

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. Е. Зуев, М. В. Кабанов, Б. А. Савельев, Экспериментальное исследование границ применимости закона Бугера для описания ослабления узких коллимированных световых пучков в рассеивающих средах,
Докл. АН СССР, 1967, том 175, номер 2, 327–330

<https://www.mathnet.ru/dan33214>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.80

15 мая 2025 г., 21:33:00



В. Е. ЗУЕВ, М. В. КАБАНОВ, Б. А. САВЕЛЬЕВ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦ
ПРИМЕНИМОСТИ ЗАКОНА БУГЕРА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ОСЛАБЛЕНИЯ
УЗКИХ КОЛЛИМИРОВАННЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ
В РАССЕИВАЮЩИХ СРЕДАХ**

(Представлено академиком Б. А. Введенским 21 IX 1966)

1. Широкий круг задач, связанных с применением оптических квантовых генераторов (о.к.г.) в системах связи, передачи информации и других устройствах, требует знания закономерностей распространения узких коллимированных световых пучков в рассеивающих и поглощающих средах. Особое значение имеет исследование границ применимости закона Бугера к описанию ослабления таких пучков в рассеивающих средах. Выполнимость закона Бугера, как известно, является критерием применимости теории однократного рассеяния.

Существующий математический аппарат уравнений переноса и формулы теории однократного рассеяния не применимы к описанию ослабления интенсивности узкого коллимированного светового пучка в зависимости от оптической толщи среды ⁽¹⁾. Таким образом, только соответствующие экспериментальные исследования могут позволить установить границы применимости закона Бугера к описанию ослабления узких коллимированных пучков в рассеивающих средах.

2. Созданная для проведения исследований аппаратура включала в себя следующие основные элементы: 1) оптические квантовые генераторы с рабочими длинами волн 6328 Å (газовый лазер в режиме непрерывного излучения, диаметр пучка около 10 мм, угол расходимости 6') и 6943 Å (импульсный лазер на рубине, диаметр пучка 20—100 мм, угол расходимости 30''—40''); 2) коллимированные тепловые источники, снабженные узкополосными интерференционными фильтрами; 3) приемная система, состоящая из коллиматора и системы диафрагм, которые обеспечивали фотометрирование отдельных участков фокальной картины изображения источника и фона в направлении малых углов рассеяния.

Регистрация фокальной картины производилась фотографическим или фотоэлектрическим способом в зависимости от способа диафрагмирования фокальной картины. В последнем случае непосредственно измеряемой величиной являлся либо поток рассеянного излучения в диапазоне углов 8'—28' относительно первоначального направления луча, либо поток прямого излучения.

В направлении малых углов распространяется прямое излучение, несущее информацию об источнике радиации, и рассеянное излучение (в общем случае фон многократного рассеяния) ⁽¹⁾. При равенстве яркостей изображения источника и фона многократного рассеяния информация, которую несет прямое излучение, теряется. Очевидно, что о применимости закона Бугера к описанию ослабления интенсивности узкого коллимированного пучка в рассеивающей среде можно говорить тогда, когда яркость изображения источника во много раз превышает яркость фона.

Измерения проводились в камере объемом 30 м³, в которой можно было создавать рассеивающие среды, содержащие частицы разных размеров: древесные дымы (диаметр частиц 1—2 μ) и водные искусственные туманы

(среднеквадратичный диаметр капель 8—15 μ). Выбор рассеивающих сред был связан с желанием получить данные, пригодные для анализа закономерностей распространения узких коллимированных пучков в земной атмосфере. Яркости прямого и рассеянного излучения измерялись с помощью двух измерительных схем. В одном варианте источник излучения и приемная система располагались на одной прямой (схема прямого луча). Длина трассы луча при этом составляла 4 м. Во втором — световой луч от источника поворачивался плоским зеркалом и направлялся в приемное устрой-

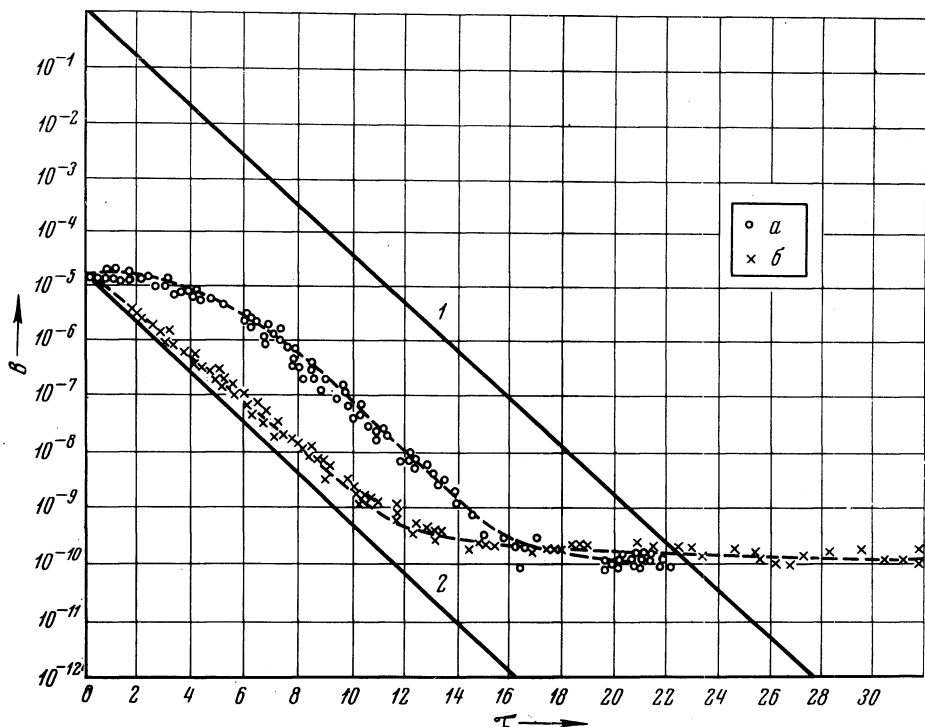


Рис. 1. Зависимость яркости суммарного фона от оптической толщины среды (*a* — туманы парения, *б* — древесные дымы)

ство, расположенное рядом с источником (схема отраженного луча). Длина трассы луча увеличивалась при этом до 8,3 м; угол поворота луча зеркалом ϕ мог меняться от $1^{\circ}30'$ до $8^{\circ}30'$.

Одновременное измерение яркости прямого излучения от лазера и теплового источника в рассеивающей среде позволяло исследовать специфику ослабления когерентного излучения по сравнению с некогерентным.

3. Результаты измерений в водных искусственных туманах и дымах, полученные по схеме отраженного луча с газовым лазером, представлены на рис. 1. Все измерения обработаны по отношению к начальной яркости источника $B = 1$. Прямая 1 характеризует ослабление яркости прямого излучения или яркости источника по закону Бугера.

Как видно из рис. 1, при оптической толщине $\tau = 0$ яркость фона не равна нулю. Можно считать, что ослабление начального фона источника описывается законом Бугера (прямая 2). Для нахождения яркости фона только за счет рассеяния света из измеряемой суммарной яркости фона необходимо вычесть яркость начального фона источника. Вклад последнего в суммарный фон оказывается существенным для туманов при $\tau < 4$ и для дымов при $\tau < 14$. С учетом сделанных замечаний можно констатировать, что яркость фона становится равной яркости прямого излучения при значении оптической толщины $\tau \cong 22-24$ и для туманов, и для дымов — сред, сильно отличающихся по размерам рассеивающих частиц. В диапазоне оптических толщ примерно от 2 до 13 яркость фона в туманах примерно на $1-1\frac{1}{2}$ по-

рядка больше, чем в дымах. Начиная с некоторого значения оптической толщи в дымах и туманах в ходе кривых яркости фона наступает изгиб. При этом в дымах он наступает при меньшем значении τ , чем в туманах. При значении оптических толщ больше 20 кривые яркости фона и для дымов и для туманов практически совпадают и не зависят от величины τ .

Представленные на рис. 1 результаты измерений яркости фона в туманах и дымах получены по схеме отраженного луча. Это значит, что при измерениях регистрировался не только фон за счет рассеяния под малыми углами вперед, но и фон, вызванный рассеянием под малыми углами назад при распространении луча от источника до поворотного зеркала. Интересно было получить значения яркостей обеих составляющих фона. С этой целью

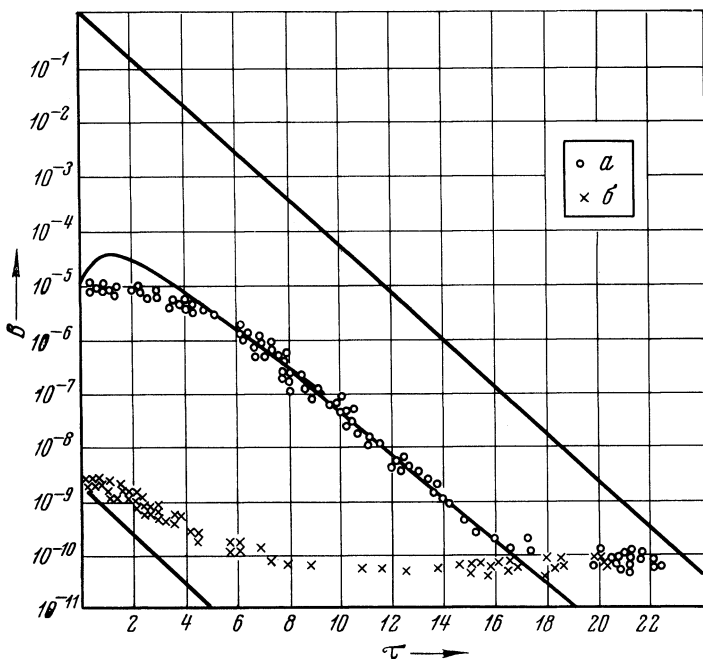


Рис. 2. Зависимость яркости суммарного фона (а) и фона, рассеянного назад (угол поворота луча зеркалом $\varphi = 8,30'$) (б) от оптической толщи среды. Сплошная кривая — яркость фона, рассчитанная по формуле теории однократного рассеяния ⁽³⁾

поворотное зеркало закрывалось и проводились измерения яркости фона только за счет рассеяния назад. Результаты таких измерений с газовым лазером в туманах изображены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что яркость фона, вызванного рассеянным назад светом, меняется в зависимости от величины τ в туманах существенно меньше, чем яркость фона за счет рассеяния света под малыми углами вперед. Абсолютные значения этих яркостей сильно отличаются в диапазоне оптических толщ 0—14. При этом яркость фона от рассеянного вперед излучения больше. При больших оптических толщах, наоборот, суммарная яркость фона обусловлена светом, рассеянным назад. Это значит, что при измерениях по схеме прямого луча в туманах и дымах следует ожидать исчезновения контраста между изображением источника и фоном при значениях τ , больших 22—24. Проведенные измерения яркостей изображения источника и фона по схеме прямого луча в туманах и дымах полностью подтвердили это утверждение. Оказалось, что вплоть до предельного значения оптической толщи $\tau = 22$ (это значение обусловлено пределом чувствительности приемной аппаратуры) яркость изображения источника была существенно больше яркости фона.

Это значит, что при распространении через туманы или облака узкого коллимированного пучка света с расходимостью меньше $6'$ и при использовании приемников с апертурой $\Psi \leq 28'$ затухание сигналов, регистрируемых приемной системой, с большой точностью будет описываться законом Бугера по крайней мере до значения оптической толщи $\tau \cong 22$. Этот вывод уточняет и конкретизирует оценки границ применимости закона Бугера, сделанные в работе Г. В. Розенберга ⁽²⁾.

Интересно отметить, что ход зависимости, определенной на опыте яркости фона от оптической толщи τ , хорошо описывается кривой (см. сплошную кривую на рис. 2), полученной из расчетов по теории однократного рассеяния ⁽³⁾, вплоть до значений τ , при которых суммарный фон рассеяния определяется главным образом при рассеянии назад. В связи с отсутствием метода расчета абсолютных значений яркости однократно рассеянного света при распространении узких коллимированных пучков в рассеивающих средах сравнение экспериментальных данных яркостей фона с расчетными проведено на рис. 2 в относительных единицах.

Сибирский физико-технический институт
им. В. Д. Кузнецова
при Томском государственном университете

Поступило
17 IX 1966

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. В. Соболев, Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет, М., 1956. ² Г. В. Розенберг, ДАН, 145, № 6, 1269 (1962). ³ А. А. Гершун, Изб. тр. по фотометрии и светотехнике, М., 1958.