

ЛИТЕРАТУРА

1. Москаленко С. А.— ФТТ, 1962, т. 4, с. 276; ЖЭТФ, 1963, т. 45, с. 1159.
2. Blatt J. V., Voigt K. N., Braut W.— Phys. Rev., 1962, v. 126, p. 1691.
3. Келдыш Л. В., Козлов Л. И.— Письма ЖЭТФ, 1967, т. 5, с. 288.
4. Келдыш Л. В. Экситоны в полупроводниках.— М.: Наука, 1971, с. 5.
5. Nosanow L. N. Quantum Fluids and Solids.— N.Y.: Plenum Press, 1977.
6. Rokrovskii Ya. E.— Phys. Stat. Sol., ser. a, 1972, v. 11, p. 385.
7. Кукушкин И. В., Кулаковский В. Д., Тимофеев В. Б.— Письма ЖЭТФ, 1980, т. 32, с. 304.
8. Кулаковский В. Д., Кукушкин И. В., Тимофеев В. Б.— ЖЭТФ, 1981, т. 81, с. 684.
9. Кукушкин И. В., Кулаковский В. Д., ЖЭТФ, 1982, т. 82, с. 900.
10. Кукушкин И. В., Кулаковский В. Д., Тимофеев В. Б.— Письма ЖЭТФ, 1981, т. 34, с. 36.
11. Кукушкин И. В., Кулаковский В. Д., Тимофеев В. Б.— Ibid., 1982, т. 35, с. 367.

535.3(048)

Г. А. Аскарьян. Возможности усиления прохождения света и других видов излучения через мягкие мутные физические и биологические среды. Задача о рассеянии излучения в мутных средах получила новое звучание в связи с обнаружением биостимулирующего действия низкоинтенсивного лазерного и узкополосного излучения. В частности, было обнаружено¹⁻³, что излучение гелий-неонового лазера с длиной волны

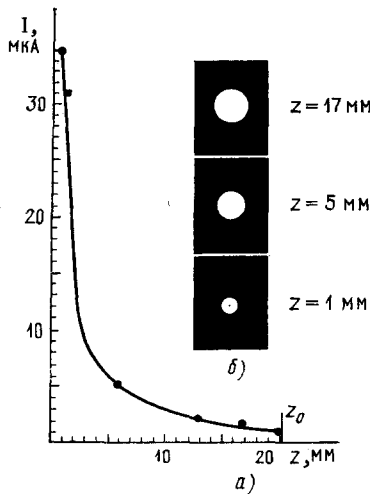


Рис. 1. Увеличение интенсивности света при сжатии слоя поролона.

а) Зависимость интенсивности I в центре пятна от толщины z сжимаемой среды; б) фото пятна рассеянного света при сжатии поролона между стеклом и плексигласовым цилиндром диаметром 10 мм. Размер нижнего малого пятна 15 мм, экспозиция 1/500 с.

$\lambda \approx 0,63$ мкм и мощностью, не превышающей 10 мВт, способно вызывать и ускорять заживление трофических язв, незаживающих ран, язв желудка и т. д. Однако малая глубина ослабления такого излучения в тканях ($z_s \approx 1-2$ мм) позволяет эффективно применять такое воздействие лишь при наружном или внутриполостном облучении на малых глубинах.

При оценках проникания не была учтена существенная характеристика таких сред — мягкость, податливость давлению. Возможностям увеличения проникания света через мягкие мутные физические и биологические среды посвящена данная работа (см. подробнее⁴).

В качестве модели физической мягкой мутной среды сначала был выбран поролон. Было исследовано прохождение излучения гелий-неонового лазера ЛГ-75 с мощностью 10—15 мВт через слой поролона с начальной толщиной $z_0 \approx 25$ мм при его сжатии между пластиной стекла и цилиндром из плексигласа, по которому проходил лазерный луч. При сжатии было观察到 уменьшение пятна рассеянного света и увеличение интенсивности. Это улучшение прохождения было измерено с помощью ФЭУ, на фотокатод которого свет из центра пятна попадал через отверстие в торце кожуха ФЭУ или по световоду. На рис. 1, а показано увеличение интенсивности I

в центре пятна в зависимости от толщины z сжатого слоя и на рис. 1, б — уменьшение размеров пятна при сжатии (экспозиция 1/500 с). Было зарегистрировано усиление яркости в 30—40 раз при сжатии слоя поролона на порадок. Зависимость в виде $I \sim z^{-\alpha}$ давала $\alpha \approx 1,2$.

Было оценено увеличение интенсивности при сжатии слоя для разных моделей: многократного рассеяния для малых углов ($\theta_s^2 \approx z/z_s$, $z_s \sim 1/n\sigma_s$, где n — концентрация центров рассеяния. При $nz \approx \text{const}$ площадь пятна $s \approx (z\theta_s)^2 \sim z^2$, т. е. $\alpha \approx 2$) для сильно диффузионного растекания и др. Показатель α в разных вариантах мог меняться от 1 до 2. Характерно, что для существенного увеличения интенсивности в физических средах требуется сильное сжатие, которое вряд ли применимо для биологических тканей.

Однако исследование биологических тканей (ладонь руки, мягкие ткани) показало гораздо более сильный эффект — даже при слабо болевом давлении, уменьшающем толщину ладони в центре от 2,5 см до 2 см было наблюдено усиление интенсивности в 30—50 раз. На рис. 2 даны фотографии просветления ладони при надавливании стеклянной палочкой на ладонь (луч — на наружную часть ладони) — рис. 2, а и при прижатии ладони к световоду — рис. 2, в (экспозиция фотографий 30 с). Было обнаружено, что просветление длится 2—3 с после устранения надавливания. По-видимому, причиной такого сильного просветления является гетерогенность тканей — вытеснение тканей и крови из ткани в области надавливания. Это вытеснение — неоднородное по объему — аналогично причине побеления ладоней, носа, щек при прижатии к стеклу. Возможны режимы модуляции надавливания для осуществления чередования просветления и нормального функционирования тканей.

Просветление при надавливании позволяет увеличить интенсивность облучения на глубине и обеспечить необходимые дозы для лечебного воздействия в глубине тела.

Возможен более радикальный эффективный путь проведения излучения вглубь — использование «светового» шприца, проводящего свет по каналу в игле путем отражения от стенок канала или от стенок центральной жилы вставленного в иглу куска световода. Инъекция жидкости поможет отодвинуть ткань от среза конца иглы, что даст возможность свету разойтись и предотвратить контакт концентрированного света с тканью.

Очевидно, что все изложенное может быть применено не только для лазерного, но и для любого светового излучения, однако транспортировка через иглы эффективнее для лазерных пучков ввиду их хорошей фокусируемости. Следует указать, что аналогичные способы могут быть применены и к ионизирующим излучениям (заряженным частицам, пучкам), к квантам ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-диапазона, а также к радиоизлучению, так как используемые способы не только уменьшают пятно рассеяния, но и уменьшают поглощение из-за вытеснения части вещества на пути излучения.

Описанные выше явления могут быть использованы для глубинного лечения внутренних болезней (например, нейротрофических болезней спинного мозга) в тех случаях, когда желательно увеличить сопротивляемость и активность клеток, для митогенетического и бактерицидного воздействия, особенно в случаях, когда участок облучения известен по симитомам заболевания или методам диагностики.

Результаты могут быть использованы для интроскопии и оптики сильно рассеивающих сред. Отметим, что возможны различные механизмы просветления сред при сжатии, связанные, например, не только с уменьшением пути излучения, но и с сильным сближением рассеивающих центров (когда их становится много на длине волны и среда становится как бы однородной с усредненной диэлектрической постоянной), а также с изменением индикатрисы рассеяния при изменении формы и ориентации рассеивающих центров. Все эти процессы различны в разных участках спектра и их предстоит исследовать.

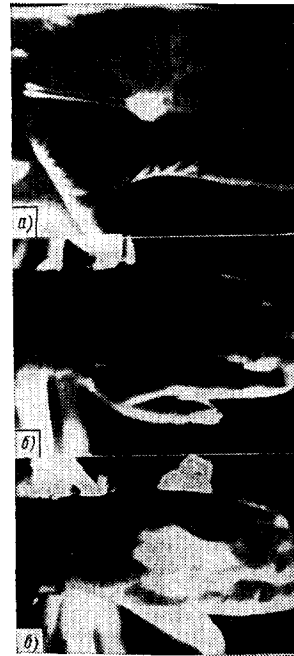


Рис. 2. Прохождение света при давлении на ладонь. а) Прохождение света при надавливании стеклянной палочкой (свет лазера — с наружной стороны ладони); б) ладонь без надавливания (свет лазера со стороны мягкой части ладони); в) то же, но ладонь прижата к плексигласовому цилиндру — световоду. Экспозиция 30 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронная промышленность, 1979, № 8—9: В ы ж е л е в с к и й В. П. и др. Маломощные ОКГ для лечения трофических язв, долго не заживающих ран, костных переломов (с. 72); Б о я р с к и й Г. В. и др. Механизм биоэффекта лазерного излучения (с. 77); К о с а р е в И. И. и др. Применение низкоинтенсивного красного лазера в хирургии и другие статьи в этом номере.
2. Электронная промышленность, 1981, № 5—6: Г у щ а А. П. и др. Применение лазерного излучения для стимуляции процессов регенерации ... (с. 150), и другие статьи в этом номере.
3. Lasers in Photomedicine and Photobiology/Editors R. Pratesi, C. A. Sacchi.— Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1980.— (Optic Sciences. V. 22).
4. А с к а р ь я н Г. А. О прохождении светового и лазерного излучения через мутные физические и биологические среды. Возможность усиления проникания через мягкие среды! Препринт ФИАН СССР № 55.— Москва, март 1982; Квант. электрон., 1982, т. 9, с. 1379.