

**Отрицательное преломление световых пучков
в переходном слое шаровой неоднородности,
сформированной в растворе тимолового синего в
изопропаноле под действием сфокусированного
лазерного пучка**

Веселаго В.Г. Электродинамика веществ с
одновременно отрицательными значениями ϵ и μ //
УФН. – 1967. – Т. 92, № 7. – С. 517–526.

Плоские электромагнитные волны

$$\tilde{\mathbf{E}} = \mathbf{E} \exp[i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})]$$

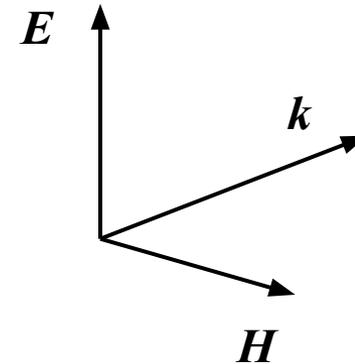
$$\tilde{\mathbf{H}} = \mathbf{H} \exp[i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})]$$



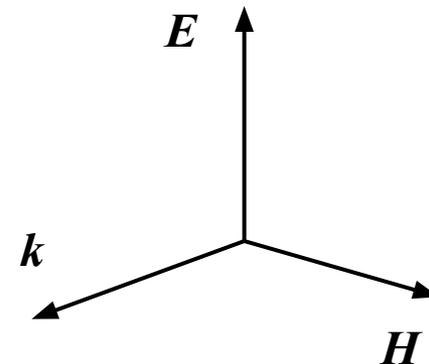
Уравнения Максвелла

$$\begin{cases} \nabla \times \tilde{\mathbf{E}} = -\mu\mu_0 \frac{\partial \tilde{\mathbf{H}}}{\partial t} \\ \nabla \times \tilde{\mathbf{H}} = \epsilon\epsilon_0 \frac{\partial \tilde{\mathbf{E}}}{\partial t} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{k} \times \mathbf{E} = \mu\mu_0 \omega \mathbf{H} \\ \mathbf{k} \times \mathbf{H} = -\epsilon\epsilon_0 \omega \mathbf{E} \end{cases}$$

Правая среда: $\epsilon > 0$ и $\mu > 0$



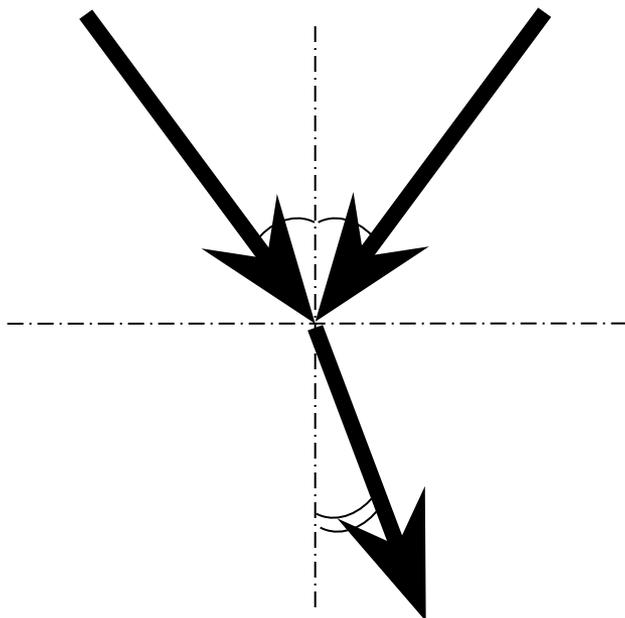
Левая среда: $\epsilon < 0$ и $\mu < 0$



Преломление лучей на границе сред

«правая-правая»

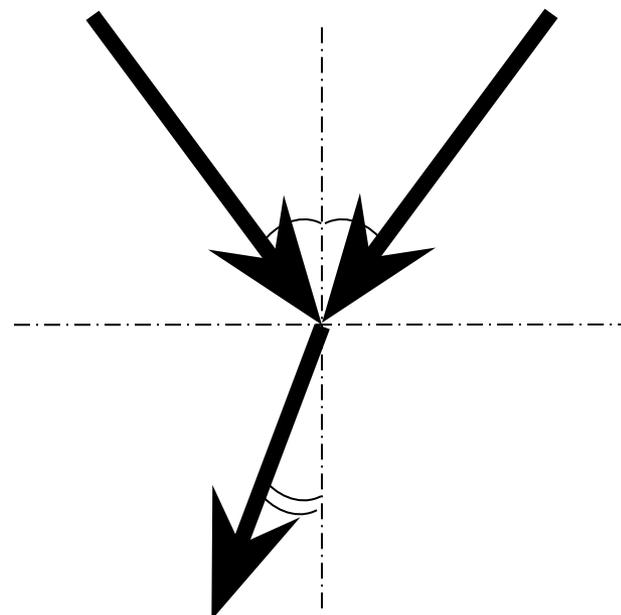
$\epsilon_1 > 0$ и $\mu_1 > 0$



$\epsilon_2 > 0$ и $\mu_2 > 0$

«правая-левая»

$\epsilon_1 > 0$ и $\mu_1 > 0$

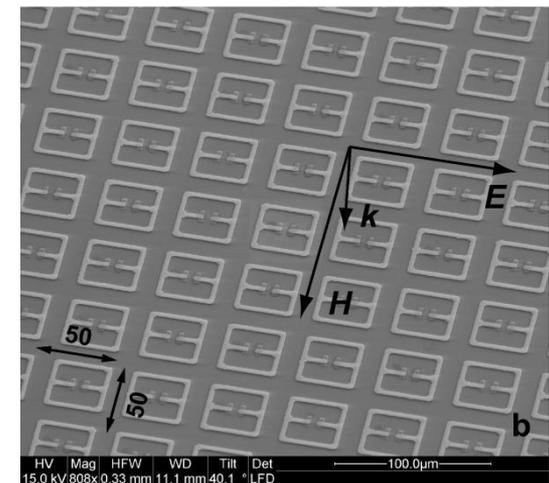
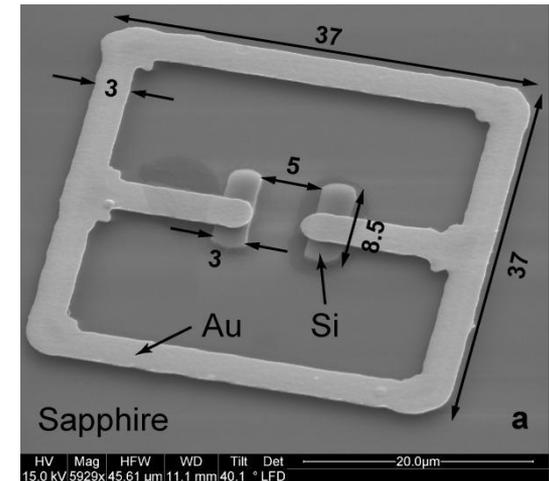
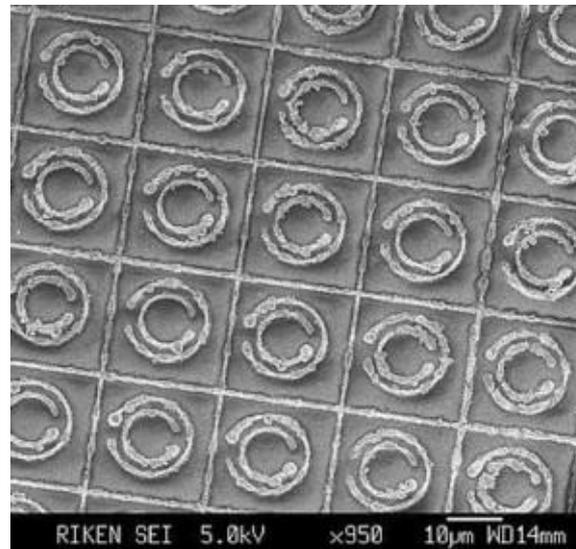
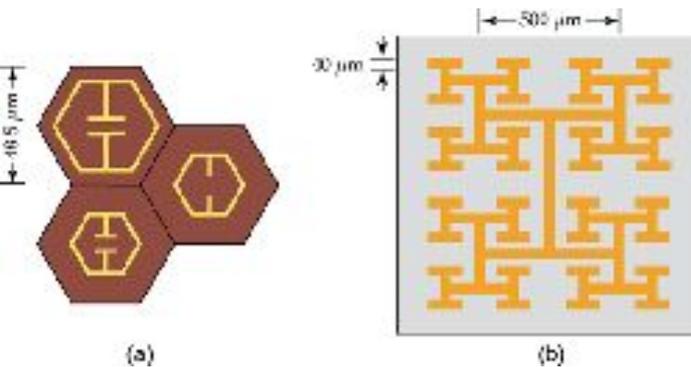


$\epsilon_2 < 0$ и $\mu_2 < 0$

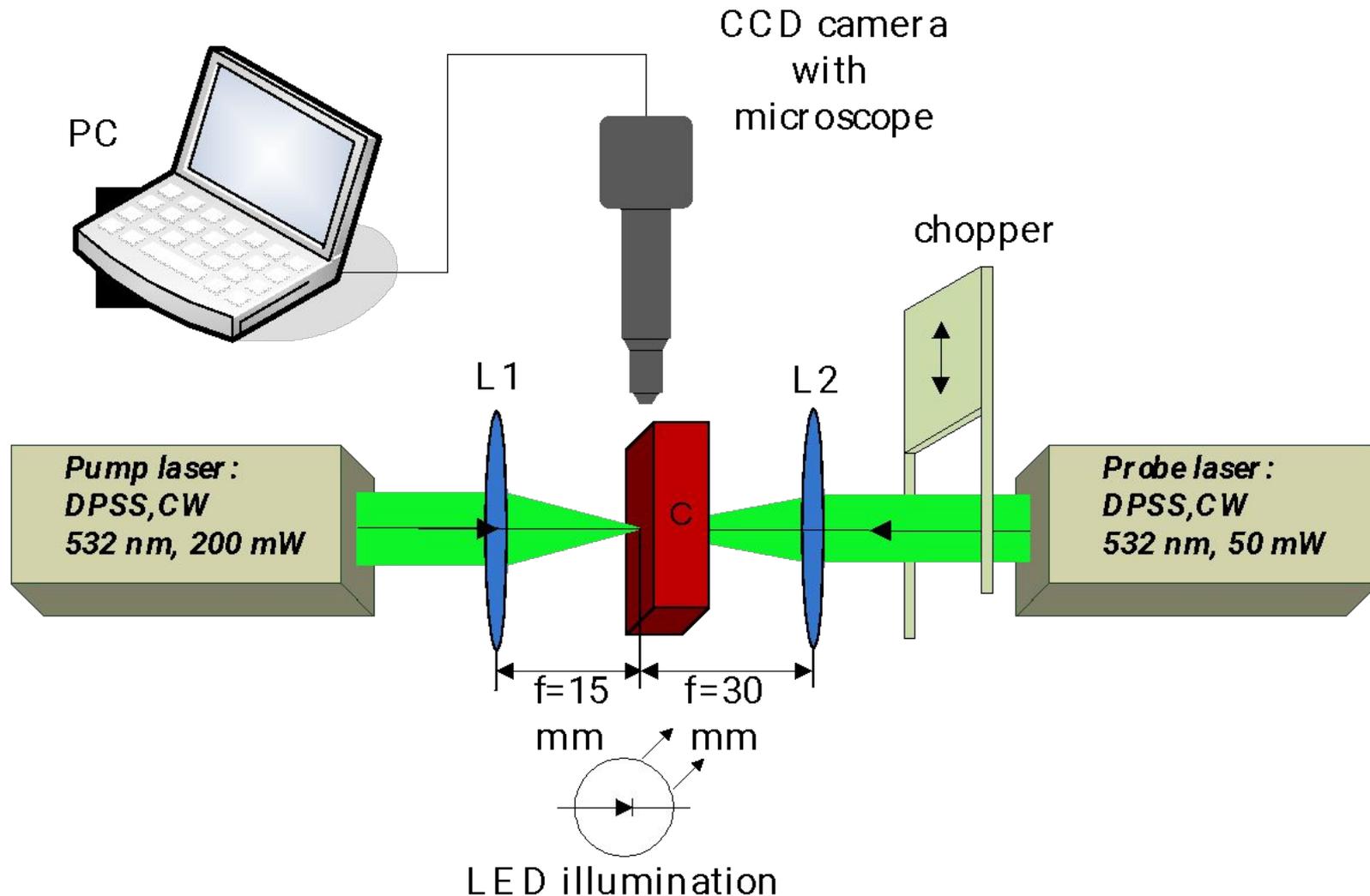
Materials with negative ϵ and μ

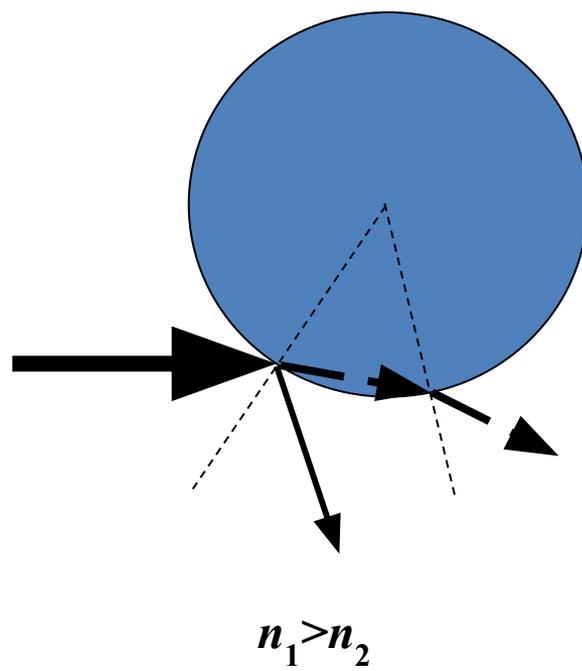
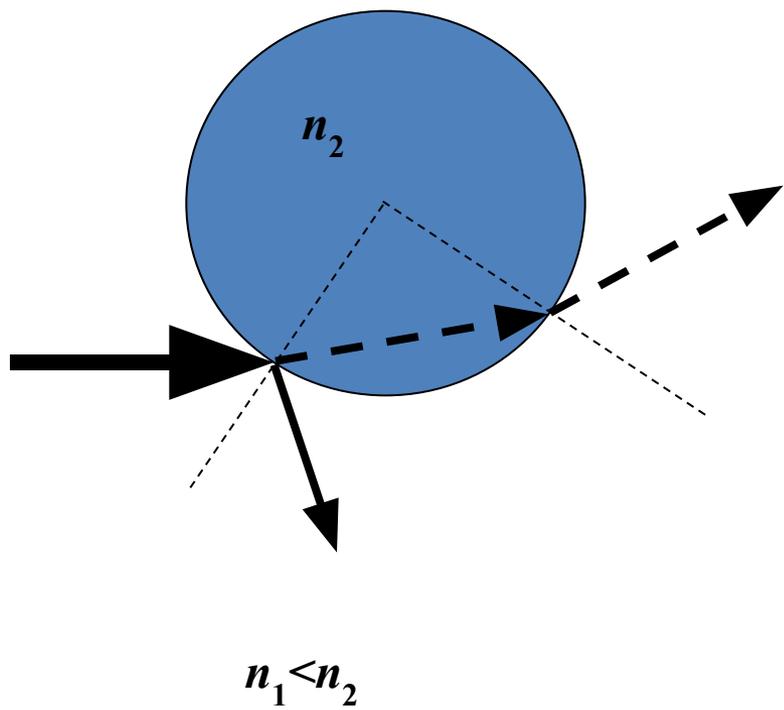
Where does it take place?

- Artificial structured materials or metamaterials (Pendry et al)
- Ferromagnetics (Pimenov et al)



Experimental setup





Dynamics of Laser-Induced Bubble and Free-Surface Oscillations in an Absorbing Liquid

V. Yu. Bazhenov, M. V. Vasnetsov, M. S. Soskin, and V. B. Taranenko

Institute of Physics, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, SU-252650 Kiev, USSR

Appl. Phys. B 49, 485–489 (1989)

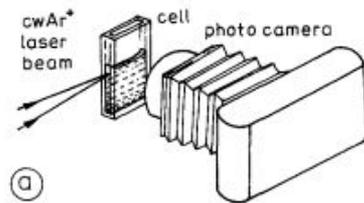


Fig. 4a, b. Experimental scheme for observing and recording motion of the liquid in laser-heated zone **a** and stream formation in the liquid towards free surface **b**

iodine solution in ethanol

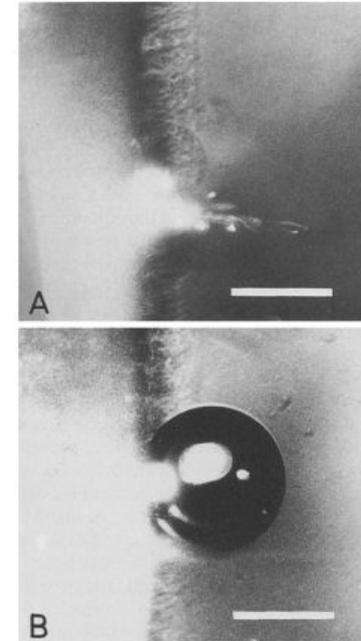


Fig. 5. **a** Cavitation in overheated liquid with microbubble generation, **b** laser-trapped bubble near the wall of the cell (left side – the wall, right side – liquid). The bars on the photographs denote 100 μm

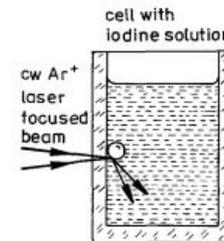
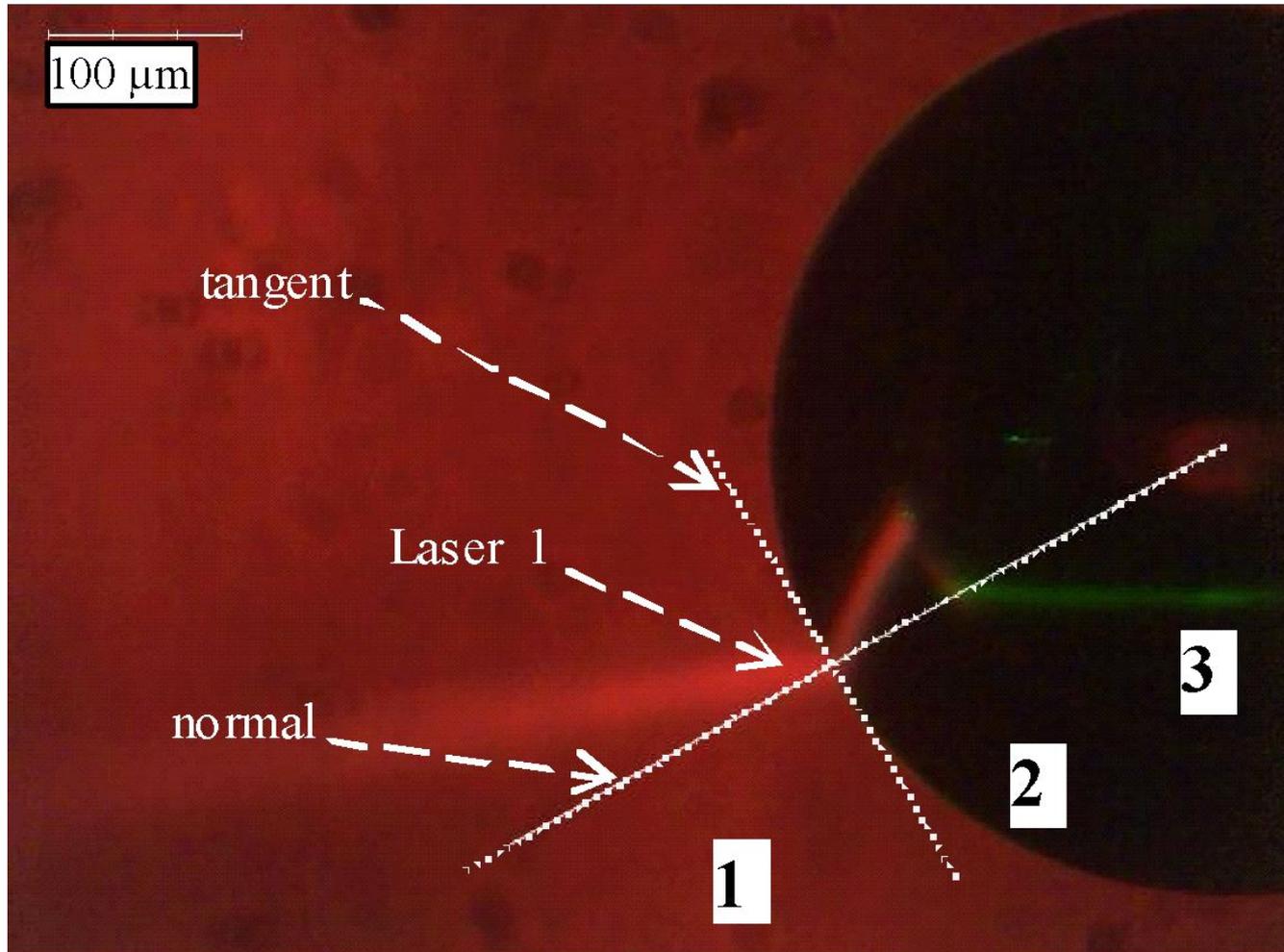
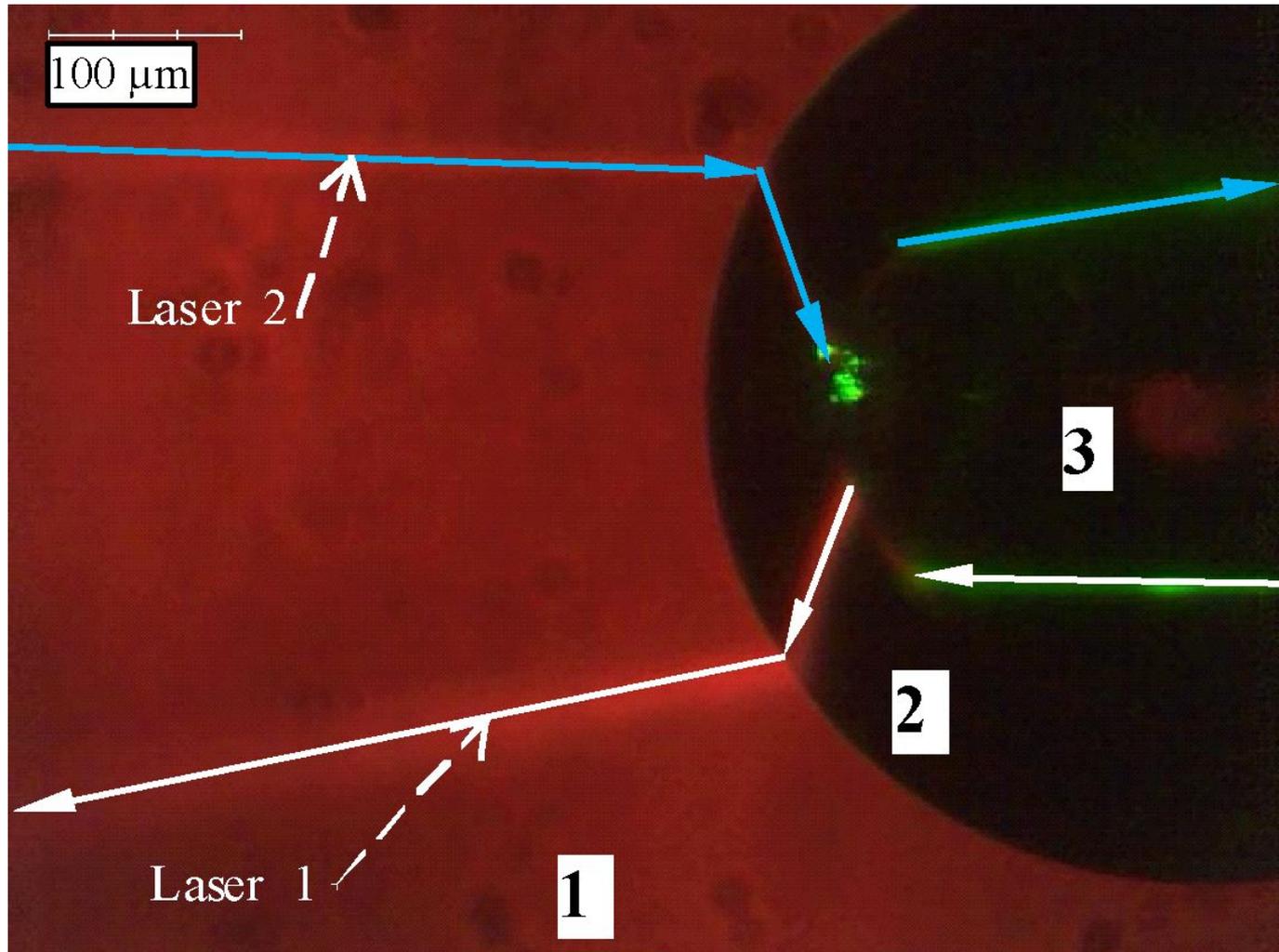


Fig. 6. Total internal reflection of the laser beam from a trapped bubble

Negative refraction and beams shift



Negative refraction and beams shift



Parameters of transitional layer LHM and inner core

$$\frac{n_{inc}}{n_{ref}} = \frac{\sin(\alpha_{ref})}{\sin(\alpha_{inc})}$$

Transitional layer

$$n_{21} \approx 0.6 \quad n_{21} \approx 0.9$$

$$n_1 = 1.33 \quad 0.8 < n_2 < 1.2.$$

Inner core

$$n_{32} \approx 1.7 \quad n_{32} \approx 1.2$$

$$n_3 \approx 1.4$$

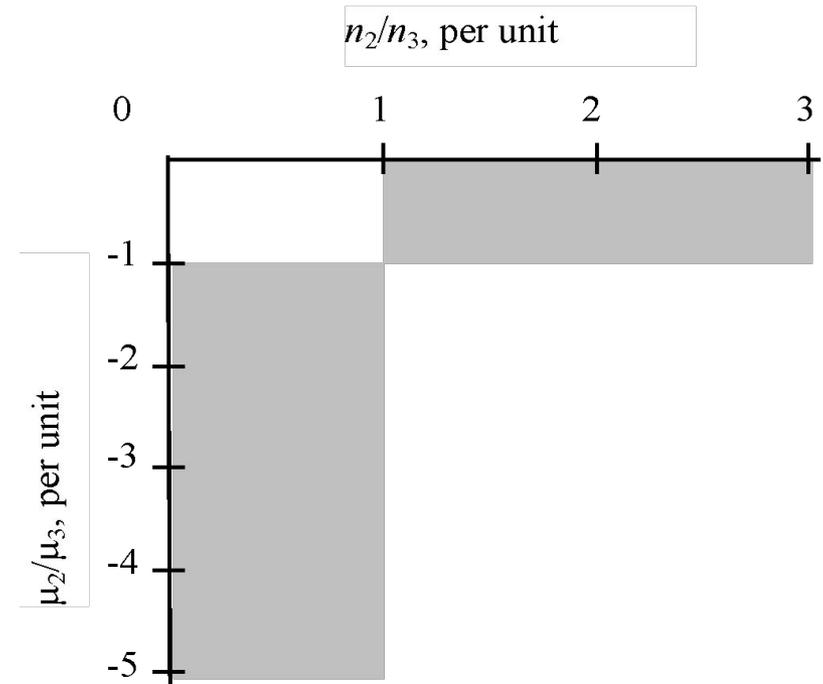
Existence of the surface waves at the interface of the media 2 and 3

$p(s)$ -тип ПЭВ, характеризуется параллельной границе ориентацией вектора магнитной (электрической) напряженности и может существовать на границе сред, которые имеют диэлектрическую (магнитную) проницаемость противоположных знаков

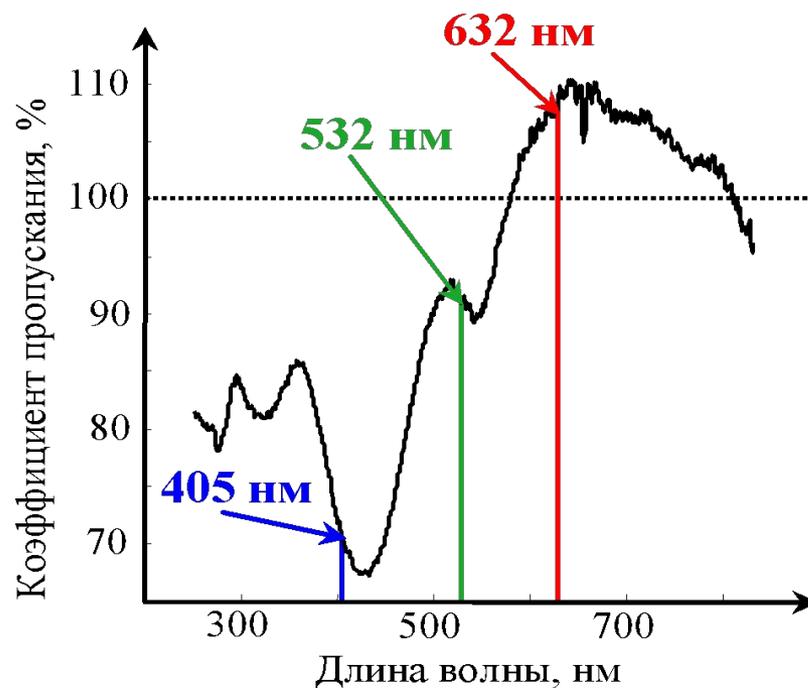
$$\beta = k \sqrt{\frac{\mu_2^2 n_3^2 - \mu_3^2 n_2^2}{\mu_2^2 - \mu_3^2}} \quad \gamma_{2,3} = k \sqrt{\frac{n_3^2 - n_2^2}{\mu_2^2 - \mu_3^2}} |\mu_{2,3}|$$

$$\begin{cases} n_2/n_3 < 1 \\ \mu_2/\mu_3 < -1 \end{cases} \quad \begin{cases} n_2/n_3 > 1 \\ -1 < \mu_3/\mu_2 < 0 \end{cases}$$

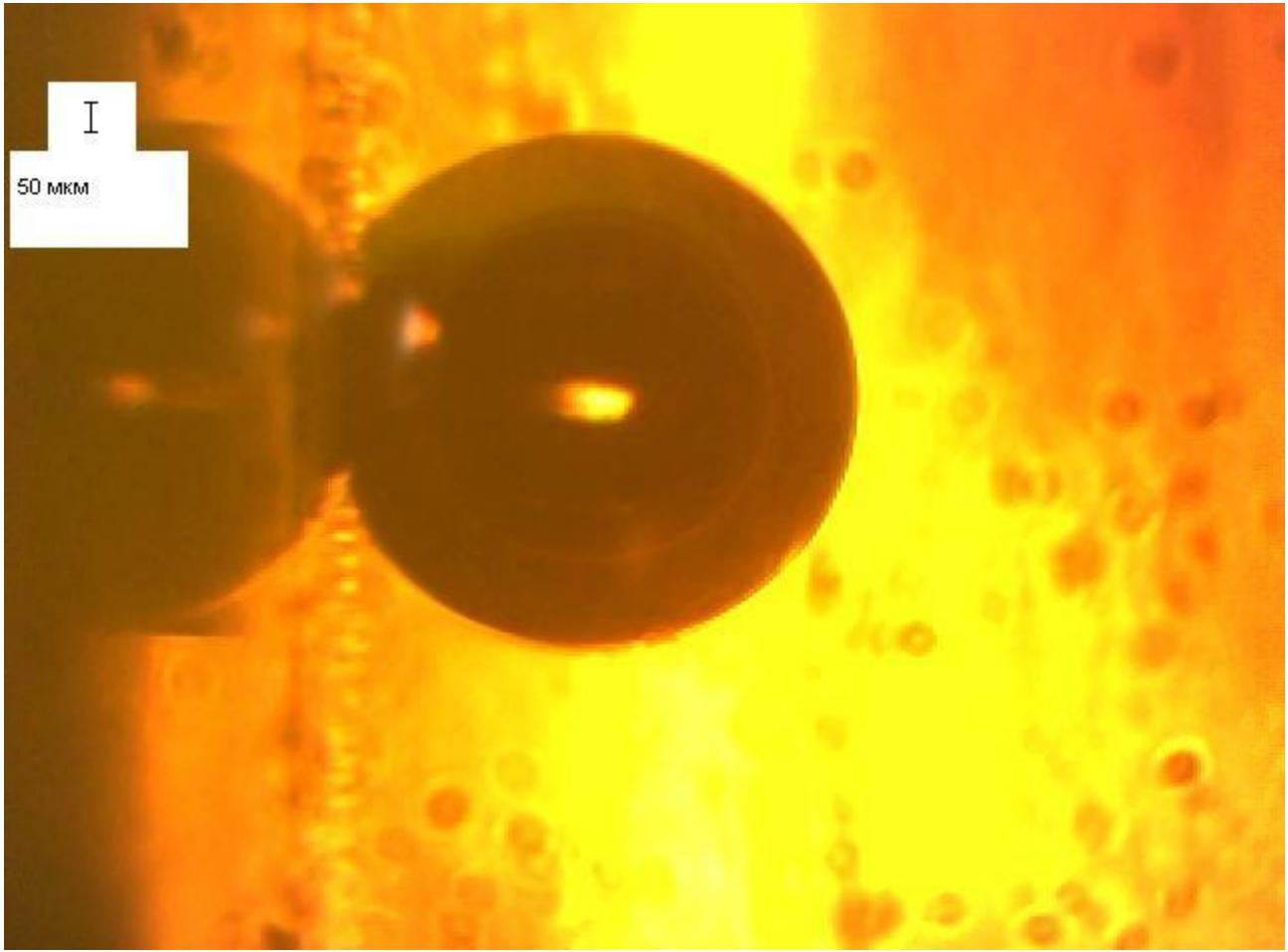
Surface plasmon polaritons at interfaces associated with artificial composite materials / H. Zhang, Q. Wang, N. Shen, R. Li, J. Chen, J. Ding, H. Wang // J. Opt. Soc. Am. B. – 2005. – Vol. 22. – pp. 2686–2696.



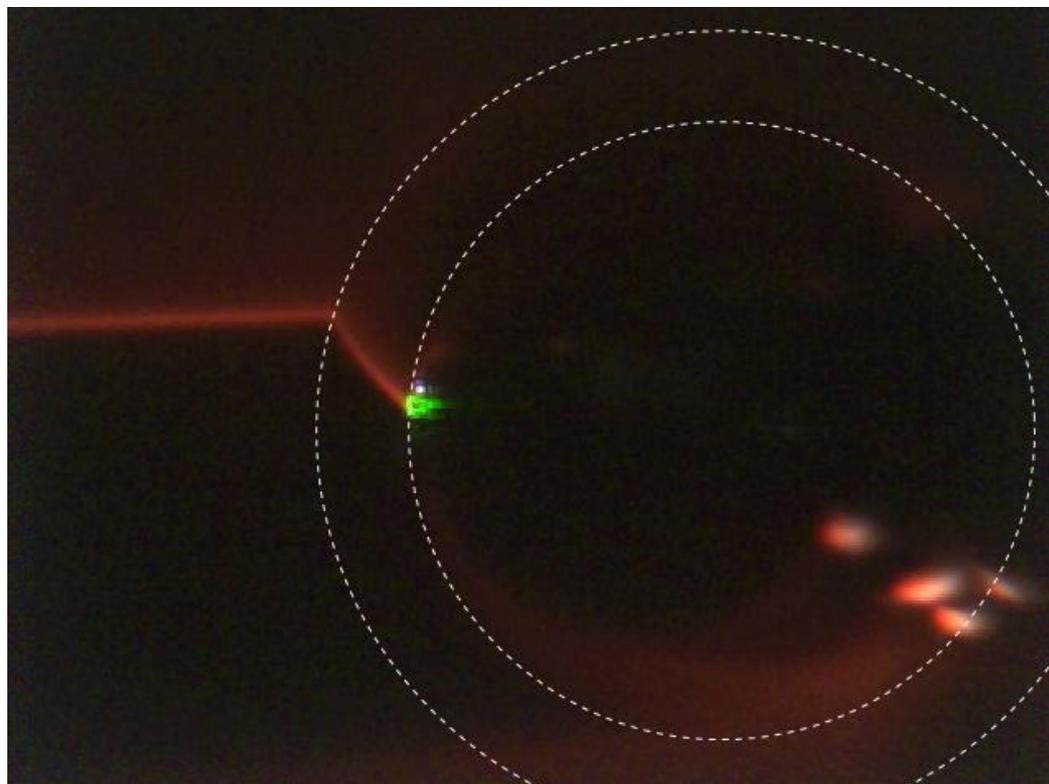
$$0 < \mu_2 < -1 \text{ and } 0 < \epsilon_2 < -2.$$



Спектр пропускания кюветы с раствором красителя, измеренный относительно пропускания кюветы с номинально чистым спиртом



I
50 MKM



$$n_2 \approx -0,94$$

Л. Д. ЛАНДАУ и Е. М. ЛИФШИЦ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

ТОМ VIII

Таким образом, не имеет смысла пользоваться магнитной проницаемостью уже начиная с оптической области частот, и при рассмотрении соответствующих явлений надо полагать $\mu = 1$. Учет отличия между **В** и **Н** в этой области был бы явным превышением точности. Фактически же учет отличия μ от 1 является превышением точности для большинства явлений уже при частотах, гораздо более низких, чем оптические²).

Negative refraction with low absorption using EIT in a four-level left-handed atomic system

Shun-Cai Zhao^{a,*}, Zheng-Dong Liu^{b,c}, Jun Zheng^{b,c}, Gen Li^{b,c}, Nian Liu^{b,c}

Optik 123 (2012) 1063–1066

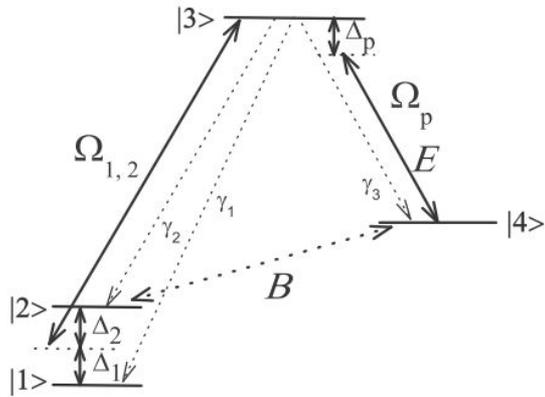
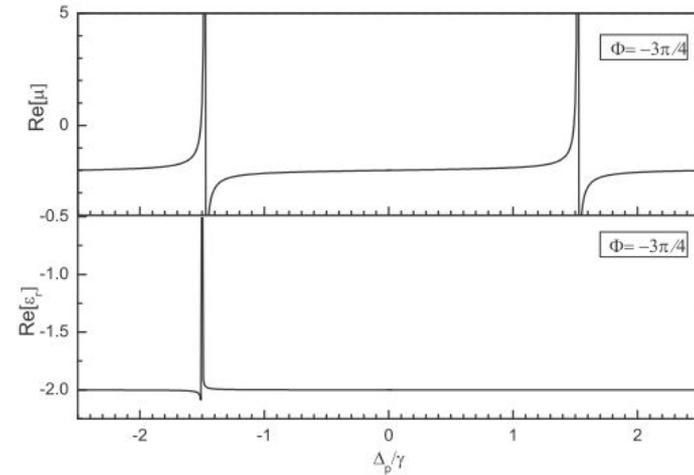


Fig. 1. Schematic diagram of four-level system interacting with a coupling beam $\Omega_{1,2}$ and a probe field Ω_p . The level pairs $|3\rangle - |4\rangle$, $|2\rangle - |4\rangle$ are coupled to the electric and magnetic components of the probe light, respectively.



Спасибо за внимание!