

## ОПТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В КАПЛЯХ НИТРОМЕТАНА

Н. Н. Белов, Н. Г. Белова\*

АТЕСН КФТ, Будапешт, Венгрия, Nick.Belov@usa.net

\*Аэрозоль Технология, 119285 Москва, BelovaN@usa.net

Знание распределения интенсивностей внутренних оптических полей в нитрометане необходимо для определения тепловыделения в частице под действием излучения. Оптическое поле в объеме капли становится весьма неоднородным при увеличении радиуса капли или уменьшении длины волны падающего излучения. В работе по теории Ми рассчитаны внутренние оптические поля в каплях нитрометана на длине волны  $\text{CO}_2$ -лазера. Показано, что оптические поля в объеме капель нитрометана на длинах волн химического лазера (2,9 мкм) и  $\text{CO}_2$ -лазера (10,6 мкм) совпадают между собой, если размеры капель не превышают 10 мкм.

Ключевые слова: капли, взрыв, оптика, горючее, теория Ми,  $\text{CO}_2$ -лазер.

Взаимодействие излучения  $\text{CO}_2$ -лазера с каплями нитрометана используют для моделирования химического превращения нитрометана на начальных стадиях инициирования теплового взрыва капель нитрометана при экстремально высоких температурах. Моделирование взрывного разогрева объема капли в предположении однородности радиационного тепловыделения в ней проведено в работе [1] в вакуумной камере двухлучевого лазерного масс-спектрометра (ИК- и УФ-диапазоны) при исследовании процесса с единичной каплей.

В то же время известно, что лазерное излучение фокусируется в малых каплях жидкостей [2]. Поэтому необходимо учитывать влияние оптических неоднородностей на тепловыделение в этих частицах при воздействии на них лазерного излучения [2]. Впервые оптические поля в каплях нитрометана для длины волны НФ-лазера 2,9 мкм рассчитаны в [3]. В настоящей работе показано, что результаты расчета оптических полей в каплях нитрометана, выполненные для длин волн химического лазера, могут быть использованы для анализа взрыва капель нитрометана при инициировании взрыва излучением  $\text{CO}_2$ -лазера.

На распределение оптического поля внутри капель влияют радиус капли, длина волны падающего излучения, значения действительной и мнимой частей комплексного показателя преломления. Заметим, что показатель преломления нитрометана сильно зависит от длины волны. Поскольку расчеты по теории Ми внутренних полей в частице для каждой конкретной совокупности параметров частицы и излучения трудоемки, данные об оптических полях

в частицах весьма фрагментарны. В настоящей работе дано сравнение результатов расчетов оптических полей в каплях нитрометана для разных длин волн и размеров частиц и предложены простые критерии, позволяющие переносить результаты, полученные в одном спектральном диапазоне, на другой диапазон.

В работе [3] показано, что интенсивности и распределение оптических полей в каплях нитрометана, полученные для одной длины волны, могут быть перенесены на другие длины волн, если выполняются следующие критерии подобия:

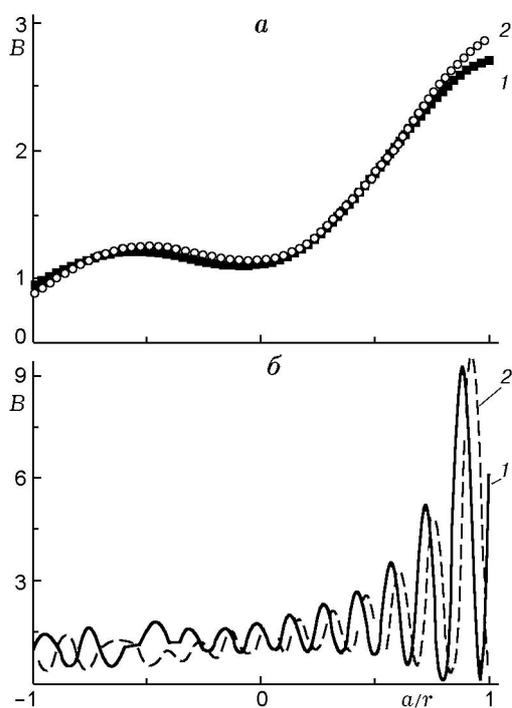
$$n_{p,1}(\lambda_{a,1}) \approx n_{p,2}(\lambda_{a,2}), \quad (1)$$

$$\rho_1 \approx \rho_2, \quad (2)$$

$$\varkappa_{p,1} a_{p,1} \approx \varkappa_{p,2} a_{p,2}, \quad (3)$$

где  $n_p$  — действительная часть показателя преломления вещества частицы, индексы 1 и 2 относятся к разным частицам,  $\lambda_a$  — длина волны падающего излучения,  $\rho = 2\pi a_p / \lambda_a$  — параметр дифракции частицы,  $a_p$  — радиус частицы,  $\varkappa_p$  — мнимая часть показателя преломления частицы. Возможность введения критериев подобия оптических полей нашла свое подтверждение в работе [4].

Однако, если критерии подобия (1), (2) легко удовлетворяются, то критерий (3) выполняется редко, поскольку мнимая часть показателя преломления нитрометана изменяется на несколько порядков величины при переходе от одной длины волны к другой.



Распределение относительной интенсивности оптического поля по главному диаметру частицы нитрометана (направление падения излучения слева) для  $\rho = 2,17$  (а) и  $5,92$  (б) на длинах волн  $2,9$  мкм (кривые 1) и  $10,6$  мкм (кривые 2)

В настоящей работе проведено сравнение оптических полей в каплях нитрометана на длинах волн  $2,9$  и  $10,6$  мкм, рассчитанное по теории Ми по алгоритмам работы [2]. На этих длинах волн комплексные показатели преломления нитрометана равны соответственно  $1,358 - i2,4 \cdot 10^{-4}$  и  $1,4 - i2,76 \cdot 10^{-3}$  [5], т. е. действительные части показателей преломления близки, а мнимые части отличаются почти на порядок величины. В то же время капли нитрометана можно считать слабопоглощающими на длинах волн  $2,9$  и  $10,6$  мкм, так как мнимые части показателя преломления (показатели поглощения) много меньше единицы.

На рисунке представлено сопоставление выполненных в [3] расчетов относительных (по отношению к падающему излучению) интенсивностей оптического поля  $V$  вдоль главного диаметра частицы нитрометана (в направлении падающего луча) для лазерного излучения с длиной волны  $\lambda_a = 2,9$  мкм с данными для  $\lambda_a = 10,6$  мкм, полученными в настоящей работе. Видно, что при  $\rho = 2,17$  распределения оп-

тического поля по главному диаметру частицы совпадают для длин волн  $2,9$  и  $10,6$  мкм с погрешностью менее  $4\%$ . С ростом параметра дифракции ( $\rho = 5,92$ ) увеличивается количество резонансов оптического поля в частице и растет неоднородность поля. Особенно сильно интенсивность внутреннего поля увеличивается на теневой полусфере. В результате лазерное излучение, падающее на крупные капли нитрометана, приводит к инициированию взрыва.

Из рисунка видно, что структуры оптических полей и значения интенсивностей света в каплях нитрометана на разных длинах волн весьма близки друг к другу, если рассматриваются капли такого радиуса, что для них значения  $\rho$  остаются одинаковыми. Важно отметить совпадение интенсивностей оптического поля в главных максимумах распределений для столь отличающихся длин волн.

Эти расчеты показывают, что для слабопоглощающих частиц и малых значений  $\rho$  изменение показателя поглощения на несколько порядков не влияет на интенсивность оптического поля, если

$$\rho \alpha_p \ll 1, \quad (4)$$

т. е. вместо жесткого критерия (3) для таких частиц можно предложить более общий критерий (4), который существенно расширяет область применения подобия.

Таким образом, если известно распределение оптического поля на некоторой длине волны в некоторой слабопоглощающей частице, то это распределение можно использовать в качестве точного распределения оптического поля на другой длине волны в слабопоглощающей частице из другого материала и другого радиуса, если для них значения  $n$  и  $\rho$  близки, а показатель поглощения такой, что выполняется условие (4).

Важно отметить, что для нитрометана действительная часть показателя преломления мало изменяется с длиной волны. Например, для капель нитрометана оптические поля одинаковы на длинах волн  $2,9$  и  $10,6$  мкм, если радиусы капель нитрометана не превышают  $10$  мкм. В то же время аппаратура для ввода капель нитрометана в вакуум способна формировать узконаправленный пучок капель, если радиус капель не превосходит  $6 \div 10$  мкм [1].

Таким образом, в данной работе показано, что в диапазоне применимости техники формирования пучка капель, острофокусированного

в вакууме, параметры оптического поля в объеме капель нитрометана на длинах волн 2,9 и 10,6 мкм определяются только параметром дифракции капель и данные, полученные для одной длины волны, могут быть перенесены на другие длины волн без дополнительного пересчета с учетом того, что все характеристики оптического поля в каплях нитрометана определяются только параметром дифракции капели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Zelenyuk A., Cabalo J., Baer T. et al.** Mass spectrometry of liquid aniline aerosol particles by IR/UV laser irradiation // *Anal. Chem.* 1999. V. 71. P. 1802–1808.
2. **Белов Н. Н.** Структура оптического поля внутри сфер и тепловой взрыв частиц // *Физика горения и взрыва.* 1987. Т. 24, № 4. С. 44–48.
3. **Белов Н. Н.** Подобие оптических полей в слабопоглощающих частицах // *Оптика и спектроскопия.* 1988. Т. 64, № 6. С. 1370–1373.
4. **Бабенко В. А., Пришивалко А. П.** Критерий подобия оптических полей внутри слабопоглощающих сферических частиц аэрозолей // *Оптика и спектроскопия.* 1997. Т. 83, № 3. С. 398–402.
5. **Золотарев В. М., Морозов В. Н., Смирнов Е. В.** Оптические постоянные природных и технических сред: Справочник. Л.: Химия, 1984.

*Поступила в редакцию 25/IV 2001 г.*