

а образуют кружок рассеяния, т. е. изображение искажается — возникают аберрации.

Геом. А. о. с. характеризуют несовершенство оптич. систем в монохроматич. свете. Происхождение А. о. с. можно понять, рассмотрев прохождение лучей через центрированную оптич. систему L (рис. 1). OO_1 — плоскость предмета, $O'O_1$ — плоскость изображений, PP_1 и $P'P'_1$ — соответственно плоскости входного и выходного зрачков. В идеальной оптич. системе

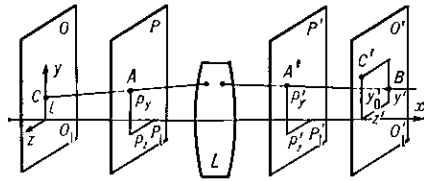


Рис. 1

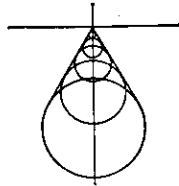


Рис. 2. Кома.

все лучи, испускаемые к.-л. точкой $C(z, y)$ предмета, находящейся в меридиональной плоскости ($z=0$) на расстоянии $y=l$ от оси, пройдя через систему, соберутся бы снова в одну точку $C'(z_0, y_0)$. В реальной оптич. системе эти лучи пересекают плоскость изображения $O'O_1$ в разных точках. При этом координаты z' и y' точки B пересечения луча с плоскостью изображения зависят от направления луча и определяются координатами p_y и p_z точки A пересечения с плоскостью входного зрачка. Отрезок $C'B$ характеризует несовершенство изображения, даваемого данной оптич. системой. Проекции этого отрезка на оси координат равны $\delta g = y' - y_0$ и $\delta G = z' - z_0$ и характеризуют поперечную аберрацию. В заданной оптич. системе $\delta g'$ и $\delta G'$ являются функциями координат падающего луча CA : $\delta g' = f_1(l, p_y, p_z)$ и $\delta G' = f_2(l, p_y, p_z)$. Считая координаты малыми, можно разложить эти ф-ции в ряды по p_y, p_z и l .

Линейные члены этих разложений соответствуют параксиальной оптике, следовательно коэфф. при них должны быть равными нулю; чётные степени не войдут в разложение ввиду симметричности оптич. системы; т. о. остаются нечётные степени, начиная с третьей; аберрации 5-го порядка (и выше) обычно не рассматривают, поэтому первичные А. о. с. наз. аберрациями 3-го порядка. После упрощений получаются след. ф-лы

$$\left. \begin{aligned} \delta g' &= A p_y (p_y^2 + p_z^2) + B l (3 p_y^2 + p_z^2) + C l^2 p_y + E l^3, \\ \delta G' &= A p_z (p_y^2 + p_z^2) + B l^2 p_y p_z + D l^2 p_z. \end{aligned} \right\} (*)$$

Коэфф. A, B, C, D, E зависят от характеристик оптич. системы (радиусов кривизны, расстояний между оптич. поверхностями, показателей преломления). Обычно классификацию А. о. с. проводят, рассматривая каждое слагаемое в отдельности, полагая др. коэфф. равными нулю. При этом для наглядности представления об аберрации рассматривают семейство лучей, исходящих из точки-объекта и пересекающих плоскость входного зрачка по окружности радиуса ρ с центром на оси. Ей соответствует определённая кривая в плоскости изображений, а семейству концентрич. окружностей в плоскости входного зрачка радиусов $\rho, 2\rho, 3\rho$ и т. д. соответствует семейство кривых в плоскости изображений. По расположению этих кривых можно судить о распределении освещённости в пятне рассеяния, вызываемом аберрацией.

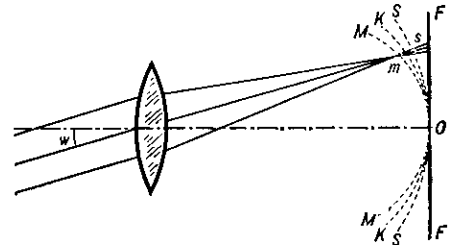
Сферическая аберрация соответствует случаю, когда $A \neq 0$, а все др. коэфф. равны нулю. Из выражения (*) следует, что эта аберрация не зависит от положения точки C в плоскости объекта, а зависит только от координаты точки A в плоскости входного зрачка, а именно, пропорциональна ρ^3 . Распределение освещён-

ности в пятне рассеяния таково, что в центре получается острый максимум при быстром уменьшении освещённости к краю пятна. Сферич. аберрация — единств. геом. аберрация, остающаяся и в том случае, если точка-объект находится на гл. оптич. оси системы.

Кома определяется выражениями при коэфф. $B \neq 0$. Равномерно нанесённым на входном зрачке окружностям соответствуют в плоскости изображения семейства окружностей (рис. 2) с радиусами, увеличивающимися как ρ^2 , центры к-рых удаляются от параксиального изображения также пропорционально ρ^2 . Обгибающей этих окружностей (каустикой) являются две прямые, составляющие угол 60° . Изображение точки при наличии комы имеет вид несимметрич. пятна, освещённость к-рого максимальна у вершины фигуры рассеяния и вблизи каустики. Кома отсутствует на оси центрированных оптич. систем.

Астигматизм и кривизна поля соответствуют случаю, когда не равны нулю коэфф. C и D . Из выражения (*) следует, что эти аберрации пропорциональны квадрату удаления точки-объекта от оси и первой степени радиуса отверстия. Астигматизм обусловлен неодинаковой кривизной оптич. поверхности в разных плоскостях сечения и проявляется в том, что волновой фронт деформируется при прохождении оптич. системы, и фокус светового пучка в разных сечениях оказывается в разных точках. Фигура рассеяния представляет собой семейство эллипсов с равномерным распределением освещённости. Существуют две плоскости — меридиональная и перпендикулярная ей сагиттальная, в к-рых эллипсы превращаются в прямые отрезки. Центры кривизны в обоих сечениях наз. фокусами, а расстояние между ними является мерой астигматизма. Пучок параллельных лучей, падающих

Рис. 3. Астигматизм.



на оптич. систему под углом w (рис. 3), в меридиональном сечении имеет фокус в точке m , а в сагитальном — в точке s . С изменением угла w положения фокусов m и s меняются, причём геом. места этих точек представляют собой поверхность вращения MOM и SOS вокруг гл. оси системы. На поверхности KOK и SOS находящейся на равных расстояниях от MOM и SOS , искажение наименьшее, поэтому поверхность KOK наз. поверхностью наилучшей фокусировки. Отклонение этой поверхности от плоскости представляет собой аберрацию, наз. кривизной поля. В оптич. системе может отсутствовать астигматизм (напр., если MOM и SOS совпадают), но кривизна поля остаётся: изображение будет резким на поверхности KOK , а в фокальной плоскости FF изображение точки будет иметь вид кружка.

Дисторсия проявляется в случае, если $E \neq 0$; как видно из ф-л (*), она может быть в меридиональной плоскости: $\delta g' = E l^3$; $\delta G' = 0$. Дисторсия не зависит от координат точки пересечения луча с плоскостью входного зрачка (поэтому каждая точка изображается точкой), но зависит от расстояния точки до оптич. оси ($\sim l^3$), поэтому изображение искажается, нарушается закон подобия. Напр., изображение квадрата имеет вид подушкообразной и бочкообразной фигур (рис. 4) соответственно в случае $E > 0$ и $E < 0$.

Труднее всего устранить сферич. аберрацию и кому. Уменьшая диафрагму, можно было бы практически