

М.В. Кабанов, Ю.В. Кистенев, Ю.Н. Пономарев

**ОСОБЕННОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ КОРОТКИХ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ
В РЕЗОНАНСНО ПОГЛОЩАЮЩЕЙ АТМОСФЕРЕ
ЧАСТЬ I. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ТРАССЫ**

Представлены результаты численных расчетов по прохождению коротких оптических импульсов различной формы в условиях резонансного поглощения на горизонтальных атмосферных трассах. Обсуждается зависимость временных и энергетических характеристик распространяющегося импульса от его начальных параметров и параметров среды.

Введение

В статье рассмотрены особенности деформации и ослабления коротких оптических импульсов различной формы в резонансно поглощающей газовой атмосфере при их распространении вдоль горизонтальных трасс, расположенных на высотах 0–15 км.

Анализ трансформации характеристик импульсов в процессе их распространения проводился с использованием системы уравнений Максвелла-Блоха в приближении малой площади импульса

$$\frac{\partial \varepsilon_k}{\partial \tau} = i \int_{-\infty}^{\infty} g(\Delta - \Delta') P_k(\Delta', \tau, \eta) d\Delta'; \tag{1a}$$

$$\mu \frac{\partial P_k}{\partial \eta} = -\gamma P_k + i\varepsilon_k, \tag{16}$$

где ε_k – комплексная амплитуда поля импульса; P_k – индуцированная оптической волной комплексная поляризация резонансно поглощающего газа; τ – оптическая толщина резонансной среды по отношению к монохроматическому излучению; $\eta = (e^{-z/c})/\tau_n$, $\mu = 1/(\gamma_L \cdot \tau_n)$, $\gamma = 1 - i\gamma/\gamma_L$, τ_n – длительность импульса; Δ – отстройка от резонанса; γ_L – столкновительная полуширина линии поглощения; g – функция распределения молекул по скоростям.

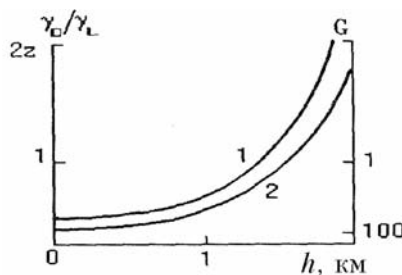


Рис. 1. Изменение параметров уширения линии резонансного поглощения в тропосфере в видимом (1) и ИК (2) диапазонах для водяного пара в условиях лета средних широт. γ_L, γ_D – столкновительная и доплеровская полуширины линии поглощения, $G = \ln 2 \cdot (\gamma_L/\gamma_D)^2$

Точное аналитическое решение (1) известно лишь для некоторых специальных форм импульса и линии поглощения [1, 2], поэтому исследование решения (1) проводилось численными методами. Вследствие «жесткости» уравнения (1 б) при $\mu < 1$ для расчета поляризации использовался метод экспоненциальной подгонки [3], уравнение (1 а) аппроксимировалось по схеме трапеций.

Оптический импульс моделировался плоской когерентной волной, огибающая которой на входе в среду имела вид

$$\varepsilon_k(0, \eta) = \begin{cases} [\sin(\pi\eta)]^q, & \eta \in [0, 1], \\ 0, & \eta > 1. \end{cases}$$

В зависимости от величины параметра q форма импульса менялась от квазипрямоугольной до квазигауссовой.

Изменение параметров линии поглощения с высотой учитывалось в соответствии с их зависимостью от температуры и давления среды [4] и стандартными моделями атмосферы (рис. 1).

Результаты расчетов

Расчеты показывают, что формула импульса искажается наиболее сильно при $\mu \sim 1$. Для типичного значения γ_L в приземном слое атмосферы $\sim 0,1 \text{ см}^{-1}$ [5] это соответствует $\tau_H \sim 3 \cdot 10^{-10}$ с, на высотах $\sim 10 \text{ км}$ $\mu \sim 1$ при $\tau_H \sim 10^{-9}$ с. В рассматриваемых условиях деформация импульса обусловлена эффектами инерционности отклика и частотной дисперсией среды [6], а вклад этих механизмов определяется условиями взаимодействия.

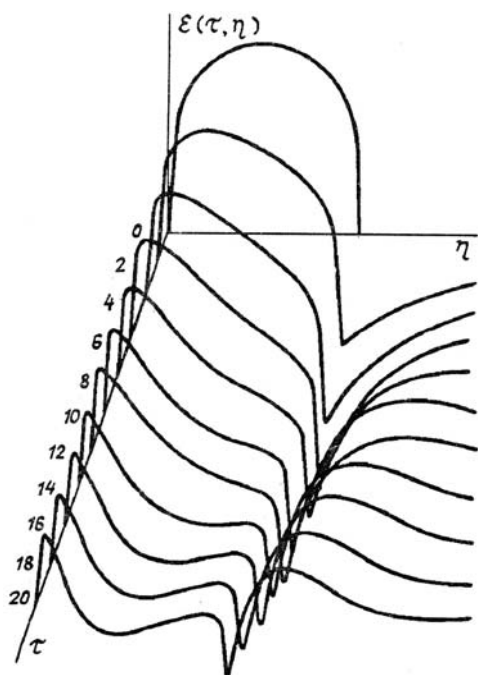


Рис. 2. Деформация оптического импульса в резонансно поглощающей атмосфере при $\Delta = 0$; $\mu = 1$; $G = 1$; $q = 4$; $\varepsilon = \text{Re}\varepsilon_k$

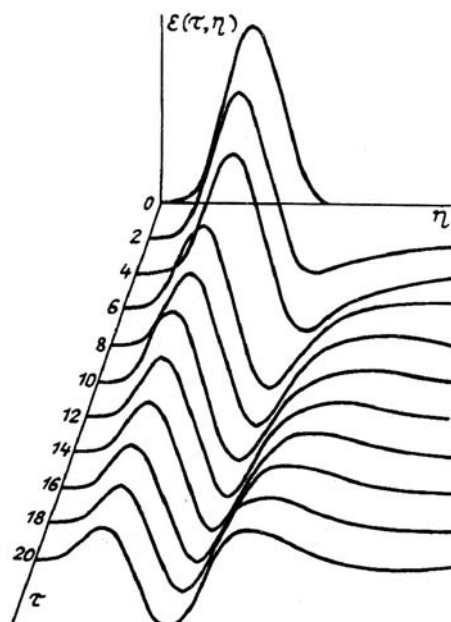


Рис. 3. Деформация оптического импульса в резонансно поглощающей атмосфере при $\Delta = 0$, $\mu = 1$, $G = 1$, $q = 0,25$, $\varepsilon = \text{Re}\varepsilon_k$

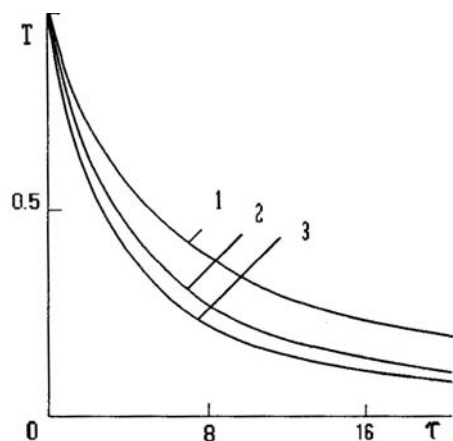


Рис. 4. Зависимость пропускания резонансно поглощающей атмосферы от формы импульса при $\Delta = 0$; $\mu = 1$; $G = 100$; $q = 4$ (1); $q = 1$ (2); $q = 0,25$ (3)

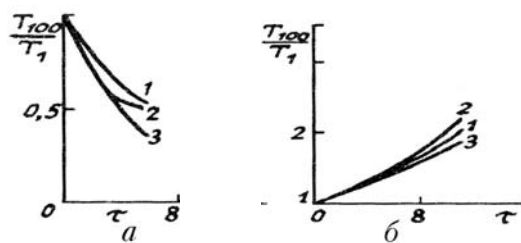


Рис. 5. Зависимость пропускания резонансно поглощающей атмосферы от высоты трассы при $\Delta = 0$ (a); $\Delta = 1/\gamma_L l$ (б); $\mu = 0,1$; $q = 4$ (1); $q = 1$ (2); $q = 0,25$ (3). Здесь $T_{100}/T_1 \equiv T(G=100)/T(G=1)$

При адиабатическом взаимодействии импульс сохраняет гладкую форму, а его максимум перемещается в среде с групповой скоростью (рис. 2). При неадиабатическом взаимодействии эффекты инерционности отклика приводят к существенной асимметрии формы импульса и быстрому смещению

его максимума к переднему фронту (рис. 3). Эти результаты хорошо согласуются с аналитическими решениями (1) для рассмотренных предельных случаев [2, 7].

На рис. 4 представлена зависимость пропускания резонансно поглощающей среды от формы импульса, из которой следует, что короткие импульсы гладкой формы поглощаются существенно слабее.

Что касается аналогичной зависимости от длительности импульса, то она тривиальна (см., например, [2]) и здесь не обсуждается.

Расчеты показывают, что пропускание тропосферы для коротких импульсов в линиях резонансного поглощения существенно меняется с высотой лишь при $\mu < 1$. При этом пропускание среды также определяется величиной отстройки от резонанса: в центре линии уменьшение величины γ_L/γ_D (где γ_D — доплеровская полуширина линии) приводит к возрастанию пропускания среды, на крыле линии — зависимость обратная (рис. 5).

1. Савельев В. Г. // Ученые записки Ереванского ун-та. Серия физ.-мат. наук. 1967. Т. 104. С. 133–140.
2. Crisp M. D. // Phys. Rev. 1970. V. A1. № 6. P. 1604–1611.
3. Дулан Э., Миллер Дж., Шильдерс Я. Равномерные численные методы решения задач с пограничным слоем. М.: Мир, 1983. 199 с.
4. Зуев В. Е., Кабанов М. В. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере (в условиях помех). М.: Сов. радио, 1977. 368 с.
5. Мицель А. А., Пономарев Ю. Н. Оптические модели молекулярной атмосферы. Новосибирск: Наука, 1988. 128 с.
6. Шуберт М., Вильгельми Б. Введение в нелинейную оптику. Ч. II. М.: Мир, 1979. 512 с.
7. Кистенев Ю. В., Пономарев Ю. Н. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 4. С. 64–70.

Сибирский физико-технический институт им. В. Д. Кузнецова,
Институт оптики атмосферы СО АН СССР, Томск

Поступила в редакцию
23 октября 1990 г.

M. V. Kabanov, Yu. V. Kistenев, Yu. N. Ponomarev. Peculiarities of the Short Optical Pulses Propagation in Resonantly Absorbing Atmosphere. 1. Horizontal Paths.

The paper presents some results of computation concerned with the propagation short optical pulses of different shapes along horizontal paths under conditions of resonance absorption. The paper includes discussion of the dependence of time and energy characteristics of the propagating pulses upon the initial conditions and medium parameters.