

Рис. 1. Формирование структуры электронного пучка, фигур рассеяния и волнового фронта в магнитной линзе со сферической aberrацией: 1—плоскость предмета; 2—распределение индукции $B(z)$ магнитного поля линзы вдоль оси z ; 3—апертурная диафрагма; 4—волновой фронт при отсутствии сферической aberrации (сферическая поверхность); 5—реальный волновой фронт (искажен сферической aberrацией); 6—приосевые лучи; 7—периферийные лучи; 8—наименьший кружок рассеяния, радиус которого равен $\delta/4$; 9—гауссова плоскость изображения; 10—кружок рассеяния в гауссовой плоскости изображения, радиус которого равен $\delta = MC_s \alpha_0^2$.

фронт падающей волны в сферич. поверхность 4. Сферич. aberrация и дефокусировка объектива Δf вызывают дополнит. сдвиги фаз, искажающие волновой фронт. Таким образом, реальный волновой фронт 5 не совпадает со сферич. поверхностью 4 и между ними существует разность хода Δ , возрастающая с увеличением радиуса зоны. В результате возникают сдвиги фаз между дифрагированными волнами и нулевой волной (не претерпевшей дифракцию):

$$\frac{2\pi}{\lambda} \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \left(C_s \frac{\theta^4}{4} - \frac{\Delta f \theta^2}{2} \right); \theta = R\lambda.$$

В плоскости изображения дифрагированные волны интерферируют с нулевой волной. Контраст отображенных фурье-компонент зависит от фаз дифрагированных волн, а частотно-контрастная характеристика фазового объекта $W(R)$, выражающая зависимость контраста структурной составляющей от пространственной частоты, записывается след. образом:

$$W(R) = -2 \sin \frac{2\pi}{\lambda} \left(C_s \frac{R^4 \lambda^4}{4} - \Delta f \frac{R^2 \lambda^2}{2} \right). \quad (12)$$

Её график представлен на рис. 2 (штриховая кривая). Ф-ция (12) выведена без учёта хроматической aberrации, в предположении освещения объекта когерентным пучком. Реальная частотно-контрастная характеристика, полученная с учётом хроматической aberrации и некогерентности освещающего объекта пучка, представлена на рис. 2 сплошной линией. Это—затухающая при высоких пространственных частотах кривая, огибающие к-рой, изображенные штрих-пунктирной линией, с ростом R приближаются к оси абсцисс. Она получена для оптимальной дефокусировки Δf , при к-рой предельная частота R_0 максимально сдвинута в сторону высоких частот при отсутствии глубоких провалов на промежуточных частотах. На рис. 2 видно, что структурные фурье-компоненты с пространств. частотами $< R_0$ передаются на изображении с контрастом

одного знака. Знак контраста фурье-компоненты с частотами $> R_0$ начинает быстро меняться, и соответствующие этим частотам структуры передаются в искаженном виде. Предельная разрешающая способность равна наименьшему периоду d структурных фурье-компонент, передаваемых без искажений: $d = 1/R_0$. Апертурная диафрагма 3 (рис. 1), установленная в объективе, отсекает волны, несущие искаженную информацию об объекте.

Аберрации магн. линз меньше, чем электростатических, поэтому, напр., в электронных микроскопах используются магн. линзы. Однако в ИО электростатич. линзы незаменимы, т. к. их оптическая сила по отношению к ионам такая же, как и к электронам, и существенно превосходит оптич. силу магн. линз. Это связано с массой ионов, превосходящей массу электронов на

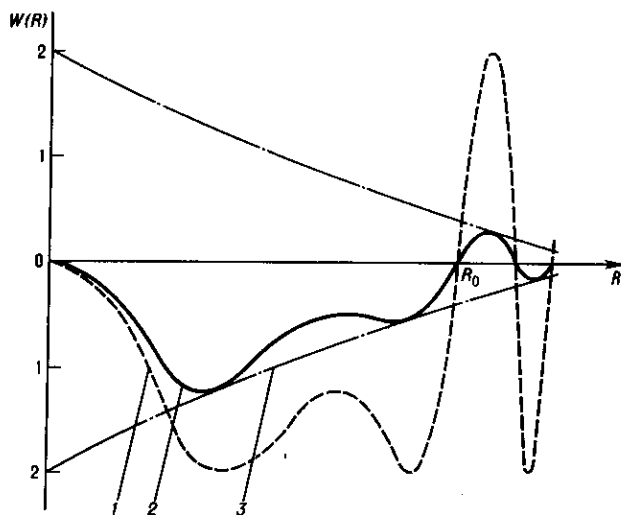


Рис. 2. Частотно-контрастная характеристика магнитной линзы: 1—при когерентном освещающем объекте пучке и отсутствии хроматической aberrации; 2—при некогерентном освещающем объекте пучке и влиянии хроматической aberrации; 3—огибающие частотно-контрастной характеристики.

три и более порядков величины. Отсутствие влияния массы частиц на их траектории в электростатич. оптике следует из ур-ний (10), в к-рых при $B=0$ масса в качестве параметра отсутствует. В магн. оптике $B \neq 0$ и коэф. γ , в к-рый входит масса частиц, сохраняется. Траектория частиц в этом случае зависит от их массы, что и приводит к резкому ослаблению влияния магн. поля на ионные пучки.

В ЭО и ИО кроме осесимметричных используются линзы с др. видами симметрии. Цилиндрич. линзы и электронные зеркала формируют линейные изображения точечных предметов, т. к. в ряде аналитич. приборов фокусировка нужна только в одной плоскости. В этих случаях применяют также трансаксиальные фокусирующие системы. Линзы с неск. плоскостями симметрии—квадрупольн. и октупольные—применяются в ускорителях для фокусировки частиц больших энергий. Они же используются для коррекции приосевого астигматизма осесимметричных линз, в к-рых в недостаточной степени выдержана осевая симметрия. Секступольные линзы в сочетании с квадруполь-