

Эллиптические поляризационные моды в волоконных световодах.

Моршнев С.К., Чаморовский Ю.К.

*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова
РАН (Фрязинский филиал);
ПРОФОТЕК (Москва)*

Слайд 2

$L_b = \lambda / (n_x - n_y)$ – длина биений встроенного линейного двулучепреломления ($n_x - n_y$);

$\Delta\beta = 2\pi / L_b$ – скорость нарастания (с длиной волокна)
 фазовой задержки между волнами
 ортогональных линейных поляризаций

$\xi = 2\pi / L_{tw}$ – скорость вращения осей с длиной волокна, L_{tw} – шаг спирали

$\gamma = 2\pi / L_C$ – скорость нарастания γ фазовой задержки между волнами
 ортогональных циркулярных поляризаций (эффект Фарадея).

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial E_R}{\partial z} \\ \frac{\partial E_L}{\partial z} \end{pmatrix} = \|N_{\text{круг}}\| \cdot \begin{pmatrix} E_R(z) \\ E_L(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i\frac{\gamma}{2} & i\frac{\Delta\beta}{2}\exp(j2\xi z) \\ i\frac{\Delta\beta}{2}\exp(-j2\xi z) & -i\frac{\gamma}{2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} E_R(z) \\ E_L(z) \end{pmatrix}$$

Слайд 3.

$$\chi = \frac{E_U}{E_V}$$

$$\frac{d\chi(z)}{dz} = -j \frac{\Delta\beta}{2} \exp(j2\xi z) \cdot \chi^2(z) - 2j \frac{\gamma}{2} \cdot \chi(z) + j \frac{\Delta\beta}{2} \exp(-j2\xi z)$$

$$\chi(z, \chi_0) = \frac{\exp(-j\xi z) \left[1 + j \frac{\xi - \gamma/2}{\Omega} \operatorname{tg} \Omega z \right] \cdot \chi_0 + j \exp(-j\xi z) \frac{\Delta\beta/2}{\Omega} \operatorname{tg} \Omega z}{j \exp(+j\xi z) \frac{\Delta\beta/2}{\Omega} \operatorname{tg} \Omega z \cdot \chi_0 + \exp(+j\xi z) \left[1 - j \frac{\xi - \gamma/2}{\Omega} \operatorname{tg} \Omega z \right]},$$

$$\text{где } \Omega = \frac{1}{2} \sqrt{\Delta\beta^2 + (2\xi - \gamma)^2}$$

$$\varphi_L - \varphi_R =$$

$$= \operatorname{arctg} \left\{ \frac{\sin[2(\Omega - \xi)z] + \frac{(\Delta\beta/2)^2}{[\Omega + (\xi - \gamma/2)]^2} \sin[2(\Omega + \xi)z] - \frac{2(\Delta\beta/2)^2}{(\xi - \gamma/2)[\Omega + (\xi - \gamma/2)]} \sin 2\xi z}{\cos[2(\Omega - \xi)z] - \frac{(\Delta\beta/2)^2}{[\Omega + (\xi - \gamma/2)]^2} \cos[2(\Omega + \xi)z] - \frac{2(\Delta\beta/2)^2}{(\xi - \gamma/2)[\Omega + (\xi - \gamma/2)]} \cos 2\xi z} \right\}$$

Слайд 4.

$\xi = 0$ – вращения заготовки нет, волокно NiVi (типа Панда)

в приближении: $\Delta\beta \gg \gamma$ и $\Omega \gg \gamma$ (эффект Фарадея слабый)

$$\varphi_L - \varphi_R = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{\sin \Delta\beta z}{\Delta\beta z} \cdot \gamma z \right\}$$

$$\Delta\beta z_{\text{крит}} = \pi \quad \Rightarrow$$

$$z_{\text{крит}} = \pi / \Delta\beta = L_b / 2$$

Слайд 5.

$\Delta\beta \ll \xi$ – преобладание кручения над встроенным линейным ДЛП и
при тех же приближениях: $\Delta\beta \gg \gamma$ и $\Omega \gg \gamma$

$$\begin{aligned}\varphi_L - \varphi_R &= \operatorname{arctg}\{\operatorname{tg}[2(\Omega - \xi)z]\} = 2\left[\frac{1}{2}\sqrt{(2\xi - \gamma)^2 + \Delta\beta^2} - \xi\right]z \approx \\ &\approx \left[(2\xi - \gamma)\sqrt{1 + \frac{\Delta\beta^2}{(2\xi - \gamma)^2}} - 2\xi\right]z \approx -\gamma z + \frac{\Delta\beta}{2(2\xi - \gamma)}\Delta\beta z\end{aligned}$$

Слайд 6

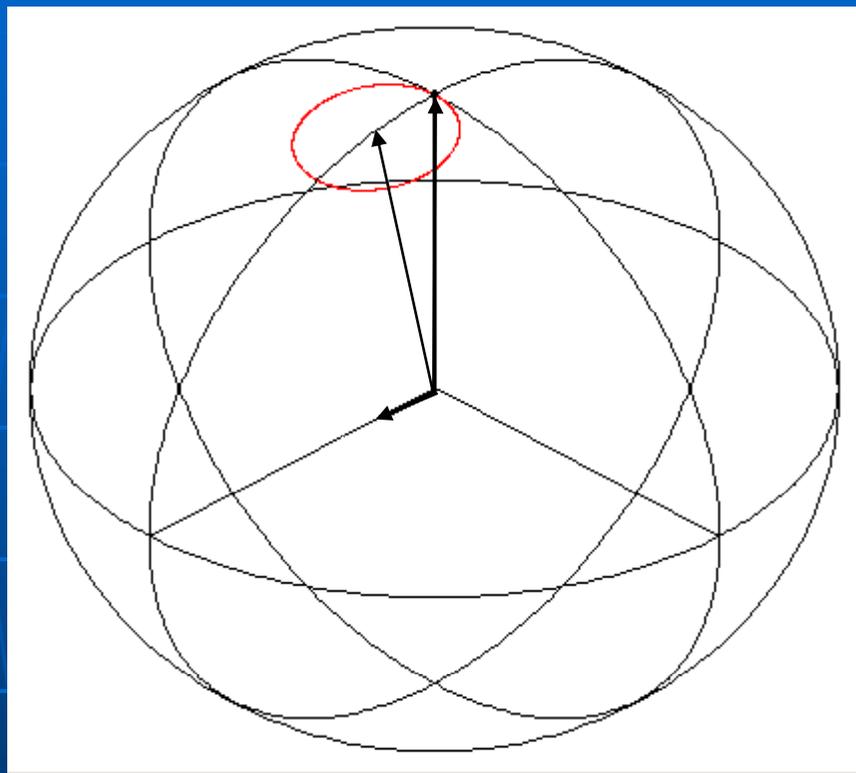


Рис.1.Эволюция поляризационных состояний для модели, включающей циркулярное ДЛП.

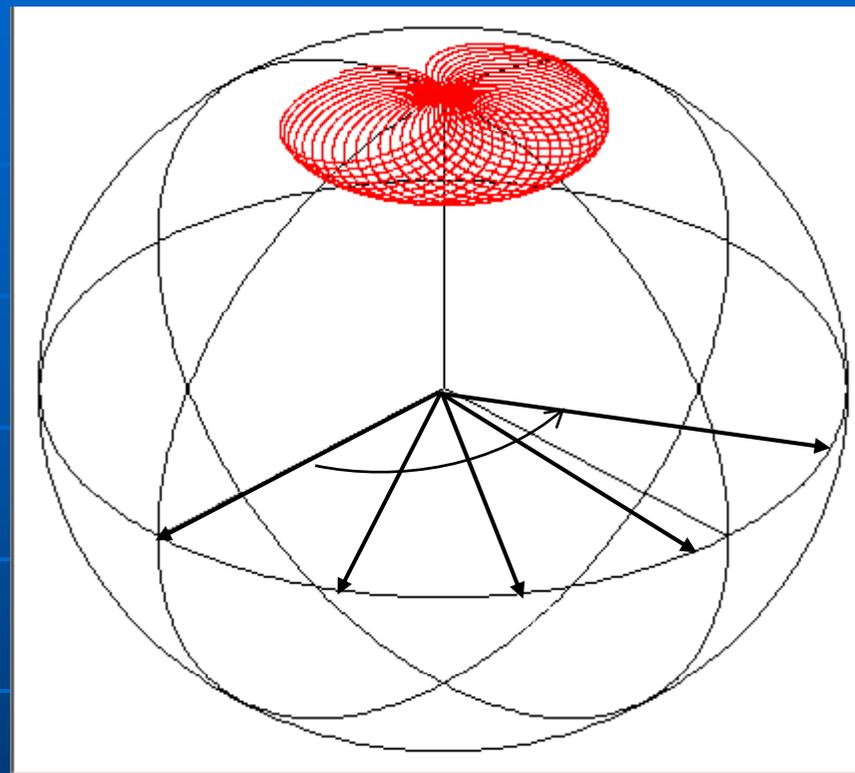


Рис.2. Эволюция поляризационных состояний для нашей модели спиральной структуры осей линейного ДЛП

Слайд 7.

$$\sin 2\varepsilon = 1 - 2 \frac{\Delta\beta^2 / 4}{\Omega^2} \sin^2 \Omega z$$

$$\sin 2\varepsilon_{\min} = 1 - 2 \frac{\Delta\beta^2 / 4}{\Omega^2}$$

Слайд 8.

$$\delta = \frac{1}{4} k_0 n_o^3 (\rho_{11} - \rho_{12}) (1 + v_p) \frac{r^2}{R^2};$$

$$\delta = k_0 (n_y - n_x) = \frac{2\pi}{L_{ind}}$$

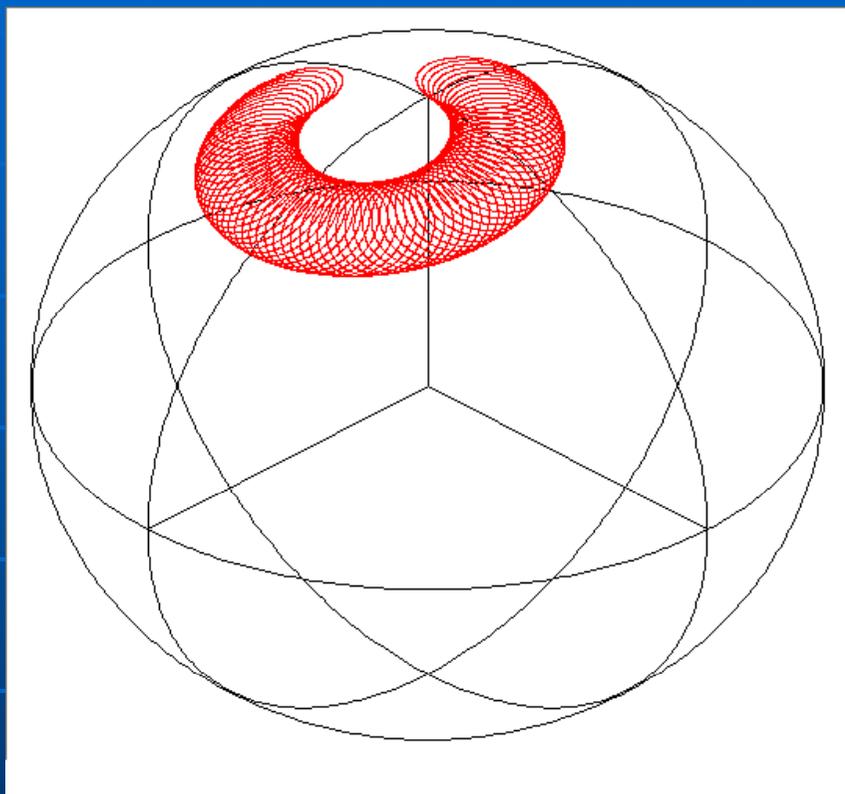


Рис.3. Эволюция поляризационных состояний в *srin*-волокне с параметрами $L_{tw} = 3$ мм; $L_b = 10$ мм, изогнутом по радиусу $R = 15$ мм.

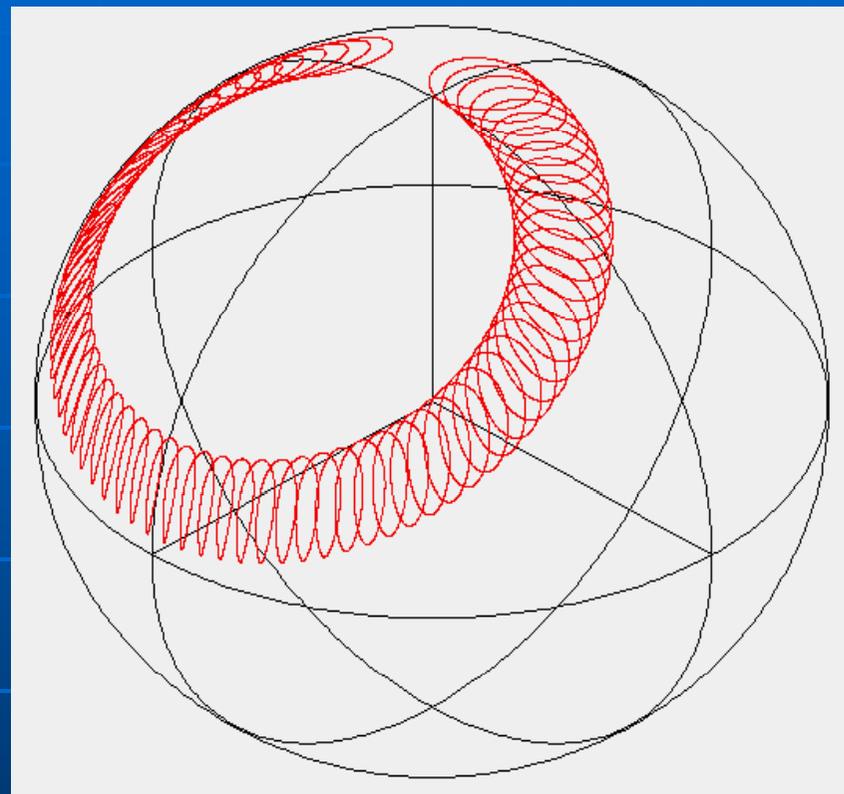


Рис.4. Эволюция поляризационных состояний в *srin*-волокне с параметрами $L_{tw} = 3$ мм; $L_b = 10$ мм, изогнутом по радиусу $R = 8$ мм.

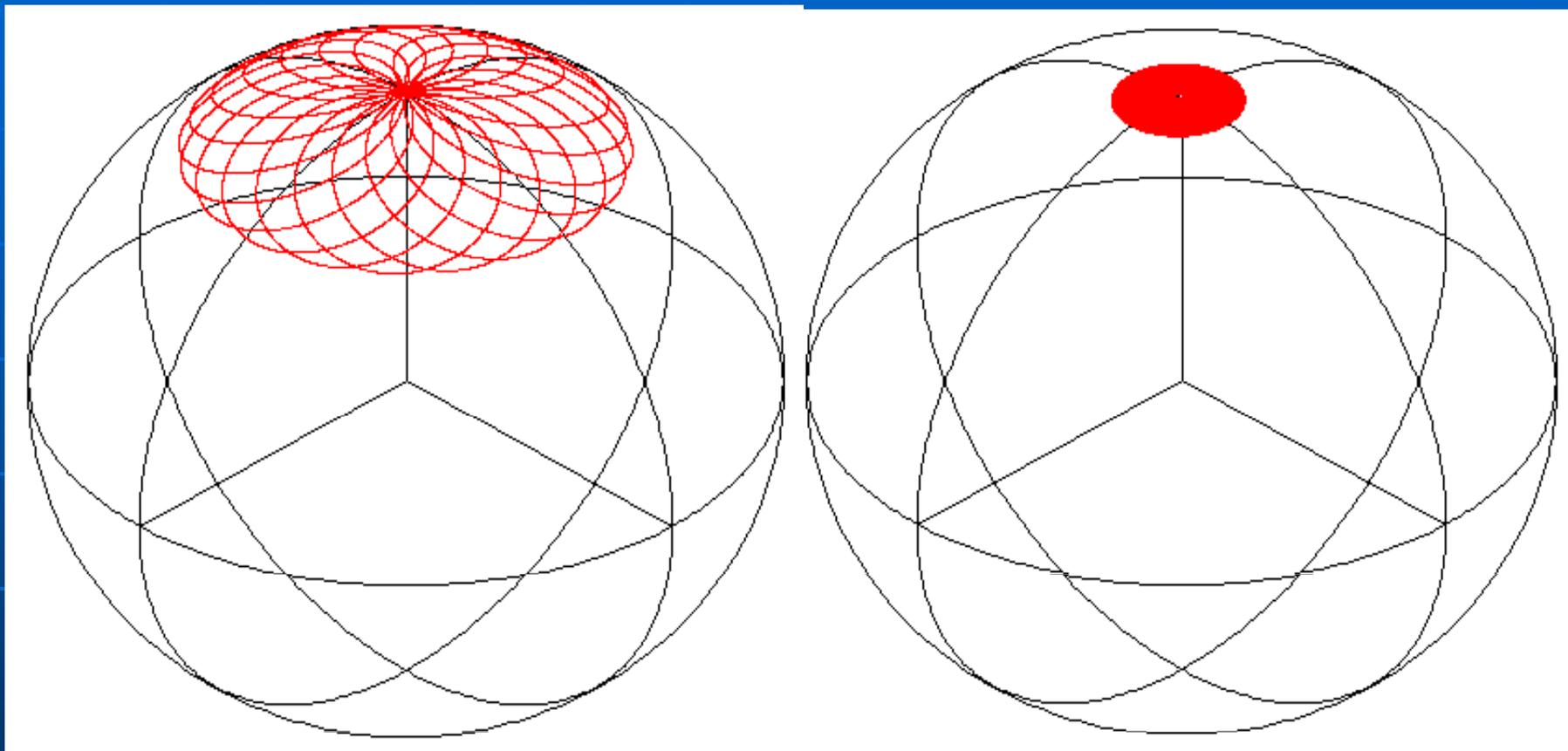


Рис.5.Эволюция поляризационных состояний в spun-волокне с длиной биений $L_b = 15$ мм, намотанном по радиусу $R = 100$ мм:
а) $L_{tw} = 10$ мм; б) $L_{tw} = 2,5$ мм

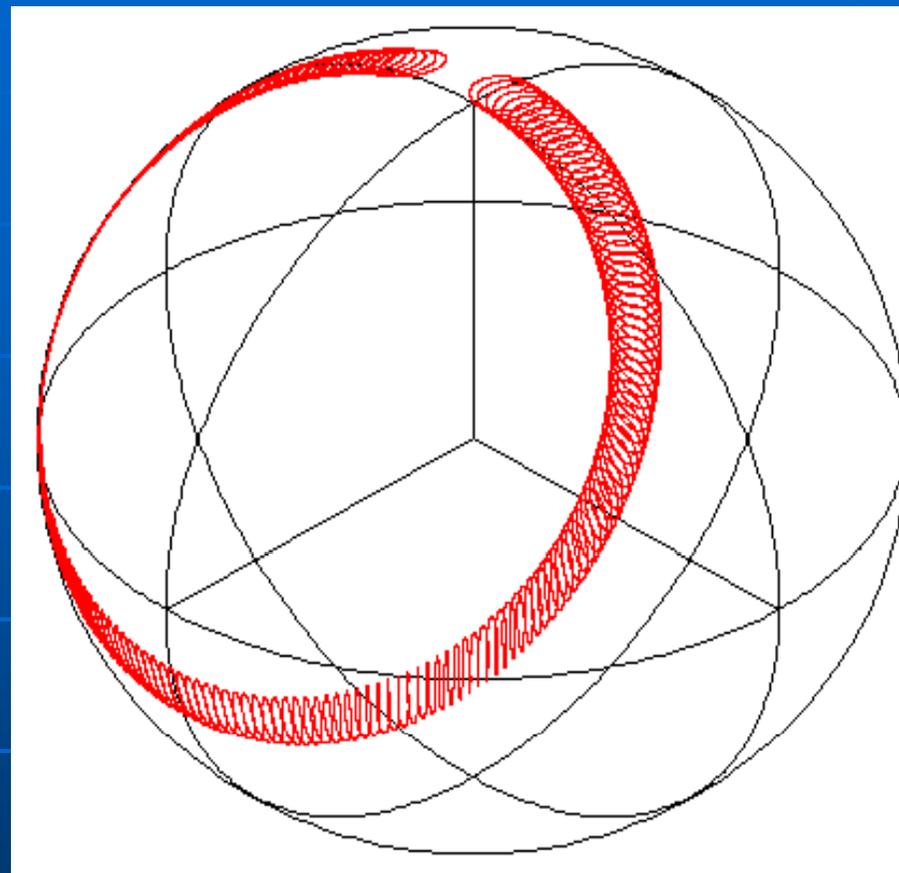
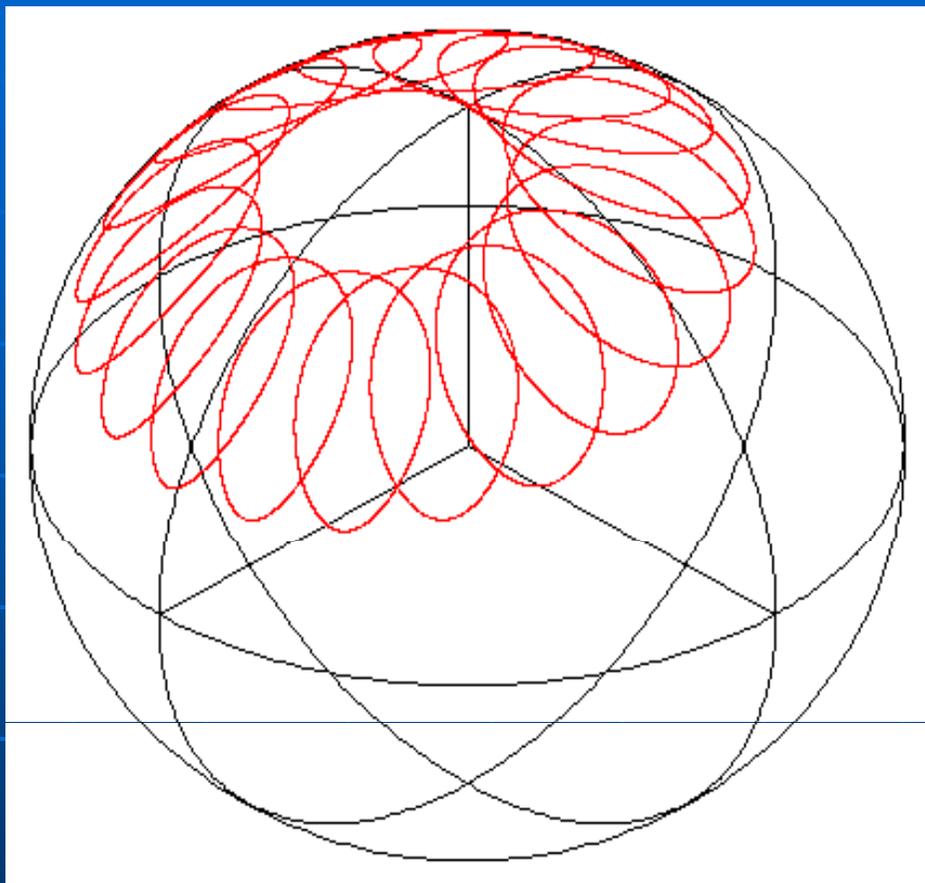


Рис.6.Эволюция поляризационных состояний в *spin*-волокне с длиной биений $L_b = 15$ мм, намотанном по радиусу $R = 10$ мм:
а) $L_{tw} = 10$ мм; б) $L_{tw} = 2,5$ мм

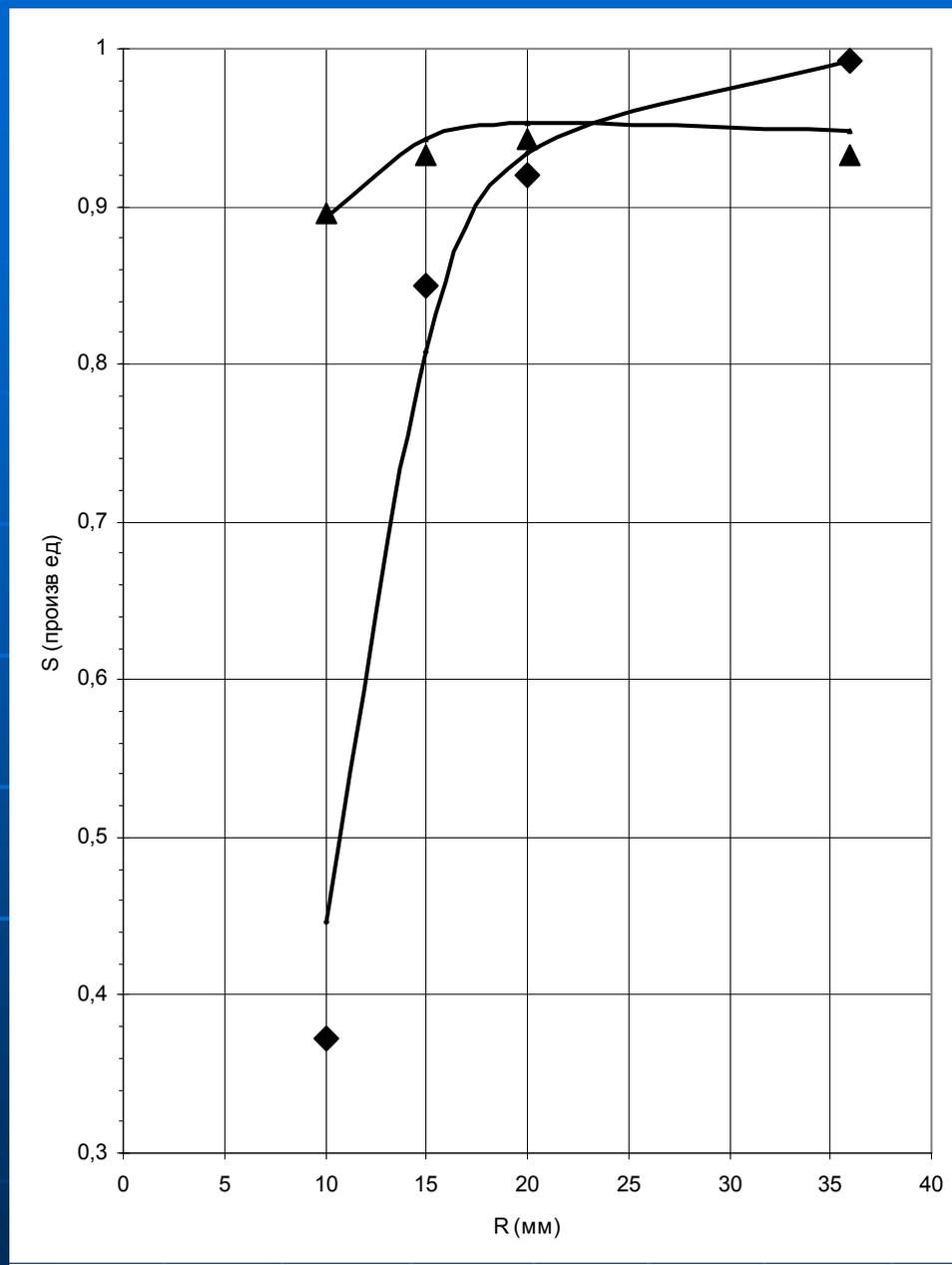


Рис.7. Результаты эксперимента. Магнито-оптическая чувствительность датчика в зависимости от радиуса R катушки srp волокон с одинаковой длиной биений $Lb = 15$ мм.

Волокна отличаются шагом спирали:
ромбики – $Ltw = 2,5$ мм;
треугольники – $Ltw = 7,5$ мм.

Точки – эксперимент.

Сплошные линии – результаты теоретического расчета.

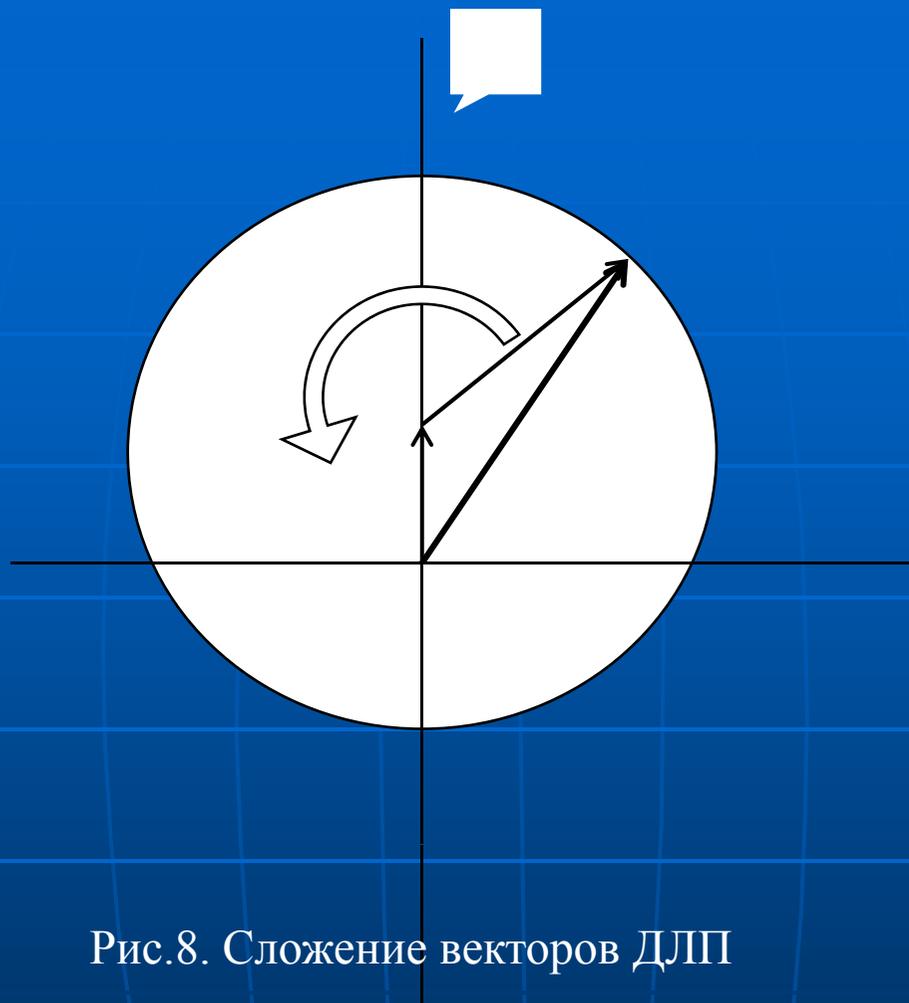


Рис.8. Сложение векторов ДЛП

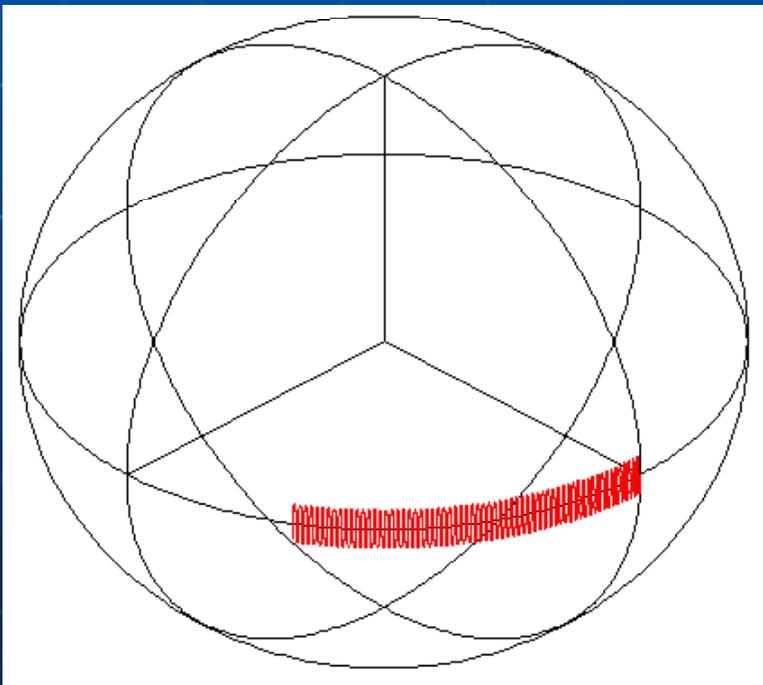
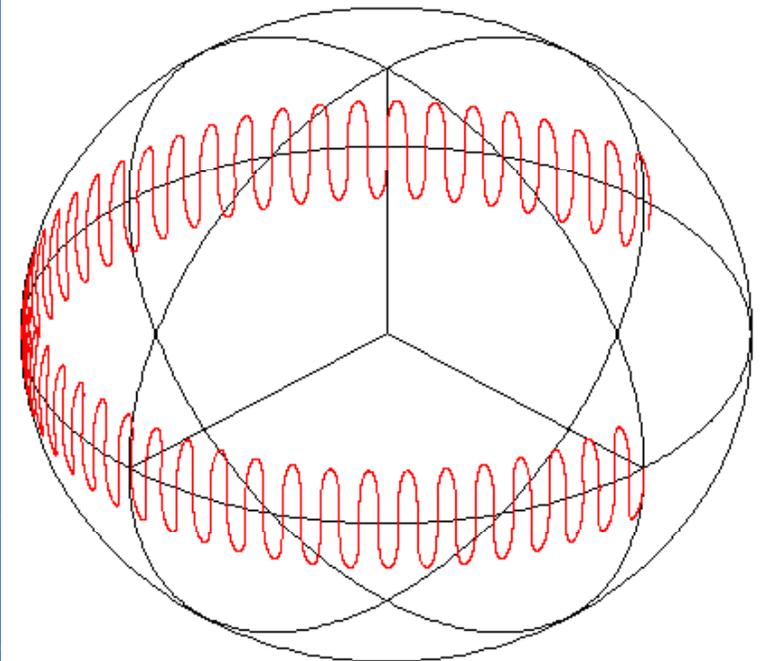
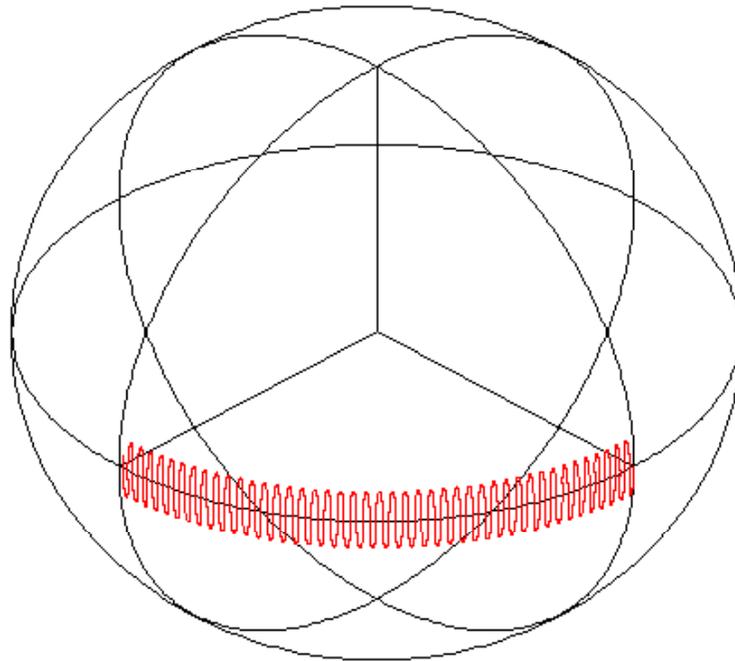


Рис.9. Поворот плоскости поляризации в спун-волоконнах одной и той же длины ($L_f = 65$ мм), и с одинаковым шагом спирали ($L_{tw} = 3$ мм): а) слабое встроенное линейное ДЛП ($L_b = 14$ мм); б) более сильное встроенное линейное ДЛП ($L_b = 8$ мм). в) $L_b = 14$ мм; $L_{tw} = 2$ мм более быстрое кручение заготовки.

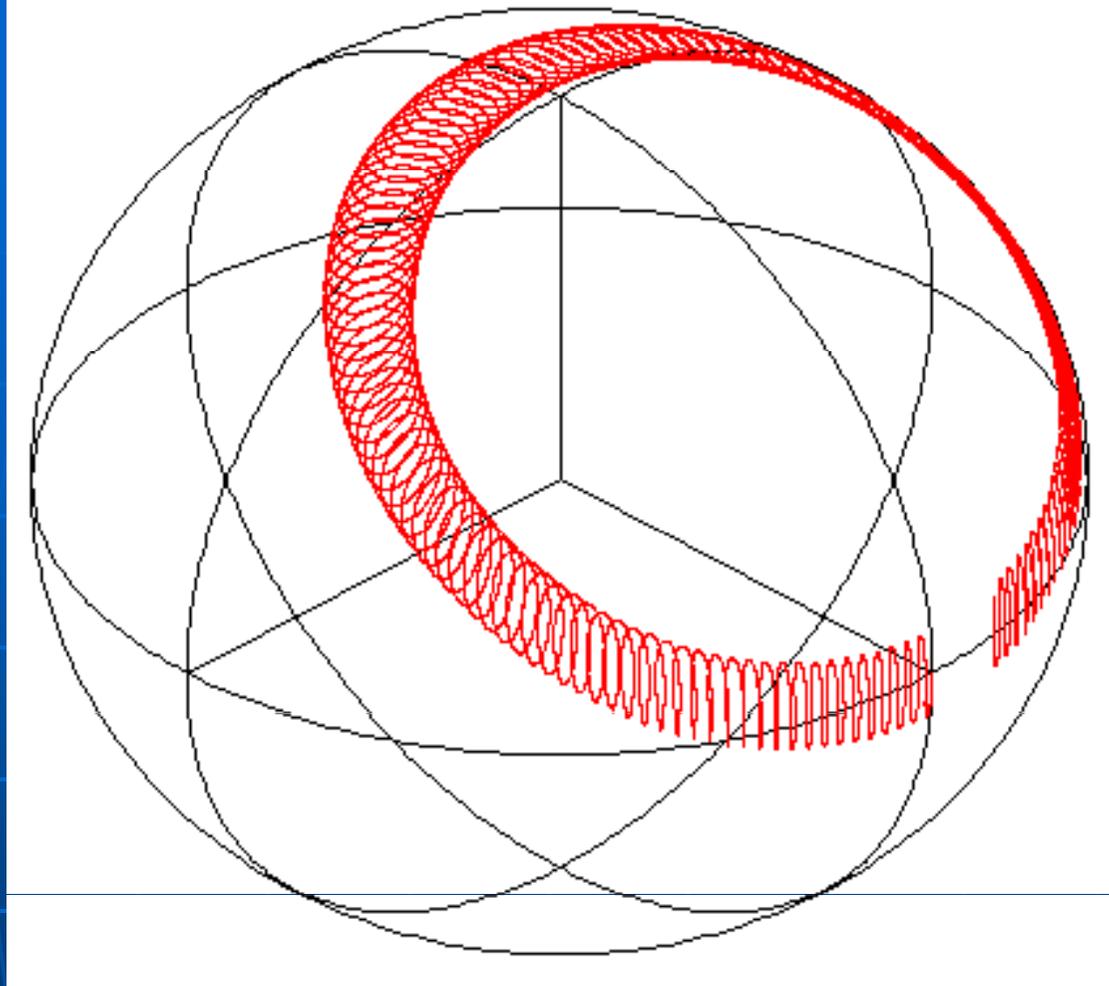
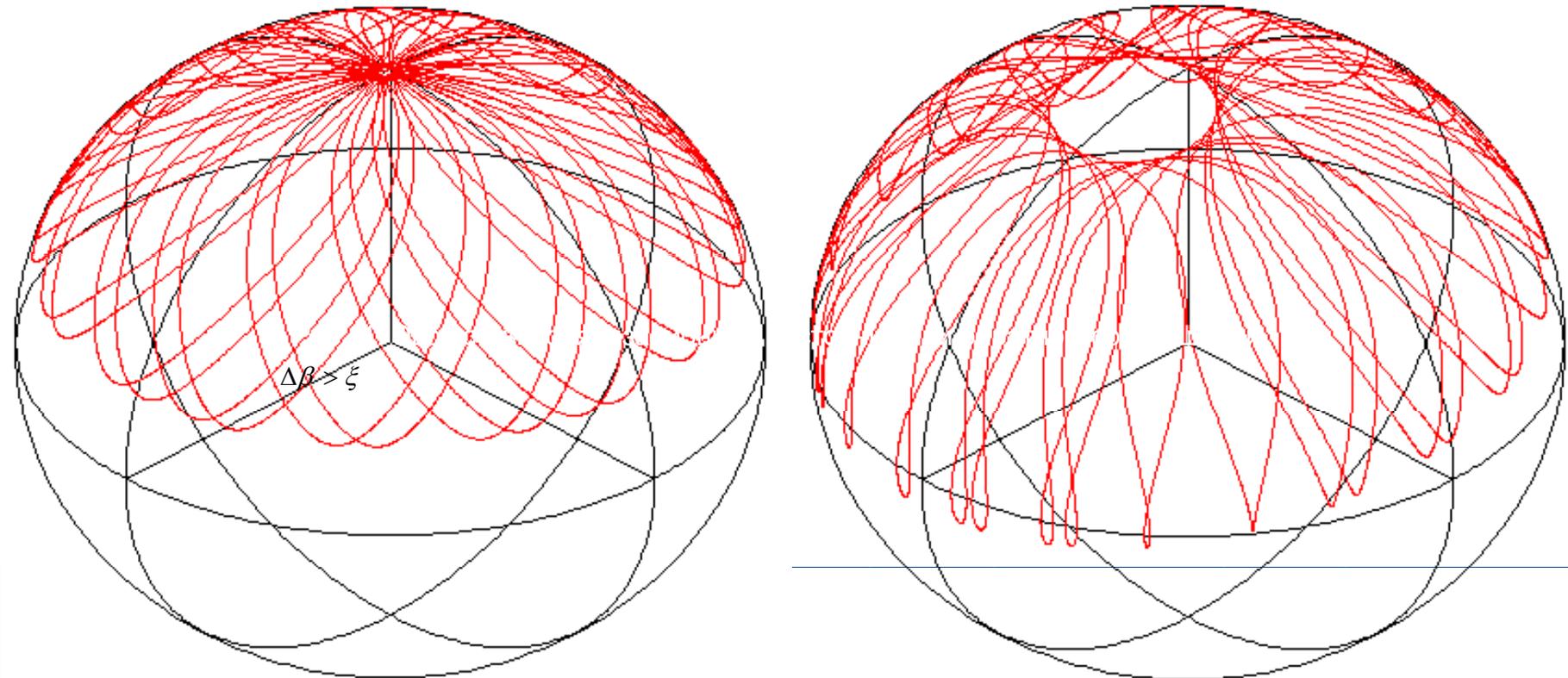


Рис.10. Линейная поляризация на входе спун-волокна. $L_{tw} = 3$ мм; $L_b = 14$ мм; радиус изгиба $R = 10$ мм.



.Длина биений линейного ДЛП $L_b = 2$ мм меньше шага спирали $L_{tw} = 3$ мм.

а) Радиус изгиба $R = 10$ мм, относительная чувствительность $S/S_{ид} = 0,5$;

б) радиус изгиба $R = 3$ мм, относительная чувствительность $S/S_{ид} = 0,4$.

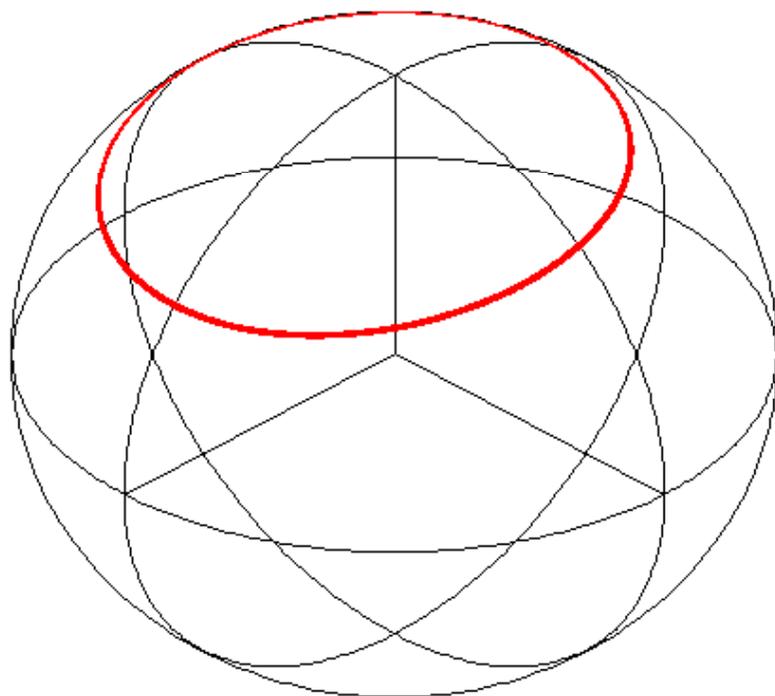
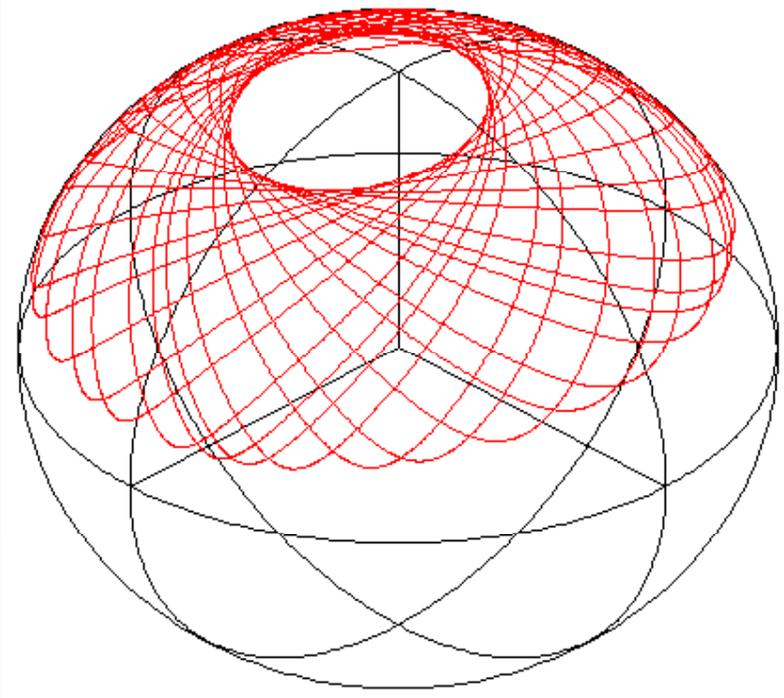
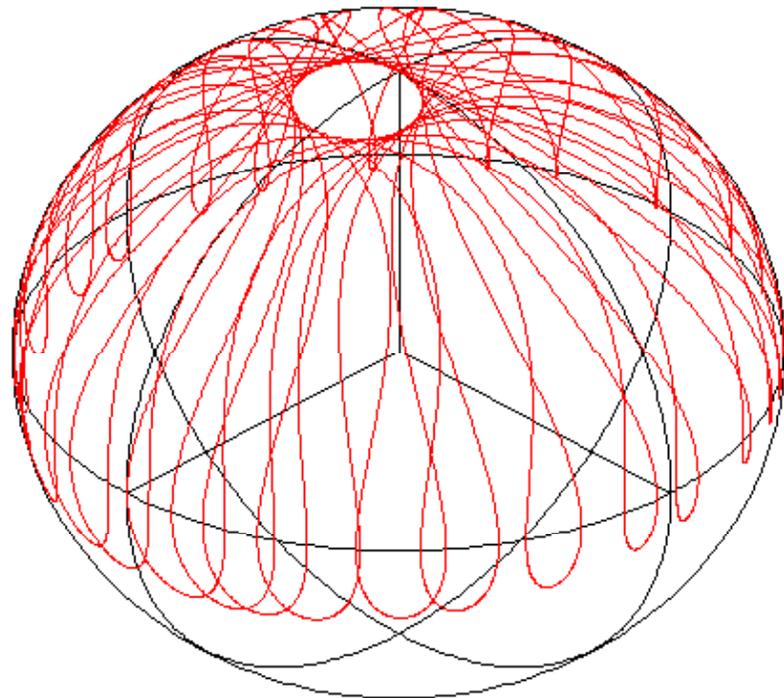


Рис.12. Использование эллиптических волн на входе спун-волокна.
 $L_{tw} = 3$ мм , $L_b = 1,5$ мм; $R = 2,5$ мм:
а) На входе волна круговой поляризации, $S/S_{ид} = 0,3$;
б) На входе волна эллиптической поляризации ($\varepsilon = 30$), $S/S_{ид} = 0,47$;
в) На входе волна эллиптической поляризации ($\varepsilon = 18$), $S/S_{ид} = 0,5$