

## **ЗВІТ**

**за виконання наукового дослідження і розробки  
(I етап 2023 рік)**

**«Розробка лазерно-фотонного лікувально-  
діагностичного комплексу медичної реабілітації  
пацієнтів з політравмами різного ступеня важкості»**

**Назва конкурсу: «Наука для відбудови України у  
воєнний та повоєнний періоди»**

**Реєстраційний номер Проєкту: 2022.01/0135**

**Науковий керівник - Павлов Сергій Володимирович,  
д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії  
та оптико-електронних систем,  
Вінницький національний технічний університет**

**НТР ВНТУ, 13 грудня 2023 року**

**Мета роботи** - підвищення інформативності, достовірності оцінювання тканинної мікроциркуляції людини та ефективності, діагностування, профілактики і лікування найбільш поширених захворювань людини, зокрема, військових політраум різного ступеня важкості, шляхом розробки лазерних та оптико електронних неінвазивних засобів діагностування та нормалізації стану тканинної мікроциркуляції за допомогою лазерних волоконно-оптичних та фотонних технологій.

**Об'єкт дослідження** - методи та системи лазерної поляриметрії для визначення та класифікації зображень поляризаційно-фазових параметрів структури біологічних тканин при оцінюванні їх патологічних станів та рівня тканинної мікроциркуляції.

**Методи дослідження** – лазерної спектроскопії, поляриметричний, фотоплетизмографічний, фотометричний, термометричний

## Основні завдання Проєкту

Розробити вимоги до технічного забезпечення, методику фізіологічних вимірювань для вивчення закономірностей розповсюдження низькоінтенсивного немонохроматичного електромагнітного випромінювання різних ділянок оптичного діапазону спектра на мікроциркуляцію крові в зоні опромінення та у віддалених ділянках організму людини;

Розробити лазерно-фотонний лікувально-діагностичний комплекс медичної реабілітації пацієнтів з політравмами різного ступеня важкості, який базується на основі контактного методу вимірювання для оцінювання фізіологічного стану мікроциркуляції в області опромінення низькоінтенсивним немонохроматичним електромагнітним випромінюванням;

Провести фізіологічні вимірювання в лабораторних умовах вивчення механізмів взаємодії низькоінтенсивного лазерного та фотонного електромагнітного випромінювання і розробити методику оптичного принципу оцінювання перфузії крові.

## **Команда проєкту**

**Вінницький національний технічний університет  
8 науковців**

**(Павлов С.В., Заболотна Н.І., Поліщук Л.К., Коваль Л.К.,  
Тимчик С.В., Штофель Д.Х., Карась О.В., Павлов В.С.)**

**Інститут фізики НАНУ - 4 науковця  
(Васнецов М.Ф., Качаліна Н.М., Войцехович В.Л.,  
Мамута Д.В.)**

**ПП “Фотоніка Плюс” – 2 науковця  
(Холін В.В., Комарова О.В.)**

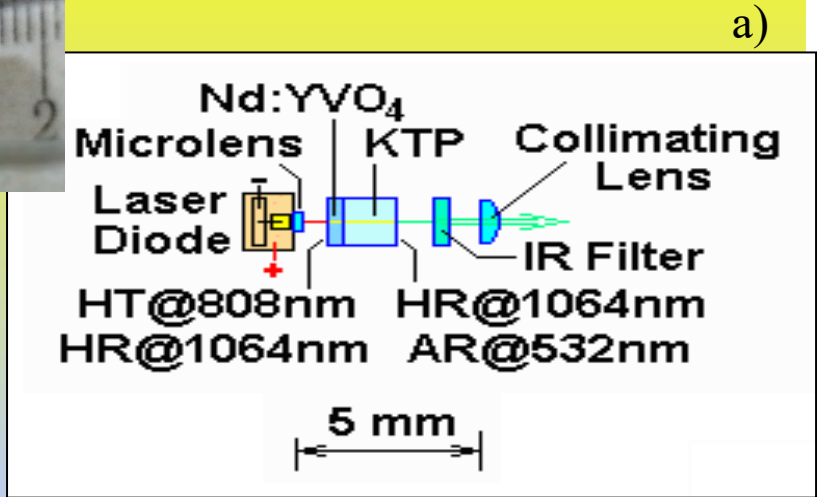
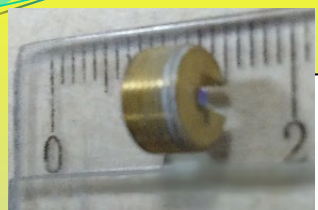
**Академія лазерної медицини - 1 науковець  
Савченко А.М.**

**Всього - 15 осіб**

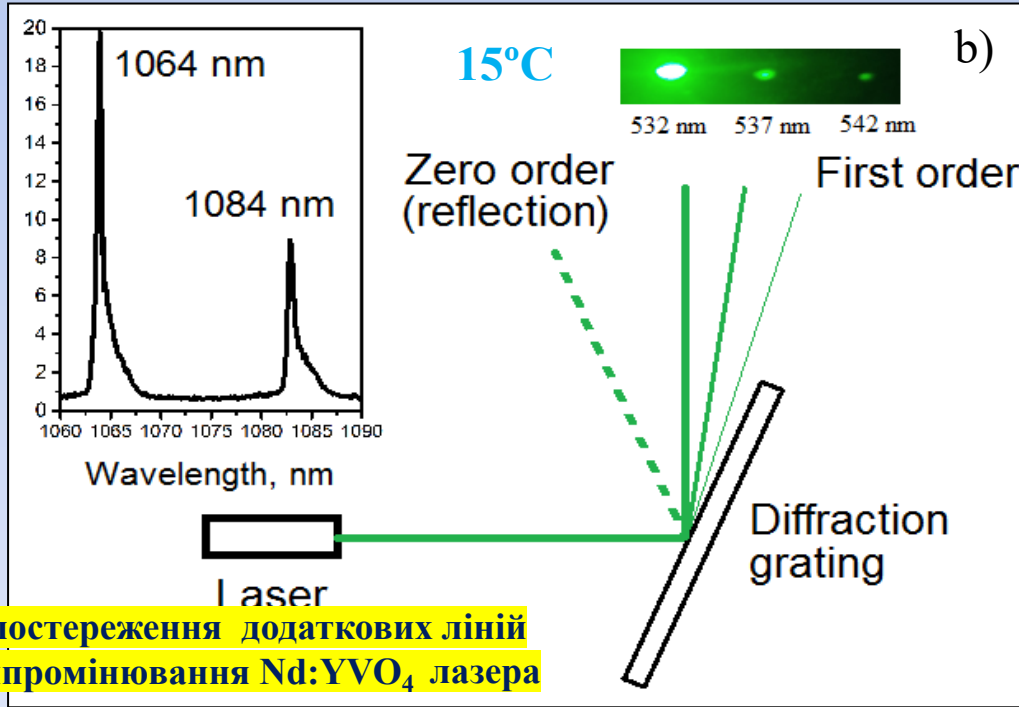
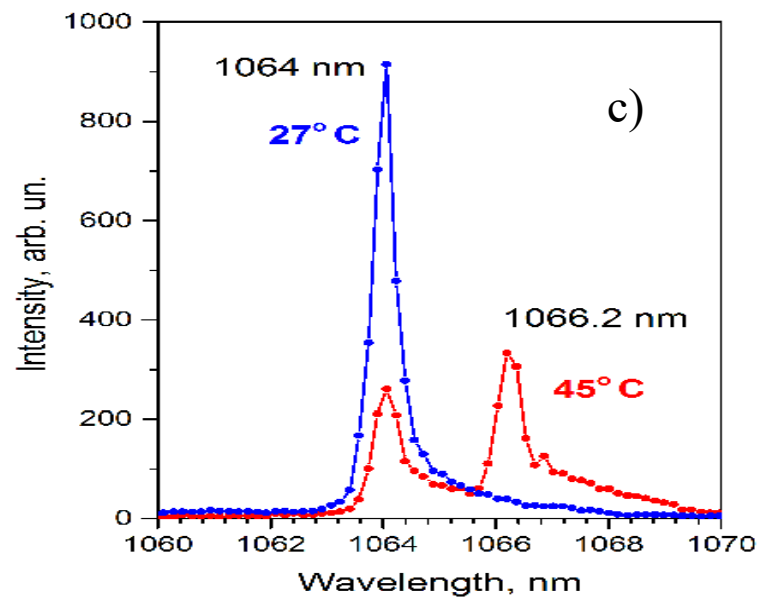
# Результативність виконання звітної етапу наукового дослідження і розробки роботи

№ з/п	Показники	Заплановано (відповідно до проекту), одиниць	Виконано (за результатами НДР), одиниць	Відсоток виконання, %
<b>1.</b>	<b>Публікації виконавців (авторів) за тематикою НДР:</b>			
1.1.	Статті у журналах, що входять до наукометричних баз даних:			
	- Scopus	6	4+5	150
	- Web of Science			
	- Index Copernicus			
1.2.	Публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних Scopus та/або Web of Science (або Index Copernicus для суспільних та гуманітарних наук)*			
1.3.	Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України:	16	15+1	100
	з них: в журналах з особливим статусом (рекомендовані секціями)**			
1.4.	Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України (крім тих, що увійшли до п. 1.2.)	6	7	116
1.5.	Монографії та розділи монографій, опубліковані за рішенням Вченої ради закладу вищої освіти (наукової установи)			
1.6.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) в іноземних видавництвах	2	2	100
1.7.	Підручники, навчальні посібники України			
1.8.	Словники, довідники			
<b>2.</b>	<b>Підготовка наукових кадрів:</b>			
2.1.	Захищено докторських дисертацій за тематикою НДР			
2.2.	Захищено кандидатських дисертацій за тематикою НДР	1	1	100
<b>3.</b>	<b>Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності, створені за тематикою НДР:</b>			
3.1.	Отримано патентів України	2	2	100
3.2.	Отримано свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір			
3.3.	Отримано патентів інших держав			
<b>4.</b>	<b>Участь з оплатою у виконанні НДР (осіб):</b>	15	15	100
4.1.	Студентів			
4.2.	Молодих учених та аспірантів	3	3	100

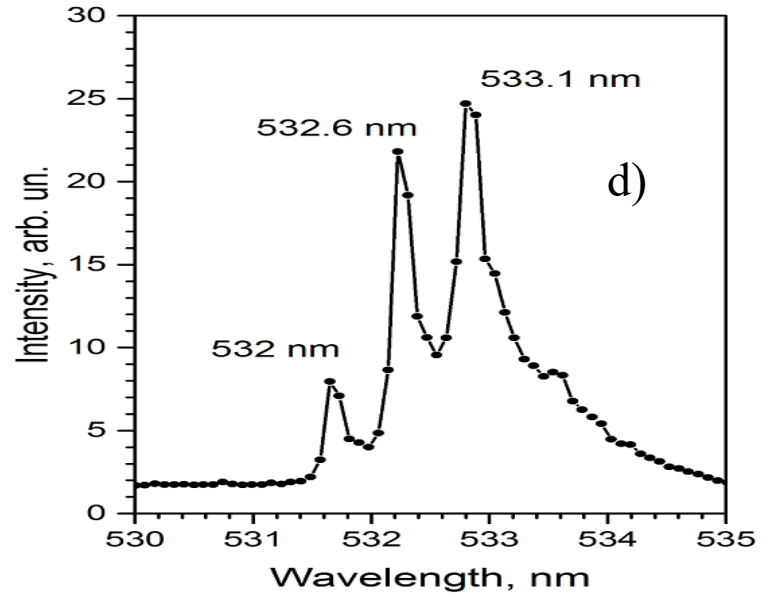
# 1 задача – Зменшення часової когерентності випромінювання лазера



a)



b)



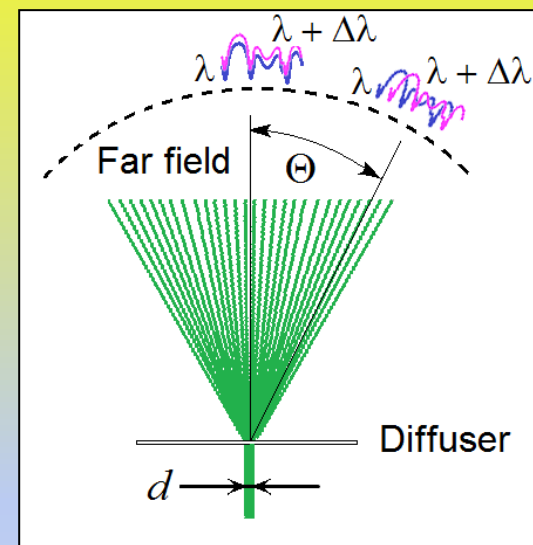
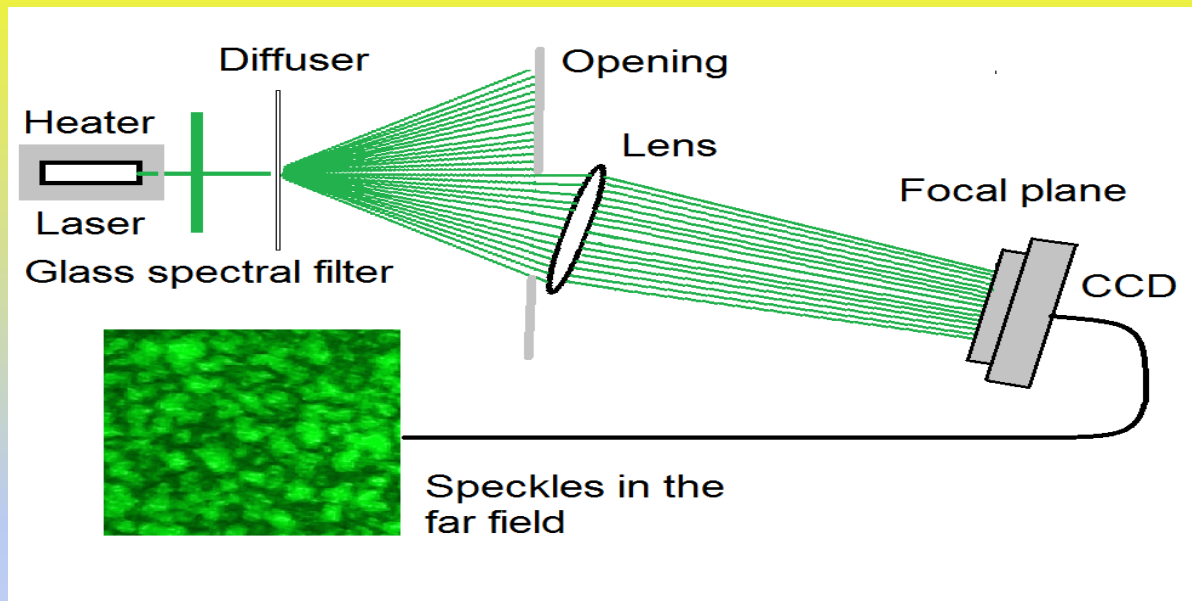
d)

Спостереження додаткових ліній випромінювання Nd:YVO<sub>4</sub> лазера

Температурна залежність спектра випромінювання

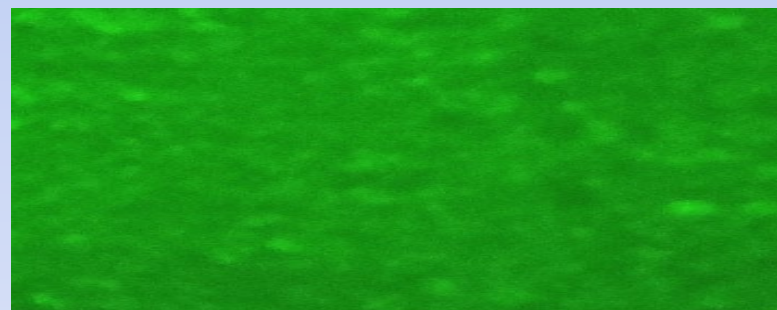
## 2 задача - Дослідження затухання спекл-поля

Запропонована модель залежності  
контрасту спекл-поля від кута  
розсіювання

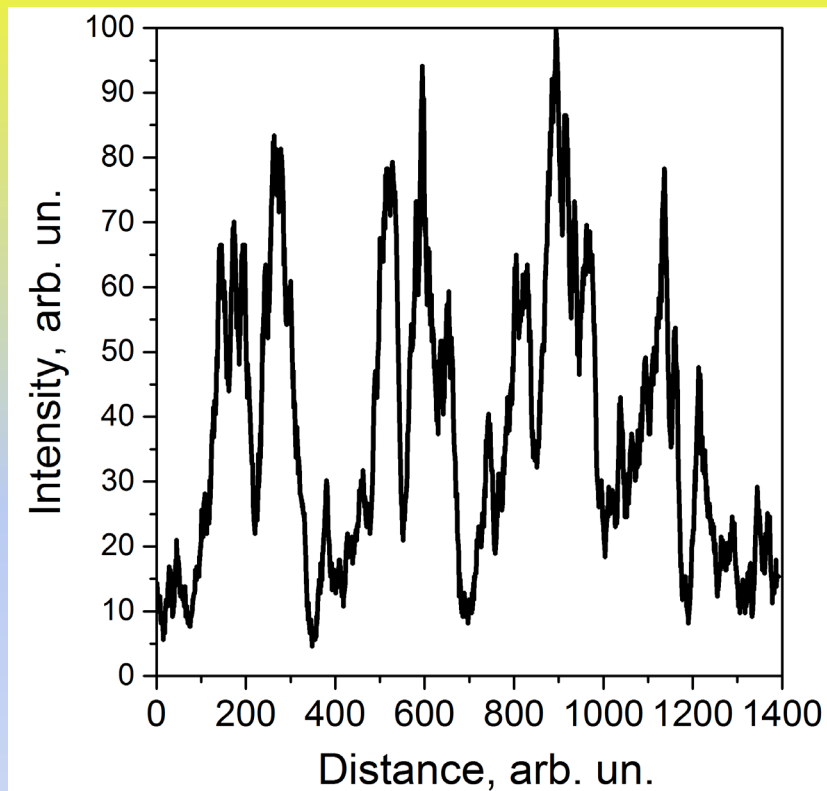


27°C

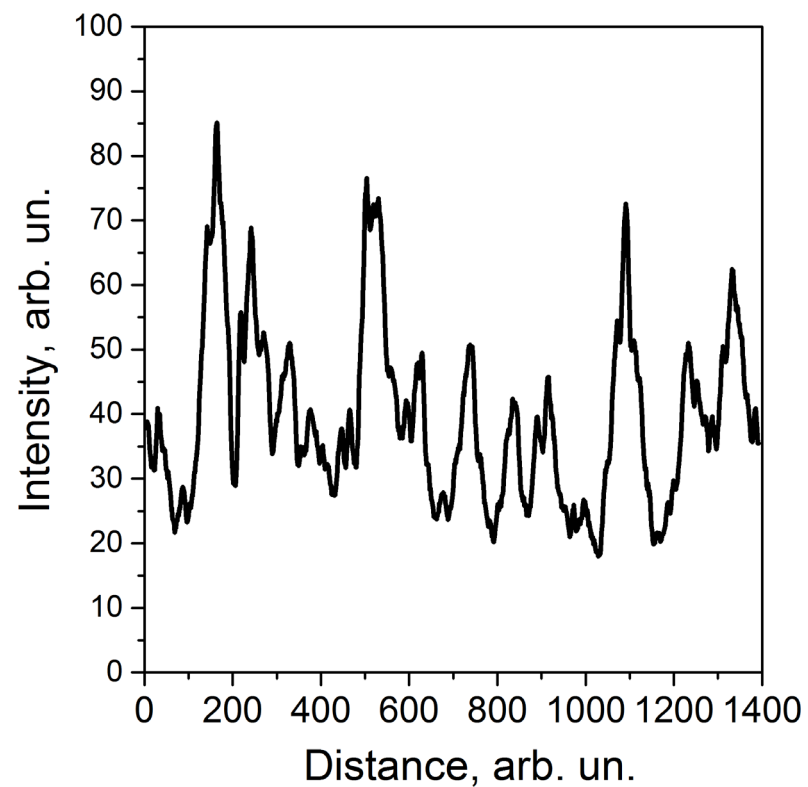
45°C



## Контраст спекл-картини



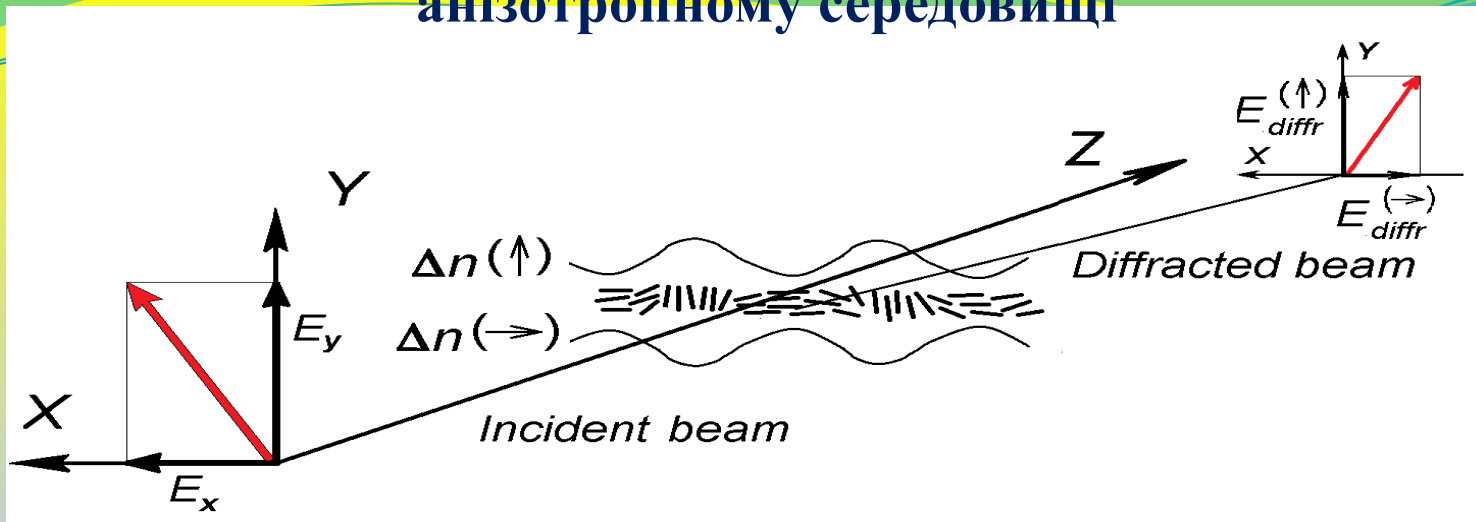
92%



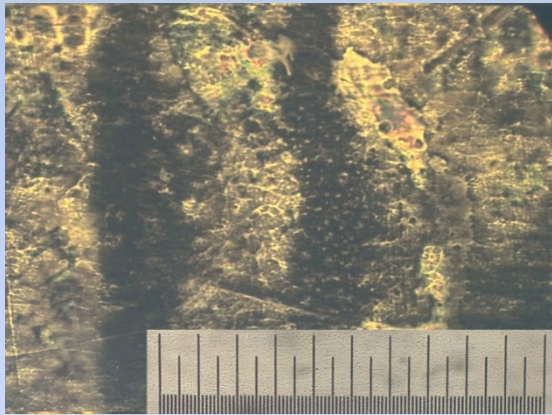
65%

$$V = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$$

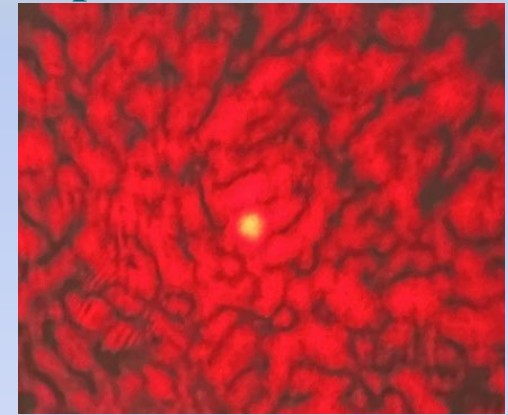
# VI 3 задача – Дослідження розсіювання поляризованого світла в анізотропному середовищі



## Розсіювання у комірці з рідинним кристалом



а) Комірка з рідинним кристалом під мікроскопом. Видно дефекти орієнтації кристалу, як домени з розміром приблизно 400 мкм, та численні дефекти меншого розміру, масштабна лінійка має довжину 1 мм



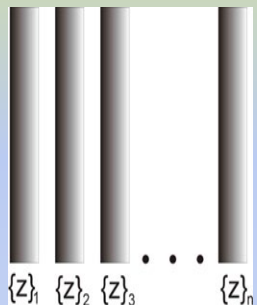
(b) Типова картина розсіювання випромінювання пучка He-Ne лазера

# Моделювання оптико-анізотропних властивостей багат шарових біологічних тканин за елементами матриць Мюллера

Основне рівняння перетворення поляризаційного випромінювання, розсіяного зразком БТ (БР) в точці  $(x, y)$  ( $x = \overline{1; M}; y = \overline{1; N}$ ):

$$\mathbf{S}_*^{(x,y)} = \mathbf{Z}^{(x,y)} \times \mathbf{S}_0^{(x,y)}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{S}_*^{(x,y)}, \mathbf{S}_0^{(x,y)}$  – вектори Стокса перетвореного та вхідного поляризованого випромінювання відповідно;  
 $\mathbf{Z}^{(x,y)}$  – матриця Мюллера зразка;  $M \times N$  – кількість пікселів зображення зразка.



Матриця Мюллера оптично тонкого шару.

$$\mathbf{Z}^{(x,y)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_{22}^{(x,y)} & z_{23}^{(x,y)} & z_{24}^{(x,y)} \\ 0 & z_{32}^{(x,y)} & z_{33}^{(x,y)} & z_{34}^{(x,y)} \\ 0 & z_{42}^{(x,y)} & z_{43}^{(x,y)} & z_{44}^{(x,y)} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Елементи матриці Мюллера  $\mathbf{Z}^{(x,y)}$

$$z_{ik}^{(x,y)}(\rho, \delta) = \begin{cases} z_{22}^{(x,y)} = \cos^2 2\rho^{(x,y)} + \sin^2 2\rho^{(x,y)} \cos \delta^{(x,y)} \\ z_{23,32}^{(x,y)} = \cos 2\rho^{(x,y)} \sin 2\rho^{(x,y)} (1 - \cos \delta^{(x,y)}) \\ z_{33}^{(x,y)} = \sin^2 2\rho^{(x,y)} + \cos^2 2\rho^{(x,y)} \cos \delta^{(x,y)} \\ z_{34,43}^{(x,y)} = \pm \cos 2\rho^{(x,y)} \sin \delta^{(x,y)} \\ z_{24,42}^{(x,y)} = \pm \sin 2\rho^{(x,y)} \sin \delta^{(x,y)} \\ z_{44}^{(x,y)} = \cos \delta^{(x,y)} \end{cases} \quad (3)$$

Координатний розподіл елемента  $\mathbf{Z}_{ik}(X, Y)$  матриці Мюллера або його мюллер-матричне зображення (ММЗ)

$$\mathbf{Z}_{ik}(X, Y) = \begin{pmatrix} z_{ik}^{(1,1)} & \dots & z_{ik}^{(1,N)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{ik}^{(M,1)} & \dots & z_{ik}^{(M,N)} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Матриця Мюллера багат шарової БТ

$$\mathbf{Z}_{1 \div s}^{(x,y)} = \mathbf{Z}_s^{(x,y)} \times \mathbf{Z}_{s-1}^{(x,y)} \times \dots \times \mathbf{Z}_2^{(x,y)} \times \mathbf{Z}_1^{(x,y)} \quad (5)$$

$\rho$  – напрямок оптичної осі двоприменезаломлюючої фібрили;  
 $\delta = 2\pi / \lambda \Delta n d$  – фазовий зсув амплітуди лазерної хвилі довжиною  $\lambda$ , що проходить через фібрилу з лінійним розміром  $d$  геометричного перерізу та показником  $\Delta n$  двоприменезаломлення.

# Матриця Мюллера двошарової біологічної тканини

- $\mathbf{A}^{(x,y)}$  – матриця Мюллера у точці  $(x, y)$  площини зовнішнього БШ двошарової БТ ;
- $\mathbf{B}^{(x,y)}$  – матриця Мюллера у точці  $(x, y)$  площини внутрішнього БШ двошарової БТ;

$$\mathbf{A}^{(x,y)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22}^{(x,y)} & a_{23}^{(x,y)} & a_{24}^{(x,y)} \\ 0 & a_{32}^{(x,y)} & a_{33}^{(x,y)} & a_{34}^{(x,y)} \\ 0 & a_{42}^{(x,y)} & a_{43}^{(x,y)} & a_{44}^{(x,y)} \end{pmatrix}; \quad (6) \quad \mathbf{B}^{(x,y)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{22}^{(x,y)} & b_{23}^{(x,y)} & b_{24}^{(x,y)} \\ 0 & b_{32}^{(x,y)} & b_{33}^{(x,y)} & b_{34}^{(x,y)} \\ 0 & b_{42}^{(x,y)} & b_{43}^{(x,y)} & b_{44}^{(x,y)} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Матриця Мюллера у кожній точці  $(x, y)$  площини зразка  $(x = \overline{1; M}; y = \overline{1; N};)$  двошарової БТ:

$$\mathbf{Z}^{(x,y)} = \mathbf{B}^{(x,y)} \times \mathbf{A}^{(x,y)} \quad (8)$$

де  $z_{ij}^{(x,y)} = \sum_{k=1}^4 (a_{ik}^{(x,y)} b_{kj}^{(x,y)})$

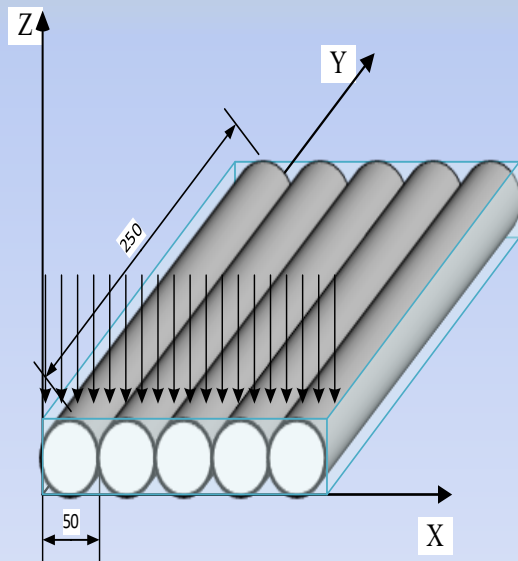
Приклад визначення елемента  $z_{44}$  матриці Мюллера двошарової БТ з урахуванням орієнтаційних  $(\rho_A^{(x,y)}; \rho_B^{(x,y)})$  та фазових  $(\delta_A^{(x,y)}; \delta_B^{(x,y)})$  параметрів шарів  $\mathbf{A}^{(x,y)}$  та  $\mathbf{B}^{(x,y)}$

$$z_{44}^{(x,y)} = \cos(2\rho_A^{(x,y)} - 2\rho_B^{(x,y)}) \sin \delta_A^{(x,y)} \sin \delta_B^{(x,y)} + \cos \delta_A^{(x,y)} \cos \delta_B^{(x,y)} \quad (9)$$

Строгий розв'язок оберненої задачі - виявлення орієнтаційно-фазової структури  $(\rho_A^{(x,y)}; \delta_A^{(x,y)}) (\rho_B^{(x,y)}; \delta_B^{(x,y)})$  мережі біологічних кристалів внутрішнього шару ( $\mathbf{B}^{(x,y)}$ ) на фоні зовнішнього ( $\mathbf{A}^{(x,y)}$ ) - на основі співвідношень типу (9) є неоднозначним в умовах взаємодії лазерних променів з двошаровим зразком.

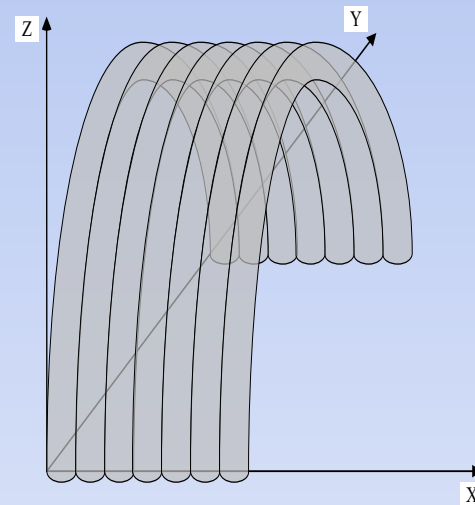
# Моделі представлення полікристалічних БШ двошарової БТ з детермінованими розподілами оптичних осей та фазових зсувів

**Модель зовнішнього БШ** – система (кількість  $n = 55$ ) впорядкованих **прямолінійних** двоприменезаломлюючих ( $\Delta n = 1,5 \times 10^{-3}$ ) циліндрів з діаметром  $d = 50 \mu m$  і довжиною циліндрів  $L = 100 \mu m$ . Напрямок  $\rho^{(x,y)}$  збігається з напрямком укладання циліндрів.






**Фазовий зсув**  
$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n d,$$
 $\lambda$  – довжина хвилі

**Модель внутрішнього БШ** – система ( $n = 55$ ) **криволінійних** (колоподібних  $R = 300 \mu m$ ) оптико анізотропних ( $\Delta n = 1,5 \times 10^{-3}$ ) циліндрів з діаметром  $d = 50 \mu m$ . Напрямок  $\rho^{(x,y)}$  визначається кутом дотичної в кожній точці циліндра.



# Результати моделювання матриці Мюллера двошарової системи мереж “прямолінійних” – “криволінійних” двопромененезаломлюючих циліндрів

Тип \ $Z_{ik}$ $Z_{22}$ $Z_{23}$ $Z_{24}$ $Z_{33}$ $Z_{34}$ $Z_{44}$	$Z_{22}$	$Z_{23}$	$Z_{24}$	$Z_{33}$	$Z_{34}$	$Z_{44}$
						
						
						

# Методи комплексного аналізу Мюллер – матричних зображень

## Статистичний аналіз ММЗ БШ

Центрування елементів

$$\text{ММЗ: } z_{ikj}^{\circ} = z_{ik} - \bar{z}_{ik}$$

Оцінки початкового моменту 1-го порядку ( $M_1$ ) та оцінки центральних моментів 2-4-го порядків ( $M_2 - M_4$ ) координатного розподілу елементів ММЗ

$$M_1 = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^{MN} (|z_{ik}|)_j;$$

$$M_2 = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=1}^{MN} \left( (z_{ik}^{\circ})_j \right)^2};$$

$$M_3 = \frac{1}{M_2^3} \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^{MN} \left( (z_{ik}^{\circ})_j \right)^3;$$

$$M_4 = \frac{1}{M_2^4} \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^{MN} \left( (z_{ik}^{\circ})_j \right)^4;$$

## Кореляційний аналіз ММЗ БШ

Автокореляційні функції (АКФ) ММЗ сіток біологічних кристалів при зсуві лише по одній координаті з усередненням в межах всіх рядків

$$\bar{K}(s) = \sum_{j=1}^N \frac{K_j(s)}{N}, \text{ де } s = \overline{(2M-1)};$$

$K_j(s)$  – АКФ елементів го рядка ММЗ.

Оцінки початкового моменту 1-го порядку ( $Q_1$ ) та оцінки центральних моментів 2-4-го порядків ( $Q_2 - Q_4$ ) автокореляційного розподілу  $\bar{K}(s)$  ММЗ

$$Q_1 = \frac{1}{2M} \sum_{s=0}^{2M-1} \bar{K}(s); \quad Q_2 = \sqrt{\frac{1}{2M-1} \sum_{s=0}^{2M-1} (\bar{K}(s) - Q_1)^2};$$

$$Q_3 = \frac{1}{Q_2^3} \frac{1}{2M-1} \sum_{s=0}^{2M-1} (\bar{K}(s) - Q_1)^3;$$

$$Q_4 = \frac{1}{Q_2^4} \frac{1}{2M-1} \sum_{s=0}^{2M-1} (\bar{K}(s) - Q_1)^4;$$

## Фрактальний аналіз ММЗ БШ

– визначення спектру потужності розподілу:

$$PSD_{z_{ik}}(v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{K}(s) \cos(2\pi vs) ds, \text{ де } v = \frac{1}{d}$$

–  $\log(PSD_{z_{ik}}(v)) - \log(v)$  та побудова апроксимуючої функції  $\Phi(z_{ik})$ ;

– визначення та аналіз фрактальної розмірності

$D(z_{ik}) = 3 - \text{tg}(\eta_i)$ , де  $\eta_i$  – кут нахилу прямих  $\Phi(z_{ik})$ ;

– визначення оцінки початкового моменту 1-го порядку ( $W_1$ ) та оцінок центральних моментів 2-4-го порядків ( $W_2 - W_4$ ) логарифмічних залежностей спектрів потужності

$$W_1 = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N (\log PSD_{z_{ik}}(v));$$

$$W_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{d=1}^N (\log PSD_{z_{ik}}(v) - W_1)^2};$$

$$W_3 = \frac{1}{W_2^3} \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N (\log PSD_{z_{ik}}(v) - W_1)^3;$$

$$W_4 = \frac{1}{W_2^4} \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N (\log PSD_{z_{ik}}(v) - W_1)^4$$

# Статистична, кореляційна і фрактальна структура Мюллер-матричних зображень двопротенезаломлюючих коаксіальних циліндрів

Оцінки	$A_{33}$	$B_{33}$	$A_{34}$	$B_{34}$	$A_{44}$	$B_{44}$	$Z_{33}$	$Z_{34}$	$Z_{44}$
$M_1$	0,73	0,57	0,09	0,01	0,13	0,1	0,43	0,05	0,18
$M_2$	0,03	0,27	0,12	0,11	0,26	0,19	0,17	0,11	0,32
$M_3$	0,14	0,18	0,57	0,49	0,16	0,34	0,19	0,61	0,16
$M_4$	1,01	6,32	1,54	3,24	0,57	2,65	4,37	3,62	2,55
$Q_2$	0,34	0,12	0,19	0,11	0,27	0,07	0,14	0,19	0,11
$Q_3$	0,47	0,89	1,12	1,52	0,94	2,04	0,68	1,95	1,24
$Q_4$	0,38	5,31	1,82	9,48	1,33	7,03	1,81	4,18	2,53
$W_1$	0,81	0,81	0,74	0,74	0,77	0,77	0,77	0,69	0,62
$W_2$	0,59	0,25	0,42	0,14	0,52	0,32	0,23	0,58	0,39
$W_3$	0,49	0,84	0,31	0,52	0,71	1,15	0,59	0,88	0,67
$W_4$	0,08	0,39	0,13	0,22	0,18	0,51	0,28	0,47	0,15

# Теоретичні основи поляризаційного відтворення розподілів ММЗ внутрішніх шарів двошарових біологічних тканин

Ідея методу: здійснюємо варіації стану поляризації  $(\alpha_0, \beta_0)$  лазерного пучка, що зондує двошарову біологічну тканину  $(z_{ik})$ , і моніторинг змін параметрів вектора Стокса  $S_{i=1;2;3;4}(X, Y)$  у точках  $(X, Y)$  її поляризаційно-неоднорідного  $(\alpha(X, Y); \beta(X, Y))$  зображення.

Елементи матриці Мюллера двошарової БТ при лінійно поляризованому зондуючому випромінюванні  $(x_{ik}(\delta = 0), x_{ik}(\delta = \pi))$

$$S_x = \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2\alpha_x \\ \sin 2\alpha_x \\ 0 \end{pmatrix} \Leftrightarrow z_{ik}(S_x) = \begin{cases} z_{22} = y_{22}; z_{23} = y_{23}; z_{32} = y_{32}; \\ z_{33} = y_{33}; z_{34} = y_{34}; z_{43} = y_{43}; \\ z_{24} = y_{24}; z_{42} = y_{42}; z_{44} = y_{44}; \end{cases} \quad (13)$$

Елементи матриці Мюллера двошарової БТ при циркулярно поляризованому зондуючому випромінюванні  $(x_{ik}(\delta = \pm 0,5\pi))$

$$S_x^\otimes = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \Leftrightarrow z_{ik}(S_x^\otimes) = \begin{cases} z_{22} = y_{23} + y_{24}; z_{23} = y_{23} + y_{24}; z_{32} = y_{33} + y_{34}; \\ z_{33} = y_{32} + y_{34}; z_{34} = y_{32} + y_{33}; z_{43} = y_{42} + y_{44}; \\ z_{24} = y_{22} + y_{23}; z_{42} = y_{43} + y_{44}; z_{44} = y_{42} + y_{43}; \end{cases} \quad (14)$$

Для кута повороту  $\theta = \alpha^* + \pi/4$  площини поляризації зондуючого двошарову кристалічну сітку лазерного пучка

$$S(\theta) = \begin{pmatrix} 1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ z_{24} \\ z_{34} \\ z_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \sin 2\rho \sin \delta \\ \cos 2\rho \sin \rho \\ \cos \delta \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$S_2^2(\theta) + S_3^2(\theta) + S_4^2(\theta) \rightarrow 1 \quad (16)$$

$$\begin{cases} \rho_A = 0,25\pi + \theta; \\ \rho_B = 0,5 \arctg(S_3(\theta)/S_2(\theta)). \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} \delta_A = \arccos \left( \pm \sqrt{1 + \frac{1 - \cos(\delta_B^{(x,y)})}{\cos^2(2(\rho_A^{(x,y)} - \rho_B^{(x,y)})(1 + \delta_B^{(x,y)})}} \right); \\ \delta_B = \arccos(S_4^{(x,y)}(\theta)). \end{cases} \quad (18)$$

# **Результати лазерної терапії діляться на три групи: протибольові, протизапальні і біостимуляційні**

**Протибольові ефекти викликані лазерним опроміненням приводять до:**

- **гіперполяризації поверхонь нервових клітин;**
- **виділення ендорфіну;**

**Протизапальні ефекти викликають:**

- **розширення кровоносних судин;**
- **покращання мікрообігу;**
- **стимуляцію міграції макрофагів.**

# **Показання для застосування лазерної термотерапії (ЛТТ) з використанням інфрачервоного лазерного випромінювання ближнього діапазону спектру**

- Травми різної локалізації та етіології
- Вогнепальні травми
- Стан після операцій з приводу ампутацій кінцівок
- Стан після пластики дефектів м'яких тканин
- Опіки та рани
- Ушкодження м'язів
- Тендиніти
- Артрози
- Тендовагініти
- Епікондиліти
- Бурсити

**Стимулююча дія на процеси  
регенерації тканин**

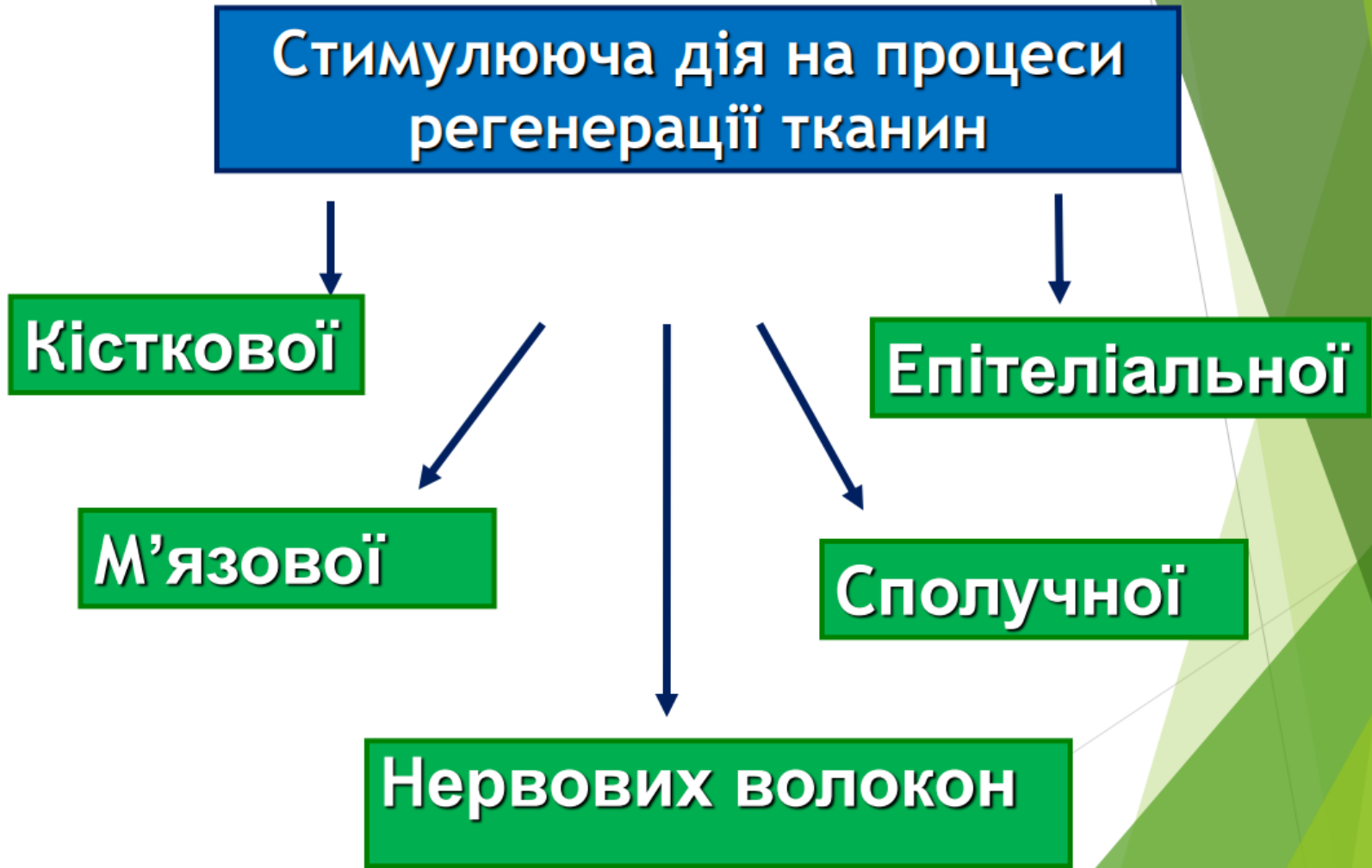
**Кісткової**

**М'язової**

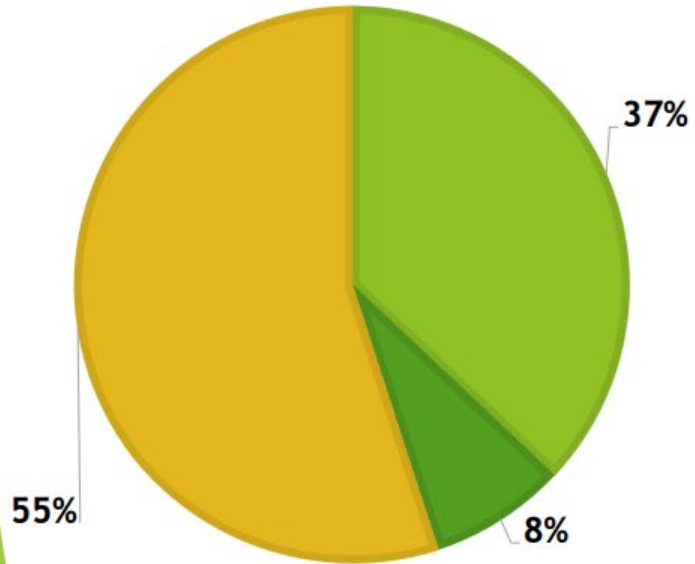
**Епітеліальної**


**Сполучної**

**Нервових волокон**



# Актуальність



 Вогнепальний перелом



 Міно-вибухові поранення

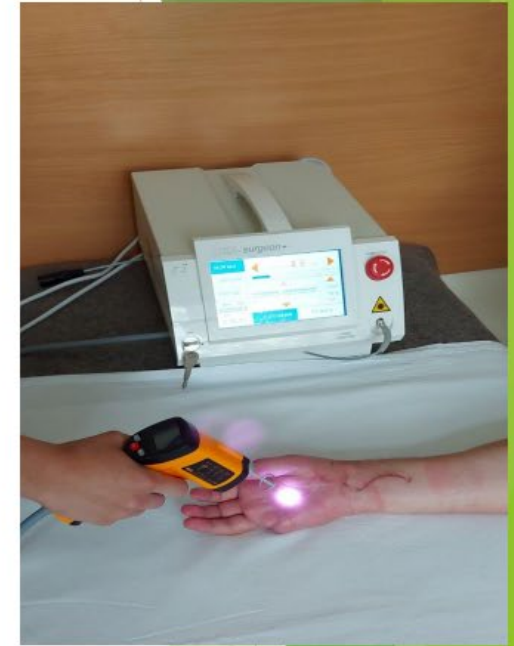


 Поранення м'яких тканин без перелома кісток



# Вогнепальні ушкодження

ЛІКУВАННЯ ВИСОКОІНТЕНСИВНИМ ЛАЗЕРОМ (HILTЕРАPIA)



**Лазерна термотерапія з використанням лазерного випромінювання ближнього інфрачервоного діапазону спектра**

# Сукупність результатів отриманих під час виконання гранту стануть основою для розвитку лазерних та фотонних біомедичних систем нового покоління для діагностування рівня периферійного кровонаповнення з керованою динамікою характеристик оптичного випромінювання та медичної реабілітації політравм різного ступеня важкості.

22.06.2022 шкірна пластика тильної поверхні правої стопи на судинній ніжці.  
Пересаджений клапоть шкіри з підшови правої стопи на бокову поверхню



**Процедура 1.** 30.09.2022 невеликий набряк пересадженого клаптя, II - стадія утворення «молодого» рубця (потужність 1.5 Вт, імпульс - 20 мс, пауза - 200 мс)



**Процедура 2.** 3.10.2022. Пересаджена шкіра підсохла має вигляд луски. Краї підсохші, згладжені. (потужність 1.5Вт, імпульс - 20 мс, пауза - 200 мс)

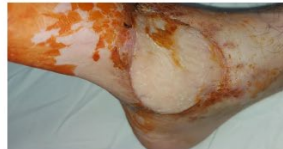


**Процедура 3.** 4.10.2022. Поверхня підсохла має вигляд «луски» з тріщинками.  
III - стадія утворення «зрілого» рубця (потужність 10 Вт, імпульс - 50 мс, пауза - 500 мс)

## Краї рубця еластичні



**Процедура 4.** 5.10.2022. (потужність 10 Вт, імпульс - 50 мс, пауза - 500 мс)



**Процедура 5.** 6.10.2022. шкіра очистилась від луски, має гладеньку, еластичну поверхню



**Процедура 10.** 14.10.2022.

# Захист PhD дисертацій в рамках міжнародної програми “International Doctoral Studio Program”, 13 грудня 2023 року

25:25

Method of pre-processing of the obtained images of the affected areas of the eye

Reducing image resolution

Cropping the image

Учасники

- Равлов Сергій (V... (гость)
- Андрей Смоларз
- Амантин (гость)
- Jerzy Świątek
- Konrad Gromaszek
- Oleksandr Karas (гость)
- Paweł Komada
- Paweł Piżarski
- Piotr Kisala
- rdn aeie
- Saule Smailova (гость)

Управлять Контекст Чат Участники Поднять руку Разгруппировать Вид Ещё

Учасники

- Равлов Сергій (V... (гость)
- Тітова Наталія Володимирівна
- Андрей Котура
- Jerzy Świątek
- Oleksandr Bezkorovyi (гость)
- Paweł Komada
- Piotr Kisala
- Piotr Miller
- rdn aeie
- Saule Smailova (гость)

*Dziękuję za uwagę!*  
*Thank you for your attention!*

MSc Oleksandr Bezkorovyi  
Supervisor: Andrzej Kotura, PhD, DSc Eng  
Sergii Pavlov, PhD, DSc Eng

Click to add notes

## Результати НДР:

Отримано математичну модель мюллер-матричного відтворення розподілів орієнтаційних та фазових параметрів екранованих зовні дермою шкіри біологічних шарів, що дозволяє поширити метод при застосуванні на реальні двокомпонентні біологічні структури. Отримано математичну модель мюллер-матричного відтворення розподілів орієнтаційних та фазових параметрів екранованих зовні дермою шкіри біологічних шарів, що дозволяє поширити метод при застосуванні на реальні двокомпонентні біологічні структури. Розроблено фізико-математична модель випадкового переносу фотонів у плоскопаралельному зразку шкіри на основі методу Монте-Карло з урахуванням стану поляризації лазерного зондуючого світла.

Сукупність результатів отриманих у проєкті стануть основою для розвитку мультиспектральних лазерних та фотонних біомедичних систем нового покоління для діагностування рівня периферійного кровонаповнення з керованою динамікою характеристик оптичного випромінювання та медичної реабілітації політравм різного ступеня важкості.

Область застосування результатів робіт — використання у військових шпиталях, профілактичних і лікувальних установах

**ЗА УВАГУ!**