

УДК 551.521.3;551.593.52

О ФОНЕ ДВУКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ В ЛИДАРЕ
НЕПРЕРЫВНОГО РЕЖИМА

А. В. СИНЯВСКИЙ

Институт физических исследований АН АрмССР

(Поступила в редакцию 20 июня 1982 г.)

Рассмотрена возможность повышения информативности лидарных систем непрерывного режима с учетом сигнала двукратного рассеяния. Показано, что фон двукратного рассеяния может служить источником информации о параметрах рассеивающего аэрозоля.

Получившие широкое распространение лидарные методы зондирования атмосферы основаны на использовании локационного уравнения в приближении однократного рассеяния. В ряде работ [1—3] показано, что в случае плотных атмосферных образований вклад многократного рассеяния в отраженный сигнал довольно значителен; кроме того, сигнал многократного рассеяния является более чувствительным к микроструктуре аэрозоля.

Полученное в работе [3] уравнение лазерной локации основано на приближении двукратного рассеяния; в [4] показано, что вклад многократного рассеяния более высоких порядков для атмосферного аэрозоля пренебрежимо мал.

Запишем уравнение лазерной локации для случая двукратного рассеяния в однородной среде в обозначениях работы [3]:

$$P(r) = P'(r) + P'(r) \delta(r), \quad (1)$$

где

$$P'(r) = P_0 \frac{ct}{2} S(r) \sigma(\pi) \exp(-2\alpha r) dr \quad (2)$$

есть сигнал однократно рассеянного излучения с расстояния r , P_0 — излученная мощность в импульсе длительностью t , c — скорость света, $\sigma(\pi)$ — коэффициент обратного рассеяния, α — коэффициент ослабления, $S(r) = A/r^2$, где A — площадь приемной системы;

$$\delta(r) = \frac{2\pi r}{\gamma(\pi)} \varphi_0 \sigma_0 \Gamma(\pi), \quad (3)$$

где $\gamma(\pi)$ — нормированная индикатриса рассеяния в направлении назад, σ_0 — коэффициент рассеяния, φ — угол зрения приемной системы,

$$\Gamma(\pi) = \int_0^\pi \gamma(\varphi) \gamma(\pi - \varphi) d\varphi. \quad (4)$$

Величина $\Gamma(\pi)$ вычислена в [3] для длин волн 0,45 и 0,7 мкм для различных индикатрис по данным Дейрменджана [5].

Представляет интерес оценить вклад сигнала двукратного рассеяния в случае лидара непрерывного режима [6—9]. Метод непрерывного лидара использует зависимость от коэффициента ослабления либо фазы принимаемого обратно рассеянного излучения, либо изменения глубины модуляции гармонически модулированного излучения.

Для лидара непрерывного режима, выходное излучение которого модулировано по закону

$$P_0 = \bar{P}_0 + \tilde{P}_0 \sin(\omega t + \theta_0), \quad (5)$$

где $\bar{P}_0$ и $\tilde{P}_0$ — постоянная и переменная составляющие мощности выходного излучения, $\omega = 2\pi f$ — циклическая частота модуляции, θ_0 — начальная фаза (можно принять $\theta_0 = 0$), в случае однократного рассеяния в предположении о нерасходимости пучка получаем [10]

$$P' = A\sigma_0 \left[\frac{\bar{P}_0}{2\alpha} + \frac{\tilde{P}_0}{2\alpha \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2}} \sin(\omega t + \theta') \right]. \quad (6)$$

Аналогичным образом с использованием выражений (1), (3) и (5) для двукратно рассеянного излучения находим

$$P'' = \frac{2\pi A\sigma_0^2 \varphi_0 \Gamma(\pi)}{\gamma(\pi)} \left[\frac{\bar{P}_0}{4\alpha^2} + \frac{\tilde{P}_0}{4\alpha^2} \frac{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2\right]^2 + 4\left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2}}{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2\right]^2} \sin(\omega t + \theta'') \right]. \quad (7)$$

В приближении однократного рассеяния связь фазы принятого сигнала с частотой модуляции и коэффициентом ослабления дается выражением

$$\operatorname{tg} \theta' = \frac{\omega}{\alpha c}. \quad (8)$$

Величина

$$G' = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2}} \quad (9)$$

представляет собой изменение глубины модуляции принятого сигнала.

Аналогичные параметры в случае двукратно рассеянного излучения выражаются соответственно формулами

$$\operatorname{tg} \theta'' = \frac{\omega}{\alpha c} \frac{2}{1 - \left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2}, \quad (10)$$

$$G'' = \frac{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2\right]^2 + 4\left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2}}{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2\right]^2} \quad (11)$$

На рис. 1 и 2 приведены результаты численного расчета $\operatorname{tg} \theta$ и G для модулирующих частот 100 кГц, 1 МГц и 10 МГц. Из анализа выражений (9) и (11) видно, что изменение глубины модуляции двукратно рассеянного излучения находится в достаточно сильной зависимости от α ; вместе с тем $\operatorname{tg} \theta''$ и G'' не зависят от типа рассеивающей среды.

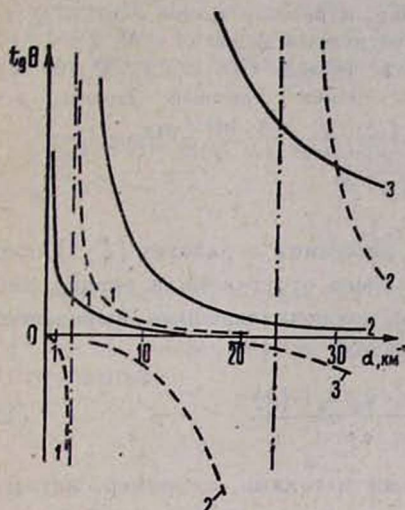


Рис. 1.

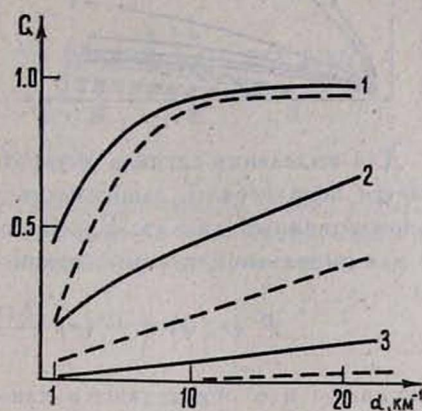


Рис. 2.

Рис. 1. Зависимость $\operatorname{tg} \theta'$ (кривые 1—100 кГц, 2—1 МГц, 3—10 МГц)

и $\operatorname{tg} \theta''$ (штриховые кривые) от величины коэффициента ослабления α .

Рис. 2. Зависимость изменения глубины модуляции G' (1—100 кГц, 2—

1 МГц, 3—10 МГц) и G'' (штриховые кривые) от α .

Отношение мощности переменной составляющей двукратно рассеянного излучения к аналогичной составляющей однократно рассеянного сигнала дается выражением

$$\frac{\tilde{P}''}{\tilde{P}'} = \frac{\pi \varphi_0 \varepsilon_0 \Gamma(\pi)}{\varphi(\pi) \alpha} \frac{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2\right]^2 + 4\left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2}}{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\alpha c}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (12)$$

Зависимость $\tilde{P}''/\tilde{P}'$ от α для модулирующих частот 1 и 10 МГц (длина волны излучения 0,45 мкм) приведена на рис. 3. При расчете предполагалось, что ослабление обусловлено рассеянием; индикатриса рассеяния задавалась по Дейрменджану [5] для моделей дымок M , L и H и моделей облаков C_1 , C_2 и C_3 . На рис. 3 видна достаточно сильная зависимость сигнала двукратного рассеяния от типа рассеивающего аэрозоля. Таким образом, подтверждается сделанный в работе [3] вывод о возможности идентификации атмосферного аэрозоля путем исследования сигнала двукрат-

ного рассеяния. Известные методы, основанные на определении спектральной характеристики коэффициента рассеяния [11], достаточно сложны в технической реализации. При этом многочастотное зондирование требует для интерпретации результатов определенных предположений о параметрах аэрозоля.

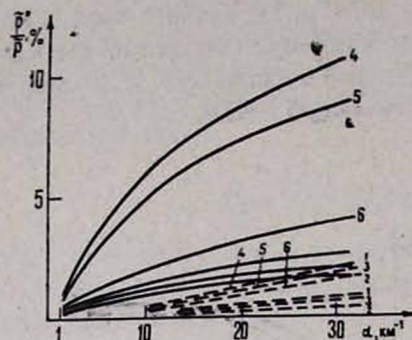


Рис. 3. Отношение $\bar{P}''/\bar{P}'$ как функция коэффициента ослабления α . Сплошные кривые соответствуют частоте модуляции 1 МГц, штриховые кривые — 10 МГц для разных моделей дымок (1—М, 2—L, 3—Н) и облаков (4—С₁, 5—С₂, 6—С₃). Угол зрения приемной системы $\varphi = 5 \cdot 10^{-3}$ рад.

Для выделения сигнала двукратного рассеяния в работах [2, 3] предлагается использовать зависимость последнего от угла поля зрения либо поляризационный анализ. В этом случае, воспользовавшись выражением (1) для импульсной локации, можно получить

$$P''(r, \varphi) = P'(r) \frac{2\pi r(\varphi - \varphi_0) \sigma_0 \Gamma(\pi)}{\gamma(\pi)}. \quad (13)$$

Величины σ и α определяются известными методами, например, методом базисного фотометра [12].

Проведенный анализ показывает возможность увеличения информативности лидарной системы непрерывного режима. Учет двукратного рассеяния позволяет производить идентификацию атмосферного аэрозоля по индикаторам рассеяния.

В заключение автор выражает признательность Р. А. Казаряну за внимание к работе и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кауль Б. В., Самохвалов И. В. Изв. вузов, Физика, № 8, 109 (1975).
2. Самохвалов И. В. Изв. АН СССР, ФАО, 15, 1271 (1979).
3. Самохвалов И. В. В сб. «Дистанционные методы исследования атмосферы», Изд. Наука, Новосибирск, 1980, стр. 90.
4. Креков Г. М., Крекова М. М., Попков А. И. II Всесоюзный симпозиум по лазерному зондированию атмосферы, Томск, 1976, стр. 151.
5. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами, Изд. Мир, М., 1971.
6. Иванов А. П. Изв. АН СССР, ФАО, 4, 224 (1968).
7. Kreid D. K. Appl. Opt., 15, 1823 (1976).
8. Button J. L., Lyer R. S. Appl. Opt., 17, 265 (1978).
9. Вартанян В. О., Гаспарян С. С., Казарян Р. А. Тезисы докладов I Республиканской научно-технической конференции «Оптические системы связи», Ереван, 1980, стр. 13.
10. Казарян Р. А., Синявский А. В. Изв. АН АрмССР, Физика, 17, 347 (1982).

11. Нгац И. Э. В сб. «Дистанционные методы исследования атмосферы», Изд. Наука, Новосибирск, 1980, стр. 41.
12. Вакуров Г. Ф., Сакерин С. М. Аппаратура и методики дистанционного зондирования параметров атмосферы, Изд. Наука, Новосибирск, 1980, стр. 56.

ԱՆԲՆԴՆԱՏ ԳՈՐԾՈՂՈՒԹՅԱՆ ԼԻԴԱՐԻ ԿՐԿՆԱԿԻ ՑՐՄԱՆ ՖՈՆԻ ՄԱՍԻՆ

Ա. Վ. ՍԻՆՅԱՎՍԿԻ

Ստացված են արտաճառությունների ֆազի և մոդուլացման խորության փոփոխության համար n : տարամիտող ինչի մոտեցումով: Ցույց է տված, որ կրկնակի ցրման ֆոնը էապես կախված է ցրող միջավայրի ինդեկսատրիսայի ախպից:

ON THE BACKGROUND OF TWOFOLD SCATTERING IN CW LIDAR

A. V. SINYAVSKIY

The expressions for phase and change of modulation depth of twofold radiation scattering in the undivergent bunch approach are obtained. It is shown that the background of twofold scattering can provide information about the parameters of scattering aerosol.