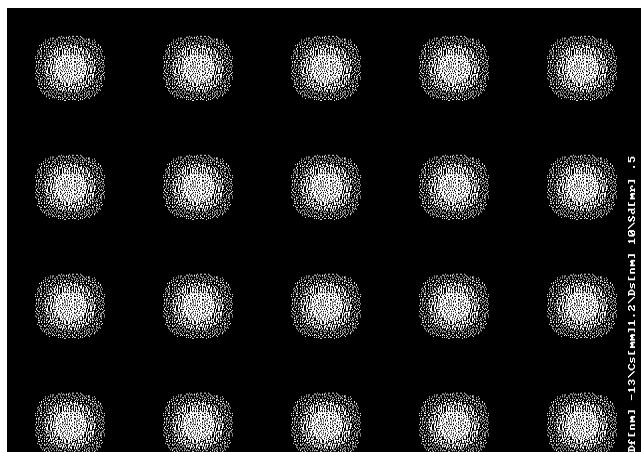
полосы Френеля

полосы равной толщины

муар

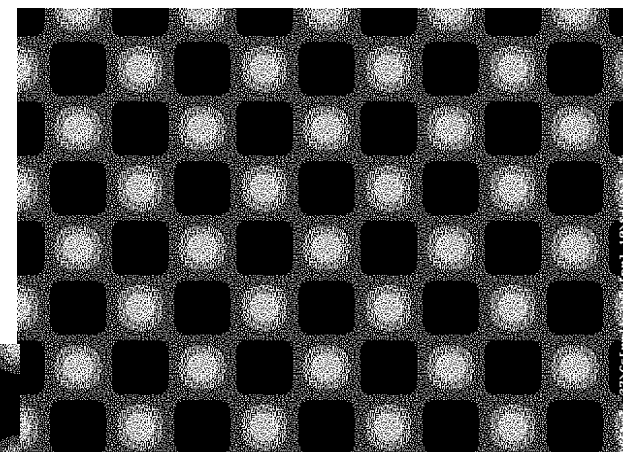
Положение фокуса и изображение высокого разрешения

BaZrO_3 , (100), объективная диафрагма 10 нм^{-1} (19 отражений)

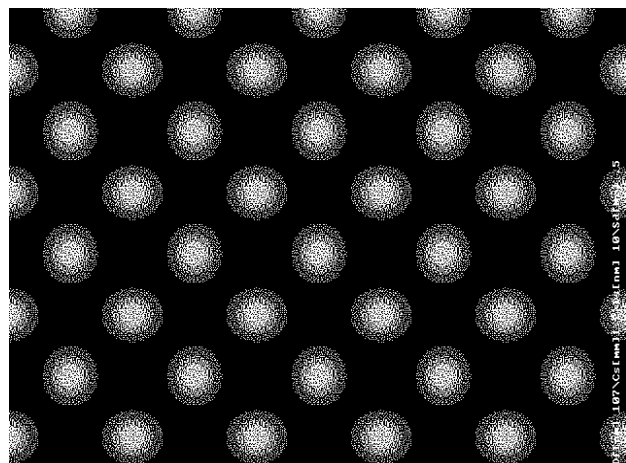


-40 нм

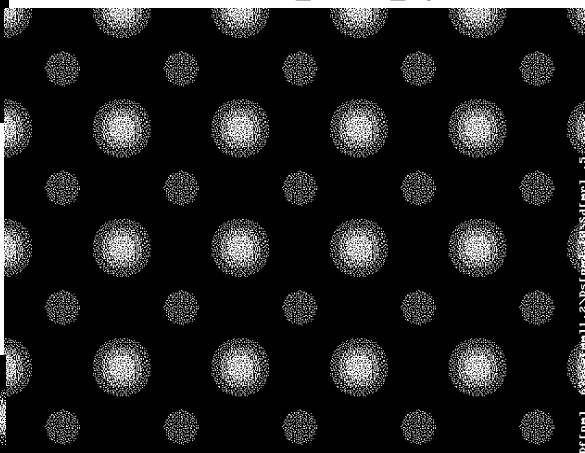
40 нм
дефокусировка
по Шерцеру



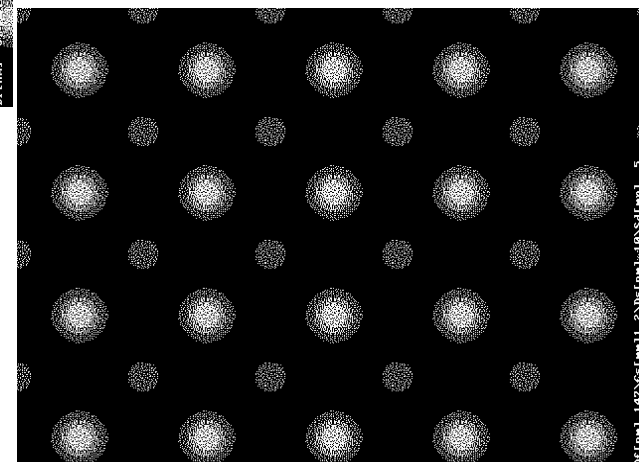
0 нм (точный фокус)



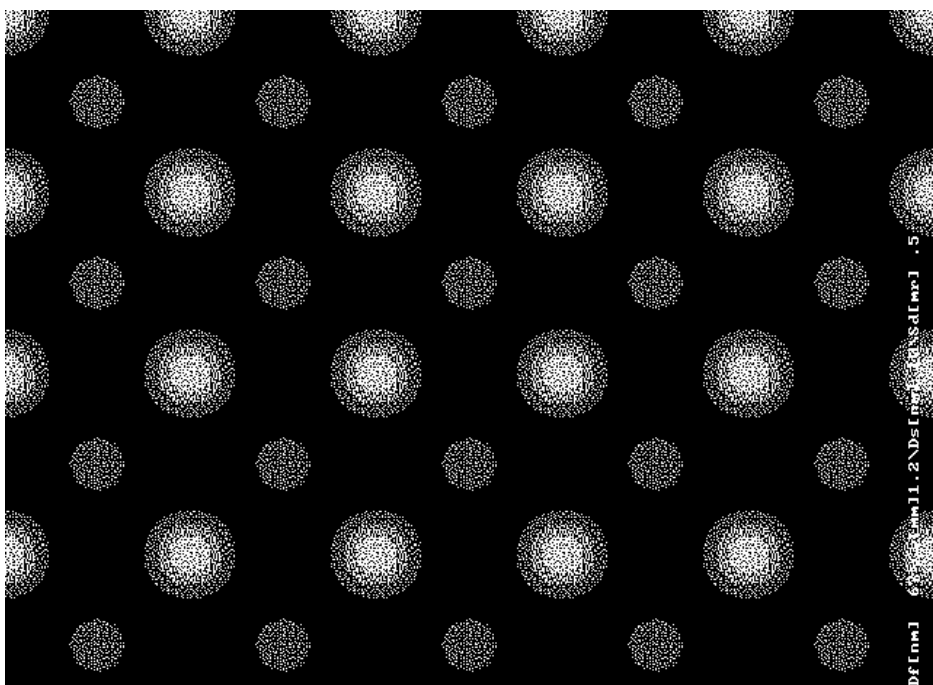
80 нм



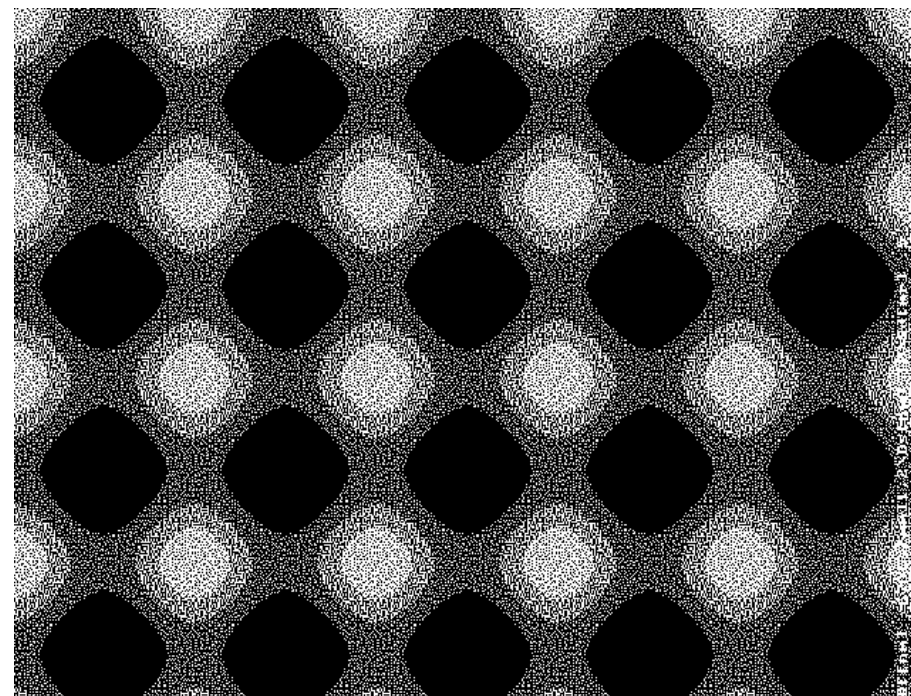
120 нм



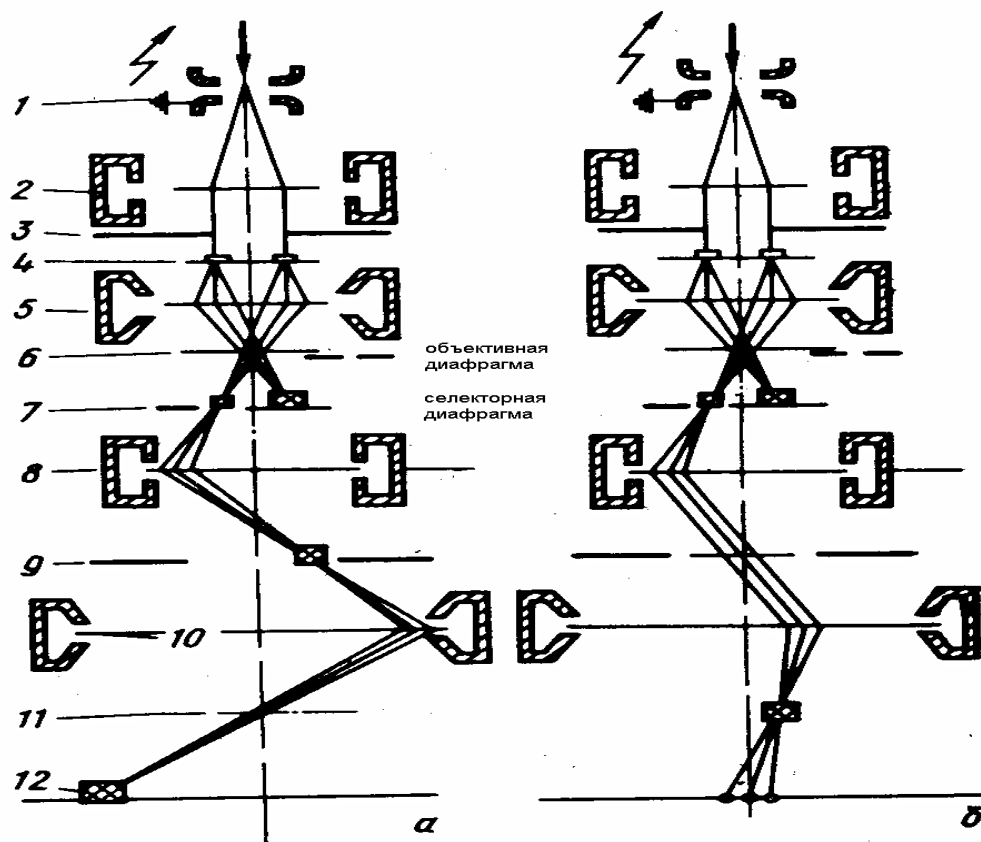
объективная диафрагма
10 нм⁻¹ (19 отражений)
дефокус по Шерцеру



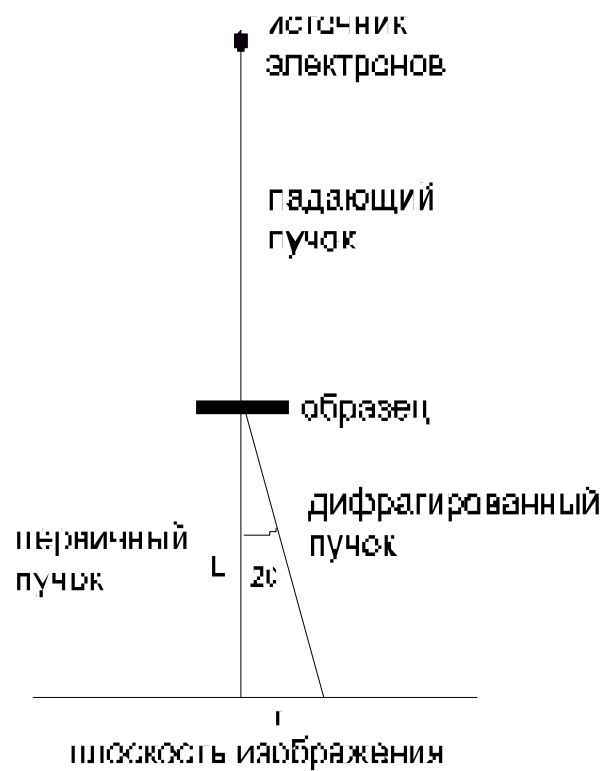
объективная диафрагма
5 нм⁻¹ (7 отражений)
дефокус по Шерцеру



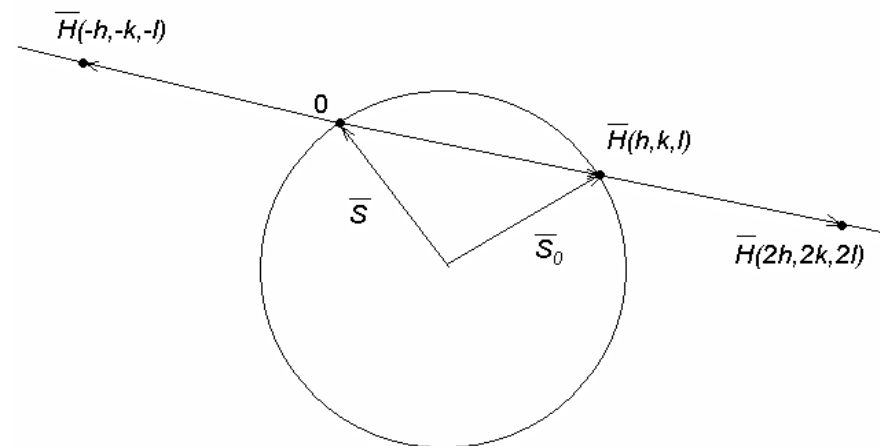
Дифракция электронов



1 – электронная пушка, 2 – конденсорная линза, 3 – конденсорная диафрагма, 4 – образец, 5 – объективная линза, 6 – задний фокус объективной линзы, 7 – селекторная диафрагма, 8 – промежуточная линза, 9 – полевая диафрагма, 10 – проекционная линза, 11 – задний фокус проекционной линзы, 12 – регистрируемое изображение

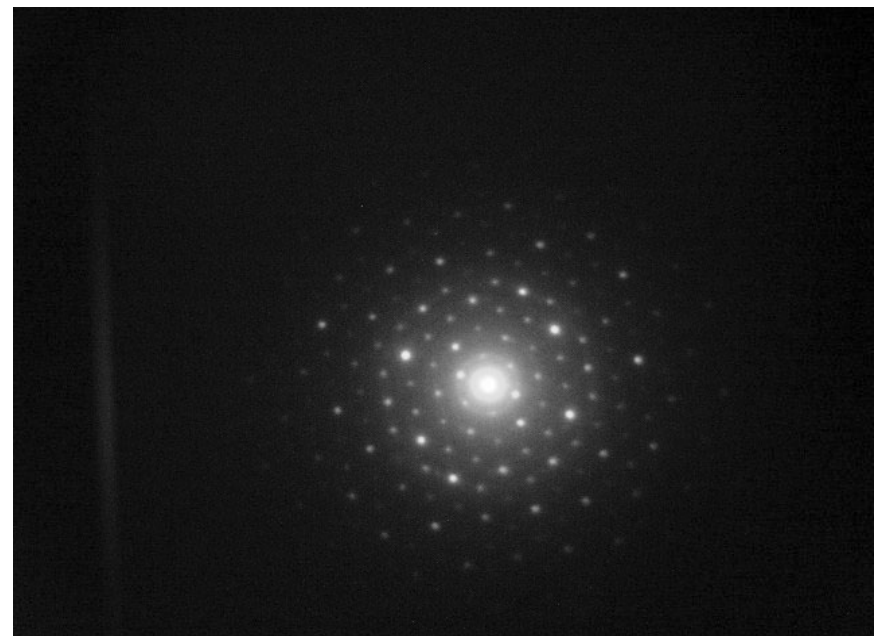
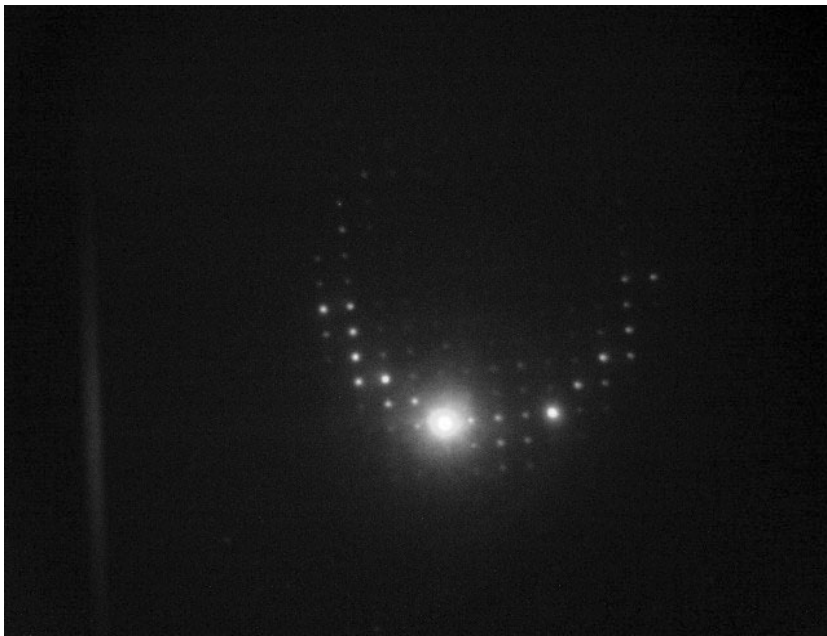


Сфера Эвальда



$$r = L (\lambda / d)$$

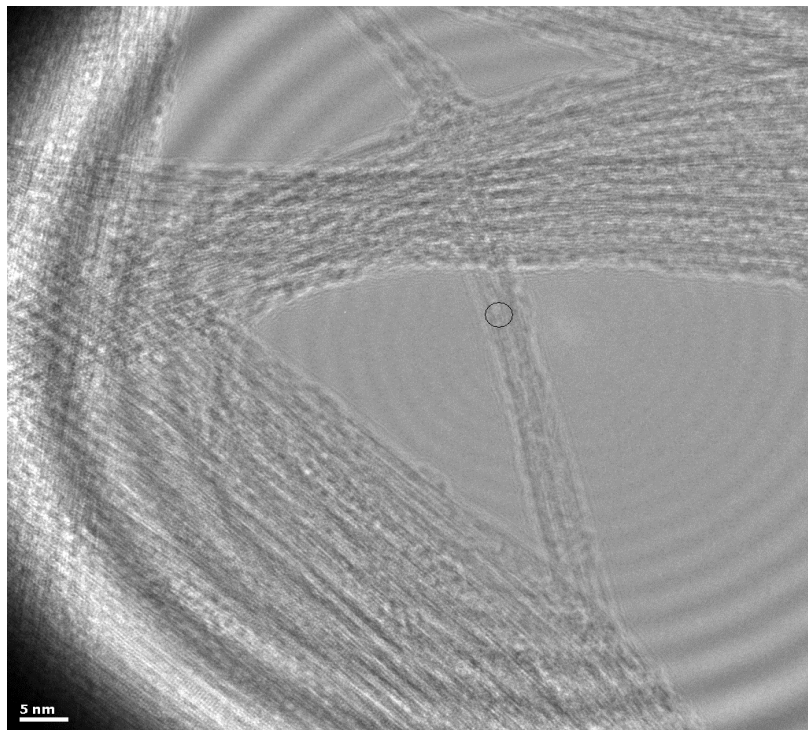
Ориентация образца относительно падающего пучка



локальность — доли мкм (селекторная диафрагма)

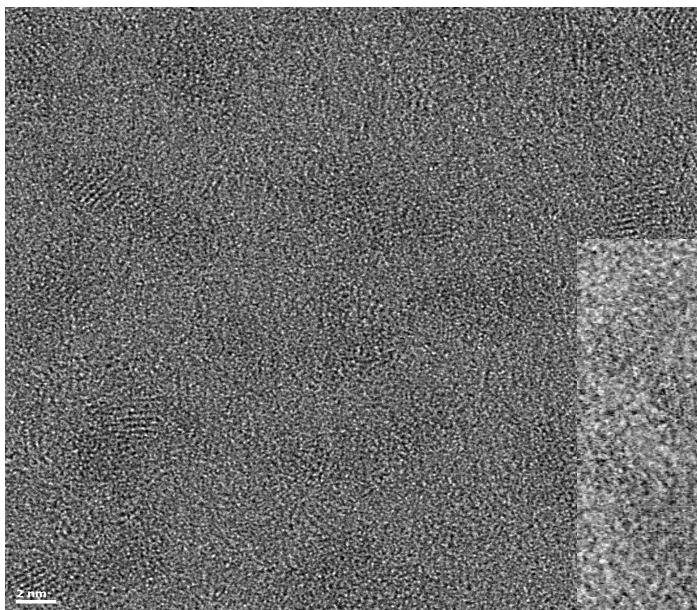
Дифракция в сходящемся пучке

Дифракция в нанопучке

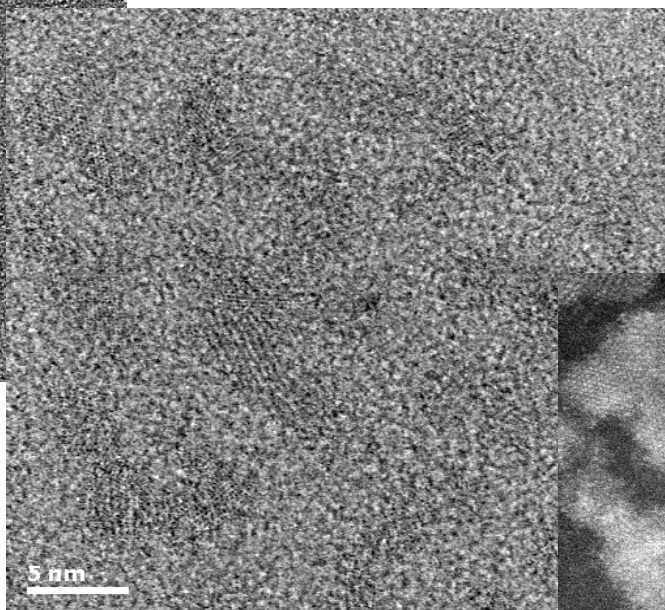


Светлопольные и темнопольные изображения

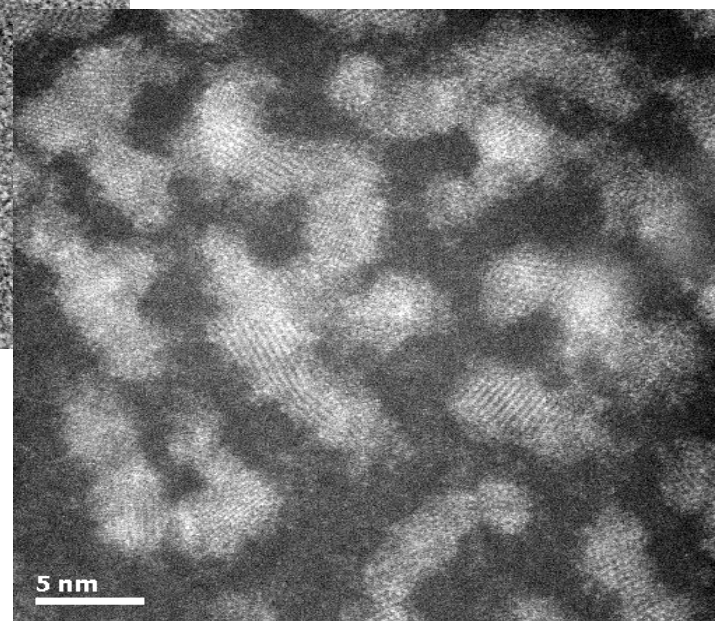
светлопольная ПЭМ



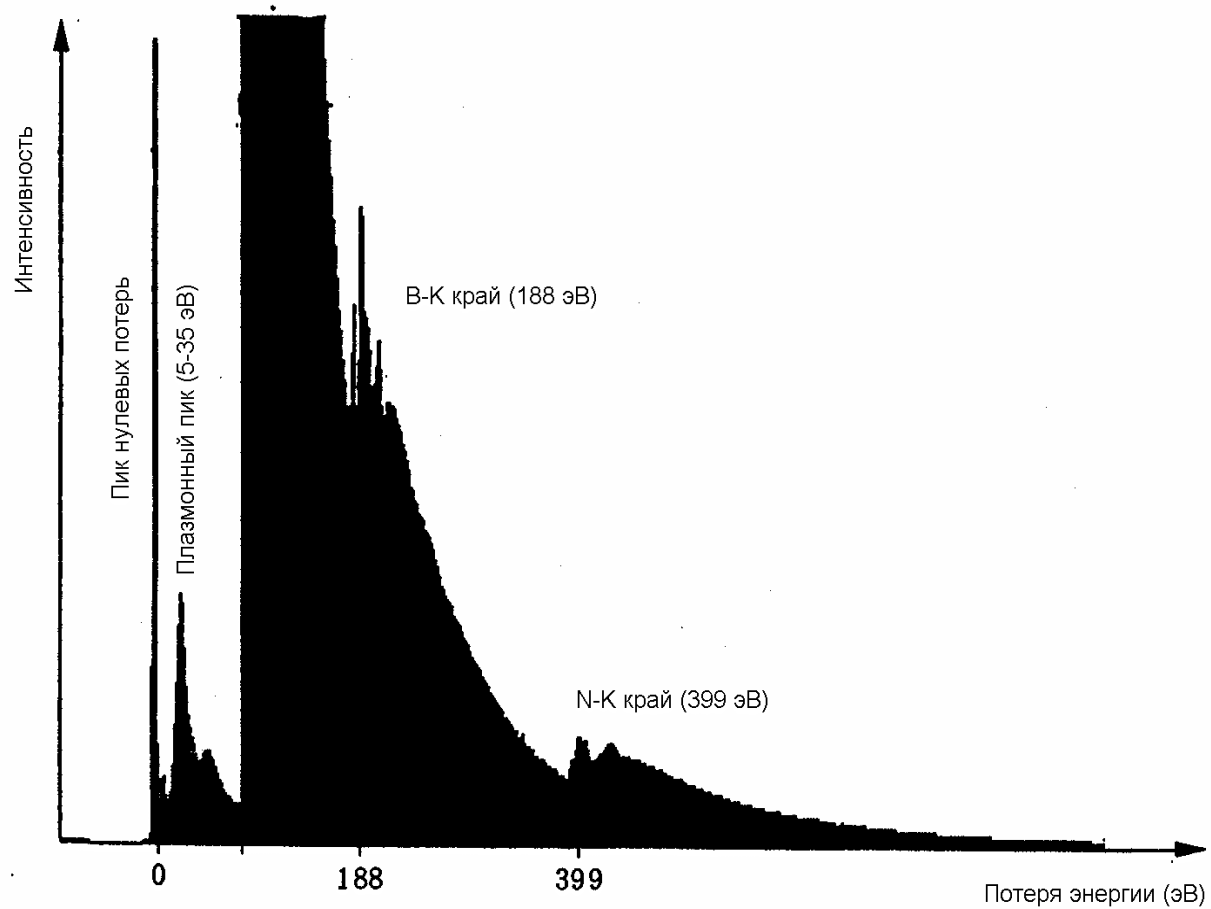
светлопольная РПЭМ



HAADF



Неупругое рассеяние электронов (EELS)



Основные методы подготовки образцов

- порошок на металлической сетке / углерод-полимерной пленке
- механическое утонение / травление
- ФИП
- реплики