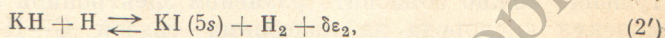
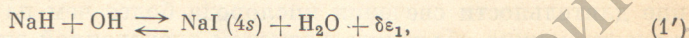


Для выхода атомов NaI и KI в нормальном состоянии получаем

$$\Delta\epsilon_1 = 72 \pm 5 \text{ ккал/моль}, \quad \Delta\epsilon_2 = 60 \pm 1.7 \text{ ккал/моль}.$$

Энергия возбуждения атомов имеет значения: $\epsilon_{\text{Na}(4s)} = 73.5$ ккал/моль; $\epsilon_{\text{K}(5s)} = 60.1$ ккал/моль. Эти значения совпадают соответственно со значениями $\Delta\epsilon_1$ и $\Delta\epsilon_2$ в пределах их погрешности. Отсюда видно, что реакции (1) и (2) могут протекать с образованием возбужденных атомов в указанных состояниях. Реакции такого типа при малых нарушениях баланса энергии протекают с большой вероятностью. Сечения соответствующих реакций столкновений могут достигать и даже превышать $\sigma = 10^{-15} \text{ см}^2$ [2, 3].

Итак, оказываются энергетически разрешенными реакции (1') и (2')



$\delta\epsilon_1$ и $\delta\epsilon_2$ — малые изменения кинетической энергии участвующих в реакции частиц.

Соединения, исходные для этих реакций, можно получать, например, в условиях газоразрядной плазмы при заполнении разрядной камеры смесью K+H₂ или смесью паров NaOH и водорода [4]. Эффективность указанных реакций и конкретные условия их осуществления нуждаются в экспериментальном изучении.

Литература

- [1] Энергии разрыва химических связей. Потенциалы ионизации и сродство к электрону (под редакцией В. Н. Кондратьева). «Наука», М., 1974.
- [2] В. Н. Кондратьев, Е. Е. Никитин. Кинетика и механизм газофазных реакций. «Наука», М., 1974.
- [3] В. М. Клишкин, С. С. Монастырев, В. Е. Прокопьев. Письма ЖЭТФ, 20, 251, 1974.
- [4] А. М. Шухтин, В. Г. Мишаков. Вестн. ЛГУ, № 4, 58, 1978.

Поступило в Редакцию 3 марта 1980 г.

УДК 535.824.2

КОРРЕКЦИЯ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ АБЕРРАЦИЙ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА ДИФРАКЦИОННОГО ДВУХЛИНЗОВОГО ОБЪЕКТИВА

Г. И. Грейсух

В работах [1, 2] исследовались монохроматические aberrации дифракционной двухкомпонентной оптической системы при расположении предмета в бесконечности. В настоящей работе получены выражения для коэффициентов монохроматических aberrаций двухлинзового дифракционного объектива при произвольном увеличении, показана возможность полной и одновременной компенсации в таком объективе всех монохроматических aberrаций третьего порядка.

Оптическая схема объектива представлена на рис. 1. Предполагается, что апертурная диафрагма установлена в плоскости дифракционной линзы L_2 . Фокусное расстояние объектива F , коэффициент увеличения системы V , отрезок Z и фокусные расстояния первой и второй дифракционных линз f_1 и f_2 связаны соотношениями

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}, \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} Z &= F \left(\frac{d}{f_2} + \frac{1}{V} - 1 \right), \\ V &= \frac{l'}{l}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Используя выражения для волновых aberrаций дифракционной линзы с вынесенным зрачком, полученные в [3], суммируя aberrации линз L_1 и L_2 , вычисленные в плоскости апертурной диафрагмы, и учитывая соотношения (2), получаем выражение для волновой aberrации третьего порядка рассматриваемого объектива

$$W(\rho) = \frac{2\pi}{\lambda} \left[-\frac{1}{8} S \rho^4 + \frac{1}{2} C \rho^3 \cos \theta - \frac{1}{4} A \rho^2 (1 + 2 \cos^2 \theta) + \frac{1}{2} D \rho \cos \theta \right], \quad (3)$$

где

$$S = k^4 S_1 + S_2, \quad (4)$$

$$C = \beta k \left[k^2 (P - dk S_1) + \frac{1 + 2Rk f_2}{f_2^2} \right], \quad (5)$$

$$A = \beta^2 k^2 \left[d^2 k^2 S_1 - 2dkP - \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \right], \quad (6)$$

$$D = \beta^3 k^2 d \left(3Pdk + \frac{3}{f_1} - S_1 d^2 k^2 \right), \quad (7)$$

$$k = \frac{f_1 Z}{Z(f_1 - d) - df_1}, \quad \beta = -\frac{l'}{VZ}, \quad P = \frac{Z + 2f_1}{Zf_1^2}, \quad R = \frac{Z + f_1}{Zf_1}, \quad (8)$$

S, C, A, D — коэффициенты сферической aberrации, комы, астигматизма и дисторсии объектива; $\rho, \cos \theta$ — полярные координаты в плоскости выходного зрачка; S_1 и S_2 — коэффициенты сферической aberrации линз L_1 и L_2 соответственно.

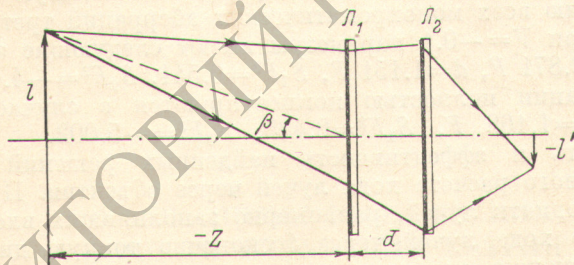


Рис. 1. Оптическая схема дифракционного двухлинзового объектива.

Заданная сферическая aberrация дифракционной линзы может быть получена либо выбором соответствующих соотношений между радиусами кривизны объектного, опорного и восстанавливающего волновых фронтов при голографической записи линзы, либо в результате введения определенной поправки в закон зависимости частоты микроструктуры дифракционной линзы от радиуса при ее синтезе.

Совместное решение уравнений $A=0, C=0$ и уравнения (1) дает значения параметров f_1, f_2 и S_1 , обеспечивающие одновременное устранение комы, астигматизма и кривизны поля объектива при заданных V и d . Графики зависимости фокусного расстояния фронтальной линзы объектива и ее коэффициента сферической aberrации от величины зазора между компонентами для двух значений коэффициента увеличения $V = -0.1$ и $V = -0.05$, полученные в результате решения системы уравне-

ний численными методами, представлены на рис. 2. Все зависимости приведены в относительных величинах, что позволит использовать их при расчете дифракционных объективов независимо от заданной величины фокусного расстояния. Коэффициент S_2 второй дифракционной линзы определяется из условия устранения сферической aberrации у объектива в целом. Из (4) следует

$$S_2 = -k^4 S_1. \quad (9)$$

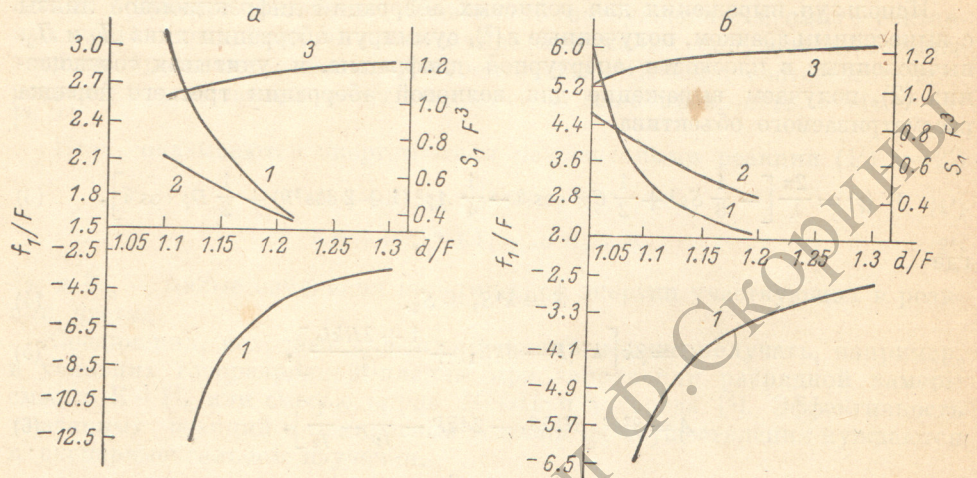


Рис. 2. Зависимости относительных величин фокусного расстояния линзы L_1 и ее коэффициента сферической aberrации от расстояния между компонентами при $V = -0.1$ (а) и $V = -0.05$ (б).

1 — зависимость f_1/F , 2 — зависимость S_1F^3 , соответствующая положительным величинам f_1/F , 3 — зависимость S_1F^3 , соответствующая отрицательным величинам f_1/F .

Приравнявая нулю выражения (5), (6) и (7) и решая численно полученную систему уравнений совместно с (1), получим набор параметров объектива, обеспечивающих при заданном увеличении полную и одновременную компенсацию всех монохроматических aberrаций третьего порядка. В частности, при $V = -0.1$ параметры имеют следующие значения: $f_1 = 2.173 F$, $f_2 = 0.871 F$, $d = 1.151 F$, $S_1F^3 = 0.541$, $S_2F^3 = -4.488$, при $V = -0.05$ aberrации полностью компенсируются в случае $f_1 = 2.343 F$, $f_2 = 0.875 F$, $d = 1.168 F$, $S_1F^3 = 0.495$, $S_2F^3 = -5.002$.

Достоверность и эффективность найденных решений проверялись методом машинного расчета хода лучей через объектив. Прослеживался ход ста четырнадцати лучей, равномерно заполнявших входной зрачок.

При расчете хода лучей через бесконечно тонкую дифракционную линзу направляющие косинусы дифрагировавшего луча вычислялись по формулам

$$\left. \begin{aligned} l_I &= l_c + Bx + 0.5S_i(x^2 + y^2), \\ m_I &= m_c + By + 0.5S_i(x^2 + y^2), \\ n_I &= \sqrt{1 - l_I^2 - m_I^2}, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где

$$B = \frac{|z_i|}{z_i \sqrt{x^2 + y^2 + z_i^2}} - \frac{|z'_i|}{z'_i \sqrt{x^2 + y^2 + z_i'^2}}, \quad z'_i = \frac{z_i f_i}{z_i + f_i},$$

l_c , m_c — направляющие косинусы падающего на линзу луча; x , y — координаты точки падения луча (начало выбранной системы координат лежит в плоскости линзы, а ось z совпадает с осью симметрии объектива); f_i , S_i — фокусное расстояние и коэффициент сферической aberrации i -й дифракционной линзы; z_i — расстояние от плоскости линзы до соответствующей предметной плоскости.

Качество изображения оценивалось по критерию Q_4 , предложенному в [4]. Расчет, в частности, показал, что дифракционный объектив с фокусным расстоянием $F=24$ мм и вышеприведенными параметрами, обеспечивающими компенсацию всех монохроматических aberrаций, формирующий десятикратно уменьшенное изображение ($V=-0.1$), обеспечивает при относительном отверстии 1 : 5.6 на длине волны $\lambda=441.6$ нм разрешение 3 мкм по полю диаметром 6 мм. При оптимальных значениях параметров S_1 и S_2 , отличающихся от теоретических на 2÷2.5%, диаметр полезного поля изображения составлял 7.5 мм. Дисторсия объектива как до оптимизации, так и после нее не превышала 0.15%. Существенное увеличение полезного поля изображения в результате оптимизации объясняется тем, что в этом случае минимизируется суммарная aberrация, включающая как первичные aberrации, так и aberrации высших порядков.

В заключение отметим, что введение в компоненты объектива сферической aberrации пятого порядка позволит при одновременной компенсации всех монохроматических aberrаций третьего порядка устранить в рассмотренном объективе также и кому пятого порядка. Требуемые значения коэффициентов сферической aberrации пятого порядка могут быть получены с помощью аппарата aberrационного анализа дифракционных оптических систем, предложенного в [5].

Литература

- [1] Г. И. Грейсук, С. Т. Бобров. Тез. Всесоюз. конф. «Формирование оптического изображения и методы его коррекции», 67. Могилев, 1979.
 [2] С. Т. Бобров, Г. И. Грейсук. Опт. и спектр., 49, 809, 1980.
 [3] С. Т. Бобров, Г. И. Грейсук, М. А. Прохоров, Ю. Г. Туркевич, В. Г. Шитов. Опт. и спектр., 46, 153, 1979.
 [4] Г. И. Грейсук, М. А. Прохоров, Ю. Г. Туркевич. Опт. и спектр., 42, 1162, 1977.
 [5] С. Т. Бобров, Ю. Г. Туркевич. Опт. и спектр., 46, 986, 1979.

Поступило в Редакцию 7 апреля 1980 г.

УДК 539.184.5 : 546.33

О МЕХАНИЗМЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ НОЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НАТРИЯ В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

А. М. Шухтин

Излучение NaI (3^2P-3^2S) в свечении ночного неба издавна привлекает к себе внимание, поскольку оно дает информацию о процессах, происходящих в верхних слоях атмосферы. Исходным пунктом исследований в этой области должно быть установление механизма появления атомов натрия в состоянии 3^2P . Общеизвестным [1] является предположение о том, что атомы натрия в указанном состоянии возникают в результате фотохимических реакций. Чепмен [2] считал, что возбуждение атома натрия происходит по следующей реакции:



Бейтс и Николе [3] указали другой механизм

