

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

В.А. Банах, Б.Н. Чен

О ВЛИЯНИИ ПРИЕМНОГО ОБЪЕКТИВА НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА РЕФРАКЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ПУЧКА

Показано, что определение рефракции оптического пучка по смещению изображения источника света может сопровождаться систематической погрешностью, величина которой зависит от пространственной когерентности источника, радиуса излучающей апертуры и кривизны волнового фронта.

Распространение оптических пучков в различных средах может сопровождаться отклонением их направления распространения от прямолинейного за счет рефракции [1–3]. На практике рефракционное смещение можно определять либо по смещению энергетического центра тяжести самого оптического пучка, либо по смещению центра тяжести изображения источника излучения. При этом оба способа определения угла рефракции считаются эквивалентными [4, 5]. Между тем при работе с лазерными источниками это не всегда так.

Действительно, пусть в плоскости $z' = z_0$ расположен оптический источник с комплексной амплитудой поля $u_0(\rho)$. В плоскости $z' = z$ поместим приемную линзу телескопа с амплитудным коэффициентом пропускания $T(\rho)$.

Диэлектрическую проницаемость среды представим в виде

$$\varepsilon(z', \rho') = 1 + \varepsilon(z', \rho'), \quad |\varepsilon| \ll 1.$$

Следуя [6], разложим $\varepsilon(z', \rho')$ в ряд по степеням x и ограничимся первым слагаемым

$$\varepsilon(z', \rho') = \mu(z') \rho' x_0, \quad (1)$$

где x_0 — единичный вектор; $x = x_0 \rho'$, ρ' — поперечная координата. Зависимость $\mu(z')$ от z' отражает изменение градиента диэлектрической проницаемости среды вдоль трассы [6].

Рефракционное смещение центра тяжести светового пучка в плоскости $z'=z$ определяется в виде

$$\rho_c = \frac{\int d^2 \rho \rho I(z, \rho)}{\int d^2 \rho I(z, \rho)}, \quad (2)$$

где $I(z, \rho)$ — распределение интенсивности светового пучка в плоскости наблюдения. Но аналогии с [6] можно показать, что независимо от когерентности источника, размера излучающей апертуры и фокусировки излучения угловое смещение центра тяжести пучка за счет рефракции $\sigma_c = x_0 \rho_c / L$ определяется формулой

$$\sigma_c = \frac{L}{2} \nu_1(z), \quad (3)$$

$$\text{где } L = z - z_0, \quad \nu_1(z) = \int_0^1 d\xi (1 - \xi) \mu(z_0 + \xi L).$$

Для определения смещения изображения оптического источника за счет рефракции в (2) необходимо вместо $I(z, \rho)$ задать распределение интенсивности света $I_t(l, \rho)$ в плоскости резкого изображения приемного объектива, где l — расстояние от выходного зрачка объектива до этой плоскости. В этом случае для величины углового смещения оптического изображения $\sigma_t = x_0 \rho_t / l$ имеем [7]

$$\sigma_t = \frac{L}{2} [\nu_0(z) + p \nu_1(z)], \quad (4)$$

$$\text{где } v_0(z) = \int_0^1 d\xi \xi_{\nu, \mu}(z_0 + \xi L); \quad p = \frac{\Omega^2 (1 - L/F)}{1 + \Omega^2 (1 - L/F)^2 + a^2/a_k^2};$$

$$\Omega = ka^2/L.$$

Видно, что в отличие от σ_c (3) величина σ_t зависит от радиуса пространственной когерентности источника a_k , размера выходной апертуры a и фокусировки излучения F .

Для однородной трассы ($\mu(z') = \text{const}$) имеем $v_0 = v_1$. Тогда для некогерентного источника ($a_k \rightarrow 0$) из (4) получаем $\sigma_{t, \text{нек}} = \sigma_c$, а для когерентного источника ($a_k \rightarrow \infty$) в частном случае плоской волны ($\Omega \gg 1, L/F = 0$) из (4) следует $\sigma_{t, \text{ког}} = 2\sigma_c$.

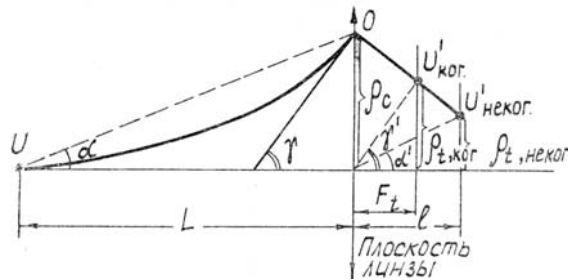


Рис. 1. Схема формирования оптического изображения

Такое поведение σ_t , в зависимости от когерентных свойств источника, легко понять из рис. 1. Из-за рефракции световой луч, вышедший из точки U , опишет, согласно (3), параболическую траекторию и придет в точку O плоскости $z' = z$ под углом γ . Из выражения (3) следует, что $\text{tg} \gamma = 2\text{tg} \alpha$. В случае когерентного источника ($a_k \rightarrow \infty$) изображение $U'_{\text{ког}}$ плоской волны будет в фокальной плоскости линзы, но смещенной относительно фокуса на величину $\rho_{t, \text{ког}} = F_t \sigma_{t, \text{ког}}$ (F_t — фокусное расстояние линзы). Из геометрических построений ясно, что угол γ равен углу γ' . В случае некогерентного источника ($a_k \rightarrow 0$) его изображение $U'_{\text{нек}}$ будет находиться в плоскости l , положения которой определяются из формулы тонкой линзы

$$\frac{1}{l} + \frac{1}{L} = \frac{1}{F_t} \quad (5)$$

и смещенной относительно оптической оси линзы на величину $\rho_{t, \text{нек}} = l \cdot \sigma_{t, \text{нек}}$. Из геометрических построений на рис. 1 с учетом (5) можно найти, что $\alpha' = \alpha$.

Таким образом, при измерениях угла рефракции с помощью теодолита может возникать систематическая ошибка, величина которой зависит от степени когерентности источника (a_k) и его геометрии (a, F). Не исключено, что именно с этим связано различие в величине рефракции излучения лазерного и некогерентного источников в экспериментах [4, 5].

1. Гдалевич Г.А., Гришгауз К.И., Рудаков В.А., Рытов С.М. — Радиотехника и электроника, 1963, т. 8, № 6, с. 942.
2. Колосов М.А., Шабельников А.В. Рефракция электромагнитных волн в атмосферах Земли, Венеры и Марса. — М.: Сов. радио, 1978.
3. Кравцов Ю.А., Фейзулин З.И., Виноградов А.Г. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли. — М.: Радио и связь, 1983.
4. Малковский О.Н. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1968, № 4, с. 51.
5. Алексеев А.В., Кабанов М.В., Перий С.С. — В кн.: XIV Всес. конференция по распространению радиоволн, тез. докл., ч. 2, М.: Наука, 1984, с. 71.
6. Виноградов В.В., Костерин А.Г., Медовиков А.С., Саичев А.И. — Изв. вузов. Радиофизика, 1985, т. 28, № 10, с. 1227.
7. Банах В.А., Меламуд А.Э., Миронов В.Л., Носов В.В., Чен Б.Н. — Оптика и спектроскопия, 1987, т. 62, вып. 5.

Институт оптики атмосферы
СО АН СССР, Томск

Поступило в редакцию
28 октября 1987 г.

V.A. Banakh and B.N. Chen. **On the Receiving Effect on Determination of the Optical Beam Refractive Angle.**

It is shown that the determination of optical beam refraction according to the shift of light source image can be accompanied by a systematic error whose value depends on spatial coherence of a source, radius of emitting aperture and wave front curvature.