

**RECEȚIONAT**

Agenția Națională pentru Cercetare  
și Dezvoltare \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2024

**AVIZAT**

Secția AȘM \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2024

**RAPORT ȘTIINȚIFIC anual**  
**pentru anul 2023**  
**privind implementarea proiectului din cadrul**  
**Programului de Stat (2020-2023)**

*Proiectul: Cooperativitate cuantică între emițători (nuclee, atomi, puncte cuantice, molecule, biomolecule, meta materiale) și aplicarea acestora în informatică, bio-fotonică avansată optogenetică*

Cifrul proiectului **20.80009.5007.01**

Prioritatea Strategică **V. Competitivitate economica si tehnologii inovative**

Rectorul/Directorul organizației

Șarov Igor  
(numele, prenumele)

\_\_\_\_\_  
(semnătura)

Consiliul științific/Senatul

Meșalchin Alexei  
(numele, prenumele)

\_\_\_\_\_  
(semnătura)

Conducătorul proiectului

Enachi Nicolae A.  
(numele, prenumele)

\_\_\_\_\_  
(semnătura)

L.Ș.

Chișinău 2024

## **CUPRINS:**

1. Scopul și obiectivele etapei 2023
2. Acțiunile planificate și realizate în 2023
3. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect 2023 în limba română (Anexa nr. 1)
4. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect 2023 în limba engleză (Anexa nr. 1)
5. Impactul științific/social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute
6. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect 2023:
  - Lista publicațiilor științifice 2023 (Anexa nr. 2)
  - Lista participărilor la conferințe
  - Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în proiect în mass-media
7. Executarea devizului de cheltuieli (Anexa nr. 3)
8. Componența echipei proiectului pentru anul 2023 (Anexa nr. 4)
9. Informații suplimentare (Anexa nr.5)

**1. Scopul** etapei 2023 conform proiectului depus la concurs (obligatoriu)

- a. Vor fi stabilite condițiile de activare a transportului ionic în proteinele de tip opsin (channelrhodopsin, halorhodopsin, archaerhodopsin) prin intermediul unui flux de fotoni din diapazonul spectrului vizibil, care pot sta la baza unor propuneri de dispozitive noi pentru tratarea unor maladii neuronale
- b. Se va propune un model de dirijare a ionilor centrelor de excitare situate în lanțul de aminoacizi care pot colectiv absorbi fotonii și totodată să participe la transportul cooperativ al excitărilor de la un nod la altul sub acțiunea potențialului electric format în urma ionizării spontane.

**Obiectivele** etapei 2023 (obligatoriu)

1. Se va propune un model de dirijare a ionilor centrelor de excitare situate în lanțul de aminoacizi care pot colectiv absorbi fotonii și totodată să participe la transportul cooperativ al excitărilor de la un nod la altul sub acțiunea potențialului electric format în urma ionizării spontane.
2. Se va propune un model de dirijare a ionilor centrelor de excitare situate în lanțul de aminoacizi care pot colectiv absorbi fotonii și totodată să participe la transportul cooperativ al excitărilor de la un nod la altul sub acțiunea potențialului electric format în urma ionizării spontane.

**2. Acțiunile planificate** pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei 2023 (obligatoriu)

Se va studia activarea cooperativă unor Rodopsine de tip ChR2 cu lumina spectrului vizibil în banda spectrală 460-530 nm. Posibilități de formarea curenților ionici pozitivi de tip Na, K, H, Ca va fi cercetată. Dirijarea lor sub acțiunea unui gradient de câmp electric va fi studiată. Posibilități de excitare bi-cuantică la lungimea de unda infraroșie, 960 nm, prin fibre optice va fi propusă.

Utilizarea coerenței bi-cuantice la excitarea și ionizarea unor centre va fi propusă pentru viitoarele dispozitive. Se va cerceta excitarea rodopsinei cu pulsuri laser la rezonanța bi-cuantică la o adâncime mai mare de penetrare a straturilor de neuroni. Fenomene cooperative de excitare și formare de ioni vor fi studiate luându-se în considerație straturi mai groase de 1 mm în care luminii infraroșu ușor poate pătrunde. Formarea unui gradient de câmp electric de-a lungul lanțului de proteine la ionizare și posibilități de dirijare a curenților de ioni atât pozitivi cât și negativi va fi propusă.

Se va acorda o deosebită atenție fenomenelor coerente la excitarea Raman cu lumină coerentă Stokes-pompaj și Raman coerentă anti-Stokes-pompaj. Va fi obținută dependența eficienței acestor excitări moleculare (exemplu pot fi lipide) de numărul de fotoni corelați cuantic din modurile de pompaj și Stokes/anti-Stokes. Compararea eficienței unei astfel de excitări cu efectul Raman coerent va fi prezentată.

**2. Acțiunile realizate** (obligatoriu)

- a. S-a studiat activarea cooperativă unor Rodopsine de tip ChR2 cu lumina spectrului vizibil în banda spectrală 460-530 nm. Posibilități de formarea curenților ionici pozitivi de tip Na, K, H, Ca va fi cercetată. Dirijarea lor sub acțiunea unui gradient de câmp electric va fi studiată. Posibilități de excitare bi-cuantică la lungimea de unda infraroșie, 960 nm, prin fibre optice va fi propusă.

b. Utilizarea coerenței bi-cuantice la excitarea și ionizarea unor centre a fost propusă pentru viitoarele dispozitive. A fost cercetată excitarea biomoleculilor cu pulsuri laser la rezonanța bi-cuantică la o adâncime mai mare de penetrare a straturilor de neuroni. Fenomene cooperative de excitare și formare de ioni vor fi studiate luându-se în considerație straturi mai groase de 1 mm în care lumina infraroșie ușor poate pătrunde. Formarea unui gradient de câmp electric de-a lungul lanțului de proteine la ionizare și posibilități de dirijare a curenților de ioni atât pozitivi cât și negativi va fi propusă.

c. S-a acordat o deosebită atenție fenomenelor coerente la excitarea Raman cu lumină coerentă Stokes-pompaj și Raman coerentă anti-Stokes-pompaj. Va fi obținută dependența eficienței acestor excitări moleculare (exemplu pot fi lipide) de numărul de fotoni corelați cuantic din modurile de pompaj și Stokes/anti-Stokes. Compararea eficienței unei astfel de excitări cu efectul Raman coerent va fi prezentată.

Rezultatele cercetărilor au fost prezentate la o serie de târguri

Munteanu, I. Action Of UV-C Radiation for Biomolecules Inactivation, With Application in Diagnostics. *Biomed J Sci & Tech Res.* 2023, 52(1), 43282—43287. Doi: 10.26717/BJSTR.2023.52.008192

Munteanu, I.; Starodub, E.; Enaki, N.A. Influence of Ultraviolet Radiations Against Bacteria, Fungi, Fungal Spores. Determination of UV Action Spectra Affecting the Infection Process. [Biomed J Sci & Tech Res. 2023, 50\(2\), 41448—41454](#). Doi: 10.26717/BJSTR.2023.50.007920.

Enaki, N.A.; Munteanu, I.; Turcan, M., Bazgan, S.; Paslari, T.; Starodub, E. Application of Rotation Channels for Decontamination of Pathogens in Metamaterials Penetrated by UVC Radiation. *J Infections Diseases Preventive Medicine.* 2023, 11(2), 1000296-1—1000296-3. Doi: 10.35841/2329-8731.23.11.296.

Enaki NA, Munteanu I, Turcan M, Bazgan S, Paslari T, Starodub E (2023) Application of Rotation Channels for Decontamination of Pathogens in Metamaterials Penetrated by UVC Radiation. *Infect Dis Preve Med.* 11:296.

Diploma de excelență ne-a fost oferită de către organizatorii conferinței tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor pentru prezentarea lucrării: Munteanu, I; Starodub, E. Radiații ultraviolete-c utilizate în dezinfecție și protecția suprafeței implanturilor. In: Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 5-7 aprilie 2023, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: Tehnica-UTM, 2023, Vol.2, pp. 158-162. ISBN 978-9975-45-956-3.

Mai spre finele anului am avut mai multe participări la diferite simpozioane organizate de Universitatea de stat a Moldovei, Academia de Științe a Moldovei, Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova unde am prezentat reușitele noastre în domeniul cercetării și inovării, fapt pentru care am fost apreciați cu diploma de excelență. Detalii pe:

<https://cercetare.usm.md/?p=5289>

<https://asm.md/lista-participantilor-la-festivalul-cercetarii-si-inovarii>

<https://cercetare.usm.md/?p=5231>

<https://cercetare.usm.md/?p=4744>

<https://cercetare.usm.md/?p=4661>

### 3. Rezultatele obținute (descriere narativă 3-5 pagini) (obligatoriu)

Posibilități de creare a stărilor localizate legate între partenerii celulari a fost o idee propusă de Kasha și de fapt stă la baza formării unor structuri supracelulare în care starea excitată este relativ stabilă în timp iar subsistemul electronic nu recombina în timp. Astfel de modele supracelulare ar putea apărea la absorbția cooperativă a fotonilor în procesul de împrăștiere Raman multiplu. Acest efect ar putea genera și ioni pozitivi Na, K, H, Ca la excitarea Rodopsinei, opsinei - proteine fotosensibile. Acest model presupune că între starea normală și starea excitată a moleculelor dipolare este posibilă formarea unei stări localizate a electronilor ambelor molecule astfel ca sistemul are un timp de viață relativ mare. Dacă vorbim de un sistem de astfel de molecule dipolare la excitare ele pot intra într-o legătură dipolară care ar putea duce la formarea de molecule relativ mari. Un model de excitare multiplă a stărilor moleculare și la formarea clusterelor moleculare la împrăștierea Raman indusă se propune la acest capitol. Modelul se reduce la absorbția și emisia multiplă a fotonilor în procesul de împrăștiere.

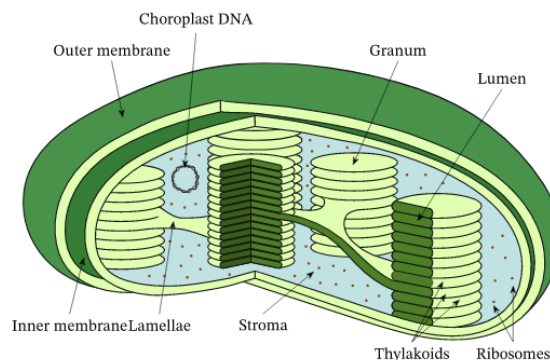


Figura 1. Observarea microrezonatoarelor (fotoreceptoare) optice sub formă de disc la cloroplaste în procesul de stocare și utilizare a radiației la fotosinteză

Modelul ar putea fi utilizat în optogenetica utilizării fotoreceptorilor naturali și artificiali, în mare parte de origine microbială, pentru a fi introduși genetic în celulele de interes. Ca efectul de multiplu Raman să posede o eficiență sporită este nevoie de o cavitate optică. În sistemele biologice o astfel de cavitate optică este observată. De exemplu la fotosinteză drept rezonator este utilizată atât membrana cloroplastului cât și elementele lui interioare. Cloroplastul este o structură din celulele plantelor și algelor verzi care este locul fotosintezei, procesul prin care energia luminoasă este transformată în energie chimică, rezultând producerea de oxigen și compuși organici bogăți în energie. La introducerea opsinei/ rodopsinei fotosensibile s-a observat, că celulele care sunt în mod natural insensibile la lumină pot fi făcute fotosensibile și adresabile prin iluminare și pot fi controlate cu precizie în timp și spațiu. Dacă ne uităm la unele proteine care fiind rezonatoare de acumulare a radiației atunci posibilități de dirijare selectivă Raman la introducerea unor astfel de proteine în celulă poate avea loc la nivel subcelular. Cu alte cuvinte subsistemele celulare sunt activate prin aplicarea elementelor de control, cum ar fi promotori, amplificatori și secvențe de țintire specifice, la ADN-ul/proteinele care codifică fotoreceptorul utilizat. Această abordare puternică permite caracterizarea și manipularea precisă a funcțiilor celulare și a motivat dezvoltarea unor metode optice avansate pentru fotostimularea modelată. Optogenetica a revoluționat neuroștiința în ultimii 15 ani și este pregătită să aibă un impact similar în alte domenii, inclusiv

cardiologie, biologia celulară și știința plantelor. Descriem principiile optogeneticii, trecem în revistă instrumentele optogeneticii cele mai frecvent utilizate, abordările de iluminare și aplicațiile științifice și discutăm posibilitățile și limitările asociate manipulărilor optogenetice într-o mare varietate de tehnici optice, celule, circuite și organisme. Fotoreceptorul criptocrom 2 a devenit un instrument optogenetic puternic care permite manipularea inductibilă de lumină a diferitelor căi de semnalizare și procese celulare în celulele de mamifere cu precizie spațio-temporală ridicată și ușurință de aplicare. S-a demonstrat, de asemenea, că comportamentul fotoreceptorului 2 sub lumină albastră este complex, deoarece fotoreceptor excitat poate suferi atât homo-oligomerizare, cât și heterodimerizare prin legarea de partenerii vecini său de dimerizare.

Procesul de împrăștiere multiplă a particulelor a fost în centrul atenției în multe investigații (a se vedea, de exemplu, [1-6]). Aspectele clasice ale împrăștierii multiple sunt în potențialele aplicații în holografie, instrumente medicale, spectroscopie laser, LIDAR și optică neliniară [7-14]. Recent, se acordă o atenție specială noului tip de emisii coerente, care apar nu numai între aceleași cuante, ci și între grupurile de fotoni generate în interacțiunea neliniară a electromagnetului. câmp (EMF) cu emițători (atomi, molecule, biomolecule etc.). Aspectele cuantice ale acestui tip de emisie au fost studiate intens în Ref. [15-20], dar conversiile multiple ale fotonilor și corelațiile lor cuantice rămân astăzi în dezvoltare. Un fascicul laser cu pompă și unul mai slab lumina sondei se propagă împreună în mediu împrăștiat constând dintr-un gaz. Acest tip de generare de lumină susține ideea de corelație coerentă care apare în câmpul bi-modal, în care sunt generați fotonii încălziți. O caracteristică fizică a radiației formate din blocurile de bi-moduri bine corelate trebuie să fie determinată de intensitatea câmpului electric al fiecărui mod și de corectitudinea într-o astfel de superpoziție.

În cercetările anterioare am luat în considerare corelațiile cuantice dintre laserul cu doi fotoni și emisia de împrăștiere indusă cu o singura treapta, act în care câmpul pompei este convertit în unul anti-Stokes. Modelul propus în acest an este axat pe împrăștierea cooperativă în mai multe etape, în care fotonii de emisie anti-Stokes pot fi reabsorbiți pentru generarea următoarelor cuante anti-Stokes în timpul efectului de împrăștiere în mai multe etape. În „n” pași ai procesului de împrăștiere, avem modul de pompare la frecvență,  $\omega_{p0}$ , stimulat de ansamblul excitat de radiatoare în raport cu energia de tranziție,  $\hbar\omega_r$  în moduri noi,  $\omega_1 = \omega_{p0} + \omega_r$ ;  $\omega_2 = \omega_{p0} + 2\omega_r$  ...,  $\omega_n = \omega_{p0} + n\omega_r$  (vezi Fig. [Fig\_1P2]). Luând în considerare faptul că câmpul de emisie conține suprapunerea acestor componente multiple ale EMF discutate în nutația cuantică cu împrăștiere multiplă,  $\mathbf{E}^{(+)}(z, t) = \mathbf{E}_{p0}^{(+)}(z, t) + \mathbf{E}_{as1}^{(+)}(z, t) + \mathbf{E}_{as2}^{(+)}(z, t) + \dots + \mathbf{E}_{asn}^{(+)}(z, t)$ , introducem o caracteristică nouă a unui astfel de câmp de cavitate:  $\hat{\Pi}_1^+(t) \sim \hat{E}_{asj}^{(+)}(t)\hat{E}_{asj-1}^{(-)}(t)$ ;  $\hat{\Pi}_2^+(t) \sim \hat{E}_{asj}^{(+)}(t)\hat{E}_{asj-2}^{(-)}(t)$ ; ...;  $\hat{\Pi}_\alpha^+(t) \sim \hat{E}_{asj}^{(+)}(t)\hat{E}_{asj-\alpha}^{(-)}(t)$ ; ... . În această cercetare atenția principală se focalizează asupra sumei după, j, a componentelor produsului,  $\hat{E}_j^{(+)}(t)\hat{E}_{j+\alpha}^{(-)}(t)$ , pentru  $\alpha > 1$ , acest corelator conține corelațiile dintre fotonii din câmpurile de împrăștiere multiple neadiacente descrise de faza clasică a undelor,  $\phi_{k\alpha} = i\alpha\omega_r t + i\alpha Kz$ . Aici  $\hbar\alpha\omega_r = \hbar\omega_{j+\alpha} - \hbar\omega_j$  și  $\alpha K = k_{j+\alpha} - k_j$  corespunde excitației cavității cu  $\alpha$ - cuante de energie,  $\hbar\omega_r$ ; K este vectorul de undă al componentelor bimodală în fiecare pas de laser indus de ordin superior. Se discută posibilitățile de detecție a unor astfel de fenomene de cooperare după propagarea fotonilor corelați prin diferite fibre.

Un aspect atractiv al problemei constă în excitația selectivă cu doua cuante a unor atomi sau molecule ale sistemului, unde radiația dipol activă este mica iar împrăștierea Raman indusa planează sistemul molecular între două stări metastabile (una de exemplu legata de tip cluster, alta separata). Ultima idee poate fi aplicată în microbiologie [17, 20], unde o dezactivare selectivă a unor structuri moleculare (de exemplu a virusurilor) în țesut poate deveni posibilă în excitația Raman indusă. În astfel de situații apare o necesitate pentru o bună descriere atât a amplitudinii, cât și a fazei acestui nou tip de radiație formată din fotoni corelați bimodală. O altă aplicație a coerenței de împrăștiere multiplă poate fi utilizată în reciclarea fotonilor în interiorul celulelor solare. Aici absorbția fotonului este însoțită de excitarea purtătorului de sarcina care reemit un alt foton cu energie mai mică. Acesta în etapa următoare participă la același ciclu de reabsorbite și generare a unui nou purtător de sarcina în semiconductori precum Perovskitii.

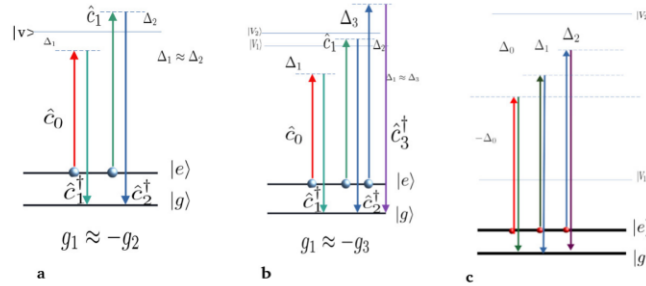


Fig.2 Posibilă realizare a simetriilor SU(2) și SU(1,1) în tranzițiile multiple de împrăștiere. A. Realizarea a două etape su(2) de împrăștiere cu aceeași dezacordare față de starea virtuală V; b. Conexiunile posibile între amplitudinile de împrăștiere în cele trei trepte procesează pentru simetria SU(2), când frecvența celei de-a doua etape a unei astfel de împrăștiere este situată între cele două stări virtuale. c. Realizarea posibilă a simetriei SU(1,1) în împrăștiere multiplă, atunci când procesul este situat între cele două stări virtuale ale radiatorului la o distanță energetică relativ mare cu aceeași mărime a amplitudinilor de tranziție prin ambele procese de împrăștiere.

După cum rezultă din rezultatele prezentate în procesul de împrăștiere multiplă în câmpul de

cavitate închisă este descris de operatorii de fotoni colectivi,  $\hat{\Lambda}_n^- = \sum_{p=0}^{n-1} g_{p+1} \hat{c}_{p+1} \hat{c}_p^\dagger / \chi_n$  și

$$\hat{\Lambda}_n^+ = \sum_{p=0}^{n-1} g_{p+1} \hat{c}_p \hat{c}_{p+1}^\dagger / \chi_n$$

, a căror simetrie depinde de relația de comutație dintre ele. Unele dintre aceste simetrii decurg cu adevărat din pozițiile statisticilor virtuale, prin care au loc multiplele emisii Raman. Partea de împrăștiere multiplă a Hamiltonianului,  $\hat{H}_I = \hbar \chi_n \hat{\Lambda}_n^- \hat{D}^+ + H.c.$ , depinde de constanta de împrăștiere,  $g_p$ , inclusă în operatorul bimodal,  $\hat{\Lambda}_n^+$  (sau  $\hat{\Lambda}_n^-$ ), în procesul de dezexcitare,  $\hat{D}^-$ , (excitație,  $\hat{D}^+$ ) a ansamblului atomic relativ la stările ieșite și fundamentale. Ca exemplu, simetria su(2) în doi pași, conversia Raman poate fi realizată atunci când starea virtuală principală este plasată simetric față de modul pompă,  $\Delta_0 = \omega_{v2} - \omega_{p0} > 0$  pentru prima generație anti-Stokes și cu detonarea negativă,  $\Delta_1 = \omega_{v2} - \omega_1 < 0$ , pentru a doua generație anti-Stokes, astfel încât să se realizeze situația  $g_1 = -g_2$  (vezi Fig. 1a). Cele trei trepte ale lui Raman pot fi, eventual, relativ la două niveluri virtuale, având în vedere că rezonanța celui de-al doilea pas este situată între ele, așa cum este reprezentat în Fig.2b. Cele patru etape ale împrăștierei romane pot fi approximate în aceeași poziție a nivelului virtual, așa cum este descris în Fig. 1a și b. Simetria

su(1,1) necesită o atenție specială având în vedere că toate modurile împrăștiate sunt plasate între două niveluri virtuale. Având în vedere că ambele niveluri virtuale sunt departe de rezonanță cu componentele de împrăștiere, așa cum aceasta este reprezentată în Fig. 1c, reprezentăm amplitudinile de împrăștiere,  $\{g_p\}$ , ca o suprapunere a tranzițiilor prin ambele etichete virtuale,  $g_p \sim 1/(\omega_{v_1 2} - \omega_{p_0}) + 1/(\omega_{v_2 2} - \omega_{p_0})$ . Este posibil să se obțină dependența liniară a amplitudinii,  $g_p$ , de ordinea treptelor sale după substituțiile  $\omega_p = \omega_{p_0} + p\omega_r$  și având în vedere că  $\Delta\omega_0 = \omega_{v_1 2} - \omega_{p_0} = \omega_{p_0} - \omega_{v_2 2}$ . Aici câmpul pompei este la frecvența  $\omega_{p_0} \equiv \omega_0$ . În această situație, amplitudinea de împrăștiere devine proporțională cu ordinea pasului,  $g_p \sim 2p\omega_r/(\Delta\omega_0^2 - p^2\omega_r^2)$ , pentru dezacorduri mari de la ambele niveluri virtuale reprezentate în Fig. 1c.

În această secțiune, punem injectarea atomilor excitați în zona evanescentă o posibilitate de a găsi starea de laser a fotonilor în modurile cavități/fibre bimodală, așa cum este reprezentat în Fig. 2. Pentru aceasta, dezvoltăm metoda de eliminare a operatorilor atomici, când numărul mediu de radiatoare,  $N=2j$ , pompate în zona evanescentă pierde o mică parte din inversiunea  $D_z$  în timpul dezactivării. După eliminarea operatorilor fotonilor împrăștiați în câmpul extern, pentru ecuația generalizată similară cu cea din literatura [18-20] pentru operatorii câmpului de cavitate,  $\hat{\Lambda}(t)$ , ia următoarea formă,

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\langle\hat{\Lambda}(t)\rangle &= i \sum_{p=0}^n \omega_p \langle[\hat{c}_p^\dagger(t)\hat{c}_p(t), \hat{\Lambda}(t)]\rangle \\ &+ i\chi_n \langle\{[\hat{\Lambda}_n^-(t), \hat{\Lambda}(t)]\hat{D}^+(t) + \hat{D}^-(t)[\hat{\Lambda}_n^+(t), \hat{\Lambda}(t)]\}\rangle \\ &\cap + \sum_p \Gamma_p \langle\{[\hat{c}_p^\dagger(t), \hat{\Lambda}(t)]\hat{c}_p(t)\hat{D}^+(t)\hat{D}^-(t)\}\rangle \\ &+ H.c.\{[\hat{\Lambda}(t)]^+ \rightarrow \hat{\Lambda}(t)\}. \end{aligned}$$

Coerenta dintre componentele multiple Raman generate este studiată. Aici luăm în considerare faptul că operatorii de câmp,  $\hat{\Lambda}(t)$ , pot fi operatori,  $(\hat{\Lambda}_n^+(t))^k (\hat{\Lambda}_n^-(t))^m$ , cu puteri aleatorii,  $k$  și  $m$  sau alte combinații ale unor astfel de operatori. Primul termen din Exp. de mai sus descrie comutatorul operatorului de câmp cu câmp liber care conține modurile pompei la frecvență,  $\omega_0$  și câmpul cu cavitate împrăștiată la frecvențele  $\omega_p = \omega_0 + p\omega_r$ . Al doilea termen conține comutatorul a operatorului  $\hat{\Lambda}(t)$  cu partea de interacțiune a Hamiltonianului cu câmp extern  $\hat{H}_{BC}^e = \sum_{k,p} \hbar\chi_{kp} \{\hat{c}_p \hat{b}_k^\dagger + \hat{b}_k^\dagger \hat{c}_p\} + H.c.$ , care ia în considerare posibilă împrăștiere a fotonilor din moduri de cavitate în câmpul extern al rezonatorului, descrise de operatori de generare și anihilare,  $\hat{b}_k^\dagger$  și  $\hat{b}_k$ . Conform acestui concept putem elimina operatorul câmpului extern. Atunci pierderile de fotoni din cavitate devin egale cu expresia,  $\Gamma_p = \pi \sum_k |\chi_{p,k}|^2 \delta(\omega_k - \omega_p - \omega_r)$ . Coerenta dintre componentele multiple Raman generate este studiată baza momentelor cuantice ale operatorilor de creare și anihilare a particulelor de cavitate,  $(\hat{\Lambda}_n^+(t))^k (\hat{\Lambda}_n^-(t))^m$ .



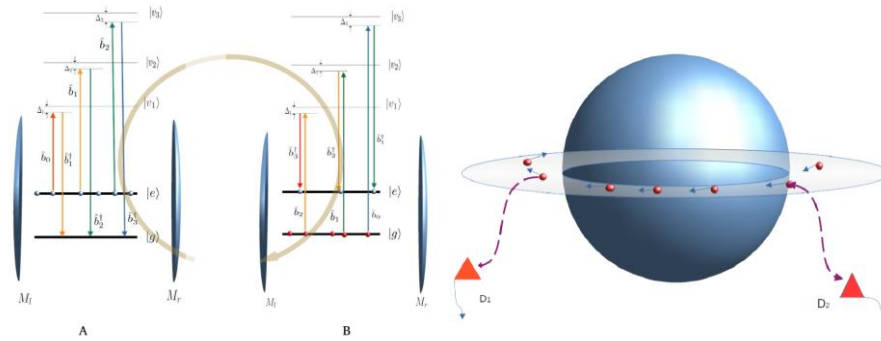


Fig. 3 Câmpul de împrăștiere induce o tranziție multiplă Raman în cavitate. (A) corespunde situației în care fluxul atomic este pregătit în stare excitată și procesul de laser multiplu are loc cu reabsorbția și generarea de noi moduri anti-Stokes cu frecvențe :  $\omega_1 + \omega_r, \omega_1 + 2\omega_r, \omega_1 + 3\omega_r, \dots$ . Fig. B. corespunde situației în care sistemul atomic este pregătit în starea fundamentală, iar procesul de împrăștiere multiplă convertește pompează fotonii în moduri de împrăștiere Stokes :  $\omega_1 - \omega_r, \omega_1 - 2\omega_r, \omega_1 - 3\omega_r, \dots$ . posibila nutație între aceste două stări este descrisă literatura.

Unele aspecte aplicative ale interacțiunii ultraviolete cu fungii de drojdie au fost realizate de cercetătorii nominalizați mai jos. Cercetătorul științific Munteanu Ion Anul 2023 a fost unul din pionierii importanțelor realizări în domeniul științei și inovării. Totul a început chiar în primele zile ale anului 2023 cu apariția în presa internațională a lucrării: **Munteanu I.**; Turcan M. , Starodub E., Bazgan S., Nisteanu A., Paslari T. and Enaki N.A., Ultraviolet C Radiation for Disinfection and Protection Using Periodical Optical Structure for Dental Implant, IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering EHB 2022 - 10-th Edition 17-19, (<http://www.ehbconference.ro/>).

Apoi a urmat brevetarea unui prototip de aparat pentru decontaminarea lichidelor, iar pe parcursul anului AGEPI a acordat aviz pozitiv acestei idei know-how înregistrat cu numărul s **2023 0031**. În baza brevetului obținut am participat la câteva saloane de inventica precum: "salonul internațional al cercetării științifice, inovării și invenției PRO INVENT 2023 - EDIȚIA XXI, Cluj-Napoca, România" **Ion MUNTEANU**, Nicolae ENACHI; "Dispozitiv pentru decontaminare lichide, Salonul Internațional de Invenții și Inovații „Traian VUIA” 2023 la Timișoara., **Ion Munteanu**, Nicolae A. Enaki; "Dispozitiv pentru decontaminare lichide." Romania, <https://cercetare.usm.md/?p=3936>, The International Specialized Exhibition "INFOINVENT" 2023, Ion Munteanu, Nicolae Enachi; "Device for decontamination liquid" <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://infoinvent.md/assets/files/inf/1.B.52.pdf> obținind numeroase diplome de excelență și 3 medalii aur. Cu o altă tematică laboratorul de Optica Cuantică și Procese Cinetice a fost prezentat la următoarele saloane de inventica.

Aceste târguri de inventica ne-au surprins frumos cu numeroase distincții de onoare, diplome de excelență cât medalii de aur și argint.

În perioada aprilie-iunie am fost în deplasare din cont propriu la Institutul Național pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației din Măgurele, România unde împreună cu echipa de acolo sub conducerea d-lui Prof. Ion Mihailescu a efectuat o serie de experimente cu aparatură modernă precum laser cu excimeri, energimetru, spectrometru UV-VIS de înaltă precizie. Rezultatele obținute au fost analizate și concluzionate de către echipa de la Măgurele, atât și de echipa laboratorului de Optica Cuantică și Procese Cinetice, IFA din Chișinău. În urma acestei colaborări a fost posibilă publicarea unui articol în revista internațională

Enaki, N.A.; Munteanu, I.; Paslari, T.; Turcan, M.; Starodub, E.; Bazgan, S.; Podoleanu, D.; Ristoscu, C.; Anghel, S.; Badiceanu, M.; Mihailescu, I.N. Topological avenue for efficient decontamination of large volumes of fluids via UVC irradiation of packed metamaterials. *Materials*. 2023, 16(13), 4559-1—4559-13. Doi: 10.3390/ma16134559. (Impact Factor 3,4).

În perioada anului 2023 mult efort s-a depus pentru a face fata recenziilor din cadrul revistelor la numeroasele întrebări, dar într-un final ne bucuram de articole publicate in diferite reviste chiar si cu impact factor:

## References

1. Ferro-Luzzi M 2021 Multiple scattering: variance of the transverse offset after an arbitrary number of media. CERN-SHiP-INT-2021-004
2. Jensen G V , and Barker J G 1918 Effects of multiple scattering encountered for various small-angle scattering model functions, *J. Appl. Cryst.* **51** 1455-1466, <https://doi.org/10.1107/S1600576718010816>
3. Agueny H, Makhoute A, Tökési K, Dubois A, Hansen J P 2017, Quantum interferences induced by multiple scattering paths of the electron prior to emission in large molecules, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, **406**, B, 714-717 . <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.03.163>.
4. Pinsker F 2016 Multiple scattering induced negative refraction of matter waves. *Sci Rep* 6, 20751 . <https://doi.org/10.1038/srep20751>
5. Gelbart W M 1979. Collision-induced and multiple light scattering by simple fluids. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* **293**, 359-375
6. Lee C Y, Chang C C, Sung C L, and Chen Y F 2015 Intracavity continuous-wave multiple stimulated-Raman-scattering emissions in a KTP crystal pumped by a Nd:YVO4 laser. *Optics Express*, **23(17)**, 22765. DOI:10.1364/OE.23.022765
7. Weigl F, 1971, A generalized technique of two-wavelength, nondiffuse holographic interferometry, *Appl. Opt.* **10(1)**, 187-192.
8. Son S N, Song J J, Kang J U, and Kim C S 2011 Simultaneous second harmonic generation of multiple wavelength laser outputs for medical sensing, *Sensors*, **11(6)**, 6125-6130
9. Boixeda P, Carmona L P , Vano-Galvan S, Jacn P, and Lanigan S W 2008 Advances in treatment of cutaneous and subcutaneous vascular anomalies by pulsed dual wavelength 595- and 1064-nm application, *Med Laser Appl*, **23(3)**, 121-26.
10. Basov N G, Gubin M A, Nikitin V V, Nikuchin A V, Petrovskii V N, Protsenko E D, and Tyurikov D A 1982 Highly-sensitive method of narrow spectral-line separations, based on the detection of frequency resonances of a 2-mode gas-laser with non-linear absorption, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz.* **46**, 1573-1583
11. Farley R W and Dao P D 1995 Development of an intracavity-summed multiple-wavelength Nd:YAG laser for a rugged, solid-state sodium lidar system, *Appl. Opt.* **34(21)**, 4269-4273.

12. Chen Y F, Chen Y S, and Tsai S W 2004 Diode-pumped Q-switched laser with intracavity sum frequency mixing in periodically poled KTP, *Appl. Phys. B* **79(2)**, 207-210
13. Li Fan, Xiaoyu Wang, Xiaodong Zhao, Jianhui Wang, Jun Shen, Huibo Fan, Jun Zhu, and Mingya Shen 2020 First-Stokes and second-Stokes multi-wavelength continuous-wave operation in Nd:YVO<sub>4</sub>/BaWO<sub>4</sub> Raman laser under in-band pumping, *Chinese Optics Letters*, **8(11)**, 111401
14. Chencheng Shen, Xianglong Cai, Youbao Sang, Tiancheng Zheng, Zhonghui Li, Dong Liu, Wanfa Liu, Jingwei Guo. 2020 Investigation of multispectral SF<sub>6</sub> stimulated Raman scattering laser. *Chinese Optics Letters*, **18(5)**: 051402. DOI: 10.3788/COL202018.051402
15. Song X-B, Xu D-Q, Wang H-B, Xiong J, Zhang X, Cao D-Z. et al. 2013 Experimental observation of one-dimensional quantum holographic imaging, *Appl. Phys. Lett.* **103**, 131111. <https://doi.org/10.1063/1.4822423>
16. Slussarenko S and Pryde G J 2019 Photonic quantum information processing: A concise review, *Appl. Phys. Rev.* **6(4)**, 041303. <https://doi.org/10.1063/1.5115814>
17. Riazi A, Chen Ch, Zhu E Y, Gladyshev A V, Kazansky P G, Sipe J E, and Qian Li 2019 Biphoton shaping with cascaded entangled-photon sources. *npj Quantum Inf.* **5**, 77. <https://doi.org/10.1038/s41534-019-0188-1>
18. Enaki N A, Ciornea V I, 2004 The coherent generation of the photon pairs by stream of excited atoms passing through the cavity. *Physica A*, **340(1-3)**, 436-443. DOI: 10.1016/j.physa.2004.04.038
19. Enaki N A, and Turcan M 2012 Cooperative Scattering Effect Between Stokes and Anti Stokes Field Stimulated by a Stream of Atoms. *Optics Commun.* **285(5)**, 686-692. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2011.11.011>
20. Enaki N, Turcan M 2013 Cooperative quantum correlations between Stokes and anti-Stokes modes in four-wave mixing. *Physica Scripta*, **T153**, 014021. DOI:10.1088/0031-8949/2013/T153/014021

#### **4. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului (obligatoriu)**

Rezultatele obținute atât la descriere mecanismelor de absorbție și emisie cooperativă a radiației, pot fi utilizate la noi elaborări în sistemele de inactivare indusă sau selectivă a unor patogeni sensibili în anumite zone spectrale de absorbție, sau la anumite durate de puls laser. Combinarea frecvențelor din spectru roșu/infraroșu cu cel din spectru ultraviolet C deschide o oportunitate nouă la posibile corelații dintre vibrațiile subsistemului lent de nuclee al biomoleculilor și subsistemul rapid electronic al acestuia. Legăturile covalente ionice sau hidrogenice ar putea fi testate la această combinație evidențiind noi parametri critici, necesari la elaborarea dispozitivelor de decontaminare, diagnostică, senzori optici.

Proiectul a avut ca scop de a combina cercetarea fundamentală cu cea aplicativă utilizând rezultatele obținute pe parcursul ultimilor ani. Strategia noastră constă în elaborarea de noi dispozitive accesibile la producere în Republica Moldova. În această direcție avem succese în sensul că dispozitivele expuse la diferite expoziții internaționale au fost apreciate și premiate. Aceste dispozitive vor avea un impact mare asupra societății, prin costul lor redus și posibilitatea de instalare în apeductul fiecărui apartament pentru securitatea colectivă a cetățenilor. Unele schițe ale dispozitivelor propuse ar putea fi propuse pentru dezvoltarea optogeneticii în Republica Moldova. Întrucât direcția de cercetare unește unele aspecte științifice ale chimiei și biologiei, doi doctoranzi din aceste domenii au decis să-și continue studiile doctorale pe teme adiacente cercetării prezentate în acest proiect.

#### **5. Colaborare la nivel național și internațional în cadrul implementării proiectului (după caz)**

La momentul actual colaborăm intens cu laboratorul profesorului Ion Mihailescu la utilizarea mai eficientă a surselor laser de intensitate înaltă frecvență și durată de puls specifică. Aici avem în vedere surse laser pulsate din domeniu spectral ultraviolet C și domeniul vizibil cu durată de nanosecunde sau picosecunde în funcție de necesitate. De asemenea colaborăm și cu Catedra de Fiziologie de la Universitatea de Stat de Medicină și Farmaceutică „Nicolae Testemițanu” ( USMF „Nicolae Testemițanu”), unde discipolul nostru Nelly Ciobanu duce o activitate de aplicare a surselor laser în tratament și diagnostica medicală. Aria de cercetare se extinde și spre unele laboratoare din SUA unde activează Prof. Ashok Vaseashta, care colaborează cu noi mai mult de 15 ani deja.

#### **6. Dificultățile în realizarea proiectului (financiare, organizatorice, legate de resursele umane etc.) (după caz)**

La moment în laborator avem două lasere Q-Scan și Q-Smart care generează împreună pulsuri ultraviolet C de durată 1 ns.

- Consumabile pentru întreținerea funcționalității laserului Q-Scan și Q-Smart, coloranți, alcool metilic.

- Lămpi infraroșii și ultraviolete pentru inactivarea agenților patogenici.

Toate acestea am putea să le obținem și prin aplicare la Proiecte Internaționale sau prin colaborare Internațională, dar o rezervă națională nu ar fi rău la acest capitol.

#### **7. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de publicații (obligatoriu)**

*Lista publicațiilor din anul 2023 în care se reflectă doar rezultatele obținute în proiect, perfectată conform cerințelor față de lista publicațiilor (a se vedea Anexa 2)*

*Lucrări în reviste Internaționale:*

1. Starodub E, Munteanu I, Bazgan S, Podoleanu D, Costisen I and Enaki N.A. Construction of Rotation Channels for Pathogens Using the Repacking Method of Elements from Metamaterial Penetrated By Ultraviolet C Radiation. Review Article. *Physical Science & Biophysics Journal*. 7(2) (2023) DOI: 10.23880/psbj-16000256.
2. Munteanu, I.; Starodub, E.; Enaki, N.A. Influence of Ultraviolet Radiations Against Bacteria, Fungi, Fungal Spores. Determination of UV Action Spectra Affecting the Infection Process. *Biomed J Sci & Tech Res*. 2023, 50(2), 41448—41454. Doi: 10.26717/BJSTR.2023.50.007920.
3. Enaki, N.A.; Munteanu, I.; Paslari, T.; Turcan, M.; Starodub, E.; Bazgan, S.; Podoleanu, D.; Ristoscu, C.; Anghel, S.; Badiceanu, M.; Mihailescu, I.N. Topological avenue for efficient decontamination of large volumes of fluids via UVC irradiation of packed metamaterials. *Materials*. 2023, 16(13), 4559-1 - 4559-13. Doi: [10.3390/ma16134559](https://doi.org/10.3390/ma16134559). (IF 3,4).
4. Enaki, N.A.; Munteanu, I.; Turcan, M., Bazgan, S.; Paslari, T.; Starodub, E. Application of Rotation Channels for Decontamination of Pathogens in Metamaterials Penetrated by UVC Radiation. *J Infections Diseases Preventive Medicine*. 2023, 11(2), 1000296-1—1000296-3. Doi: 10.35841/2329-8731.23.11.296.

*Participari la targurile de inventică Brevetări:*

5. Munteanu I.; Turcan M., Starodub E., Bazgan S., Paslari T. and **Enaki N.A.** : Inv: “Application of rotation channels for decontamination of pathogens in metamaterials penetrated by UVC radiation” Inventics International Conference , The 26th edition 23rd June – 24th June 2022, Iași, Romania <https://ini.tuiasi.ro/conference/>
6. Munteanu I., Marina Turcan, Starodub E., Bazgan S., Nistoreanu A., Paslari T., Marin T. and Enaki N.A., Inv: Ultraviolet C decontamination rate of fluids stimulated by new rotation channels in repacked metamaterials, PRO INVENT 2022 The 20th edition of the International Exhibition of Research, Innovations and Inventions 26 - 28 October 2022, Cluj-Napoca, România, <https://proinvent.utcluj.ro/salon.html>
7. Munteanu I.; Turcan M. , Starodub E., Bazgan S., Nistoreanu A., Paslari T. and **Enaki N.A.**, Ultraviolet C Radiation for Disinfection and Protection Using Periodical Optical Structure for Dental Implant, IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering EHB 2022 - 10-th Edition 17-19 (Acceptată pentru IEEE Proceedings 4 pp în presa). <http://www.ehbconference.ro/>
8. Paslari Tatiana, Bazgan Serghei, Starodub Elena, Turcan Marina, **Enaki Nicolae**. Separarea centrifugala a patogenilor si inactivarea lor cu UVC. Expoziția Internațională Specializată (EIS) „INFOINVENT”, ediția a XVII-a, 19 noiembrie, 2021.
9. Ion Munteanu, **Nicolae Enachi**; "Device for decontamination liquid" The International Specialized Exhibition “INFOINVENT” 2023 <chrome-extension://efaidnbmninnkcbpcbjpcgclidfndmkaj/https://infoinvent.md/assets/files/inf/1.B.52.pdf>
10. Ion Munteanu, Marina Turcan, Elena Starodub, Sergiu Bazgan, Tatiana Paslari, Podoleanu Diana and Nicolae A. Enaki; "New possibilities of disinfection and protection surface implant by ultraviolet C radiation using periodical optical structure.", Ediția a 27-a a Salonului Internațional de Invenții INVENTICA 2023, Iasi, Romania, <https://cercetare.usm.md/?p=3953>
11. Ion Munteanu, Elena Starodub, Nicolae Enaki; "New possibilities of channelling ultraviolet c radiation through metamaterials to implant contact with cellular tissue", The 15th Edition of

EUROINVENT 2023, Iasi, Romania, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.euroinvent.org/cat/EUROINVENT\_2023.pdf p.142

12. Ion Munteanu, Nicolae Enachi; "Dispozitiv pentru decontaminare lichide" salonul internațional al cercetării științifice, inovării și invenției PRO INVENT 2023 - EDIȚIA XXI, Cluj-Napoca, România". <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://proinvent.utcluj.ro/img/catalogs/2023.pdf>
13. Ion Munteanu, Nicolae A. Enaki; "Dispozitiv pentru decontaminare lichide.", Salonul Internațional de Invenții și Inovații „Traian VUIA” 2023 la Timișoara., Romania, <https://cercetare.usm.md/p=3936>

**8. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de prezentări la foruri științifice.** (comunicări, postere – pentru cazurile când nu au fost publicate în materialele conferințelor)

1. Ion Munteanu, Marina Turcan, Elena Starodub, Sergiu Bazgan, Tatiana Paslari, Podoleanu Diana and Nicolae A. Enaki; "New possibilities of disinfection and protection surface implant by ultraviolet C radiation using periodical optical structure.", Ediția a 27-a a Salonului Internațional de Invenții INVENTICA 2023, Iasi, Romania, <https://cercetare.usm.md/?p=3953> Ion Munteanu, Elena Starodub, Nicolae Enaki; "New possibilities of channelling ultraviolet c radiation through metamaterials to implant contact with cellular tissue", The 15th Edition of EUROINVENT 2023, Iasi, Romania, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.euroinvent.org/cat/EUROINVENT\_2023.pdf p.142
2. Munteanu I.; Turcan M., Starodub E., Bazgan S., Paslari T. and Enaki N.A. : Inv: "Application of rotation channels for decontamination of pathogens in metamaterials penetrated by UVC radiation" Inventics International Conference , The 26th edition 23rd June – 24th June 2022, Iași, Romania <https://ini.tuiasi.ro/conference/>
3. Munteanu I., Marina Turcan, Starodub E., Bazgan S., Nistreanu A., Paslari T., Marin T. and Enaki N.A., Inv: Ultraviolet C decontamination rate of fluids stimulated by new rotation channels in repacked metamaterials, PRO INVENT 2022 The 20th edition of the International Exhibition of Research, Innovations and Inventions 26 - 28 October 2022, Cluj-Napoca, România, <https://proinvent.utcluj.ro/salon.html>

**9. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în proiect în mass-media (Opțional):**

N/a

**10. Teze de doctorat / postdoctorat susținute și confirmate în anul 2023 de membrii echipei proiectului (opțional)**

N/a

**11. Concluzii**

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ dr. hab. Nicolae ENACHI

Data: \_\_\_\_\_

**Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2023**

***Cooperativitate cuantică între emițători (nuclee, atomi, puncte cuantice, molecule, biomolecule, meta materiale) și aplicarea acestora în informatică, bio-fotonică avansată optogenetică***  
**Cifra proiectului 20.80009.5007.01**

**În limba Română.**

S-a posibilități noi de cooperare neliniară dintre diferite specii de emițători cuantici la emisia și absorbția fotonilor și fononilor. Aceste modele neliniare de cooperare solicită introducerea unor noi parametri de ordine la tranzițiile de fază induse de tip emisie laser în care pătratul intensității de câmp, pătratul polarizării speciilor de emițători în interacțiune, pătratul de spin total și moment magnetic iau în considerație caracterul colectiv al componentelor fiecărei specii. Acești noi parametri de ordine capătă amplitudine și fază bine determinată și pot fi utilizați în studiul de mai departe a structurii moleculelor (biomoleculelor) în procesul interacțiunii radiației cu sistemele de neechilibru (ce include și țesuturi celulare).

O arhitectură nouă de echipamente de decontaminare se bazează pe aplicarea unor efecte moderne de manipulare optică și cooperativă pentru inactivarea agenților patogeni (virusi, bacterii, ciuperci) și compuși chimici periculoși. Una dintre ele constă în stabilirea rezistenței și inactivării selective a aceluiași agenți patogeni luând în considerare dependența de eficiența decontaminării în funcție de frecvența duratei pulsului de lumină. Alte efecte sunt legate de utilizarea pensetei optice în zona cu radiații mai mari (în cazul pulsurilor UVC în special) și acțiunii centrifuge asupra particulelor de rotație (patogen, aerosoli, etc). Ultima manipulare se bazează pe diferența de valoare dintre indicii de refracție optică al agenților patogeni și purtătorii acestora (picături, aerosoli) care conform efectului Ashkin este atras în zona de radiație de intensitate mai mare. Al doilea efect constă în manipularea agenților patogeni încapsulați în picături și aerosoli folosind efectul de accelerare al particulelor din fluide cu deficite de densitate mai mici/mari decât cel fluid. Noi posibilități de interacțiune cooperativă neliniară între diferite specii de biomolecule în procesul de emisie și absorbție a fotonilor au fost luate în considerare pentru îmbunătățirea eficienței echipamentelor de inactivare a agenților patogeni.

Acest model neliniar de cooperare necesită introducerea de noi parametri de ordine și este legat de tranziții de fază induse în interacțiunea materie-laser în care pătratul intensității câmpului, pătratul de polarizare a speciei emițătoare în interacțiune ia în considerare caracterul colectiv al componentelor fiecărei specii de biomolecule. Acești parametri de ordin nou obțin amplitudine și o fază bine determinată și ar putea fi utilizați ca parametru de control în studiul ulterioare al structurii biomoleculelor și al dimerizării sau dezintegrării acestora în procesul de interacțiune a radiațiilor cu sistemele de neechilibru (care include țesuturile celulare). Această direcție unește în ansamblu două tipuri de efecte de cooperare între emițători. Primul este legat de sistemele dipol-active ale emițătorilor cuantici (molecule sau biomolecule). Cel de-al doilea tip de emițători cuantici cuplați pot fi considerați micro-/nano-rezonatoare, constând din elemente optice cu structuri sferice, de formă toroidală, fibre sau alte structuri topologice cu dimensiuni geometrice proporționale cu lungimile de undă staționare generate în acestea. Elementele acestor structuri fiind relativ mari în comparație cu emițătorii atomici (moleculari), permit cuplarea rezonantă cu primul grup prin zona câmpurilor evanescente de lângă suprafața fiecăruia dintre ei. Pentru aceasta am folosit aplicația metamaterialelor pentru a ne bucura de notorietatea în zilele noastre în decontaminarea fluidelor, detectarea agenților patogeni. În comparație cu echipamentele anterioare, intenționăm să combinăm radiația de impuls cu procedura de reambalare a elementelor mai mici, printre unul mare, care include metamaterialele (constituite din sfere sau fibre) pentru promovarea îmbunătățirii depoluării împotriva agenților patogeni (microbi și virusi). Se demonstrează că suprafața totală a metamaterialelor în contact cu fluidele/suprafața contaminate este semnificativ mărită în comparație cu structurile obișnuite.

## În engleză

There are new possibilities for nonlinear cooperation between different species of quantum emitters in the emission and absorption of photons and phonons. These cooperative nonlinear models require the introduction of new order parameters to laser emission-induced phase transitions in which the square of the field strength, the square of the polarization of the interacting emitter species, the square of the total spin and magnetic moment take into account the collective character of the components each species. These new order parameters acquire a well-determined amplitude and phase and can be used in the further study of the structure of molecules (biomolecules) in the process of the interaction of radiation with non-equilibrium systems (including cellular tissues).

A new architecture of decontamination equipment is based on the application of modern optical and cooperative manipulation effects for the inactivation of pathogens (viruses, bacteria, fungi) and dangerous chemical compounds. One of them consists in establishing the resistance and selective inactivation of the same pathogens taking into account the dependence of the efficiency of decontamination according to the frequency of the duration of the light pulse. Other effects are related to the use of optical tweezers in the area with higher radiation (in the case of UVC pulses in particular) and the centrifugal action on rotating particles (pathogen, aerosols, etc.). The last manipulation is based on the difference in value between the optical refractive index of pathogens and their carriers (droplets, aerosols) which, according to the Ashkin effect, is attracted to the area of higher intensity radiation. The second effect is to manipulate pathogens encapsulated in droplets and aerosols using the acceleration effect of particles in fluids with lower/higher density deficits than the fluid. New possibilities of non-linear cooperative interaction between different species of biomolecules in the process of emission and absorption of photons have been taken into account to improve the efficiency of equipment for the inactivation of pathogens.

This cooperative nonlinear model requires the introduction of new order parameters and is related to phase transitions induced in the matter-laser interaction where the square of the field strength, the square of the polarization of the interacting emitting species takes into account the collective nature of the components of each biomolecule species. These new-order parameters obtain a well-determined amplitude and phase and could be used as a control parameter in the further study of the structure of biomolecules and their dimerization or disintegration in the process of radiation interaction with non-equilibrium systems (which includes cellular tissues). This direction broadly unites two types of cooperation effects between emitters. The first is related to dipole-active systems of quantum emitters (molecules or biomolecules). The second type of coupled quantum emitters can be considered micro-/nano-resonators, consisting of optical elements with spherical, toroidal-shaped structures, fibers or other topological structures with geometric dimensions proportional to the stationary wavelengths generated in them. The elements of these structures being relatively large compared to the atomic (molecular) emitters, allow resonant coupling with the first group through the area of the evanescent fields near the surface of each of them. For this we used the application of metamaterials to enjoy the notoriety nowadays in fluid decontamination, pathogen detection. Compared to previous equipment, we intend to combine pulse radiation with the repackaging procedure of smaller elements among a large one, which includes metamaterials (consisting of spheres or fibers) to promote improved decontamination against pathogens (microbes and viruses). It is demonstrated that the total surface area of the metamaterials in contact with the contaminated fluids/surface is significantly increased compared to regular structures.



**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice  
publicate în anul 2023 în cadrul proiectului din Programul de Stat**

***Cooperativitate cuantică între emițători (nuclee, atomi, puncte cuantice, molecule, biomolecule, meta materiale) și aplicarea acestora în informatică, bio-fotonică avansată optogenetică***

**1. Monografii** (recomandate spre editare de consiliul științific/senatul organizației din domeniile cercetării și inovării)

1.1. monografii internaționale

1.2. monografii naționale

**2. Capitle în monografii naționale/internaționale**

**3. Editor culegere de articole, materiale ale conferințelor naționale/internaționale**

**4. Articole în reviste științifice**

4.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS (cu indicarea factorului de impact IF)

Enaki, N.A.; Munteanu, I.; Paslari, T.; Turcan, M.; Starodub, E.; Bazgan, S.; Podoleanu, D.; Ristoscu, C.; Anghel, S.; Badiceanu, M.; Mihailescu, I.N. Topological avenue for efficient decontamination of large volumes of fluids via UVC irradiation of packed metamaterials. *Materials*. 2023, 16(13), 4559-1 - 4559-13. Doi: [10.3390/ma16134559](https://doi.org/10.3390/ma16134559). (IF 3,4).

4.2. în alte reviste din străinătate recunoscute

1. Starodub E, Munteanu I, Bazgan S, Podoleanu D, Costisen I and Enaki N.A. Construction of Rotation Channels for Pathogens Using the Repacking Method of Elements from Metamaterial Penetrated By Ultraviolet C Radiation. Review Article. *Physical Science & Biophysics Journal*. 7(2) (2023) DOI: 10.23880/psbj-16000256.
2. Munteanu, I.; Starodub, E.; Enaki, N.A. Influence of Ultraviolet Radiations Against Bacteria, Fungi, Fungal Spores. Determination of UV Action Spectra Affecting the Infection Process. *Biomed J Sci & Tech Res*. 2023, 50(2), 41448—41454. Doi: 10.26717/BJSTR.2023.50.007920.
3. Enaki, N.A.; Munteanu, I.; Turcan, M., Bazgan, S.; Paslari, T.; Starodub, E. Application of Rotation Channels for Decontamination of Pathogens in Metamaterials Penetrated by UVC Radiation. *J Infections Diseases Preventive Medicine*. 2023, 11(2), 1000296-1—1000296-3. Doi: 10.35841/2329-8731.23.11.296.

4.3. în reviste din Registrul National al revistelor de profil, cu indicarea categoriei

4.4. în alte reviste naționale

**5. Articole în culegeri științifice naționale/internaționale**

5.1. culegeri de lucrări științifice editate peste hotare

5.2 culegeri de lucrări științifice editate în Republica Moldova

## **6. Articole în materiale ale conferințelor științifice**

6.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

Munteanu I.; Turcan M., Starodub E., Bazgan S., Paslari T. and Enaki N.A. : Inv: “Application of rotation channels for decontamination of pathogens in metamaterials penetrated by UVC radiation” Inventics International Conference , The 26th edition 23rd June – 24th June 2022, Iași, Romania  
<https://ini.tuiasi.ro/conference/>

6.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

6.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

6.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

## **7. Teze ale conferințelor științifice**

7.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

7.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

7.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

7.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

*Notă: vor fi considerate teze și nu articole materialele care au un volum de până la 0,25 c.a.*

## **8. Alte lucrări științifice (recomandate spre editare de o instituție acreditată în domeniu)**

8.1.cărți (cu caracter informativ)

8.2. enciclopedii, dicționare

8.3. atlase, hărți, albume, cataloage, tabele etc. (ca produse ale cercetării științifice)

## **9. Brevete de invenții și alte obiecte de proprietate intelectuală, materiale la saloanele de invenții**

1. Ion Munteanu, Marina Turcan, Elena Starodub, Sergiu Bazgan, Tatiana Paslari, Podoleanu Diana and Nicolae A. Enaki; "New possibilities of disinfection and protection surface implant by ultraviolet C radiation using periodical optical structure.", Ediția a 27-a a Salonului Internațional de Invenții INVENTICA 2023, Iasi, Romania, <https://cercetare.usm.md/?p=3953> Ion Munteanu, Elena Starodub, Nicolae Enaki; "New possibilities of channelling ultraviolet c radiation through metamaterials to implant contact with cellular tissue", The 15th Edition of EUROINVENT 2023, Iasi, Romania, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/  
[https://www.euroinvent.org/cat/EUROINVENT\\_2023.pdf](https://www.euroinvent.org/cat/EUROINVENT_2023.pdf) p.142

2. Munteanu I., Marina Turcan, Starodub E., Bazgan S., Nistoreanu A., Paslari T., Marin T. and Enaki N.A., Inv: Ultraviolet C decontamination rate of fluids stimulated by new rotation channels in repacked metamaterials, PRO INVENT 2022 The 20th edition of the International Exhibition of Research, Innovations and Inventions 26 - 28 October 2022, Cluj-Napoca, România, <https://proinvent.utcluj.ro/salon.html>

## **10. Lucrări științifico-metodice și didactice**

- 10.1. manuale pentru învățământul preuniversitar (aprobate de ministerul de resort)
- 10.2. manuale pentru învățământul universitar (aprobate de consiliul științific /senatul instituției)
- 10.3. alte lucrări științifico-metodice și didactice

**Executarea devizului de cheltuieli,  
conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare pentru anul 2023**

**Cifrul proiectului: 20.80009.5007.01**

<b>Cheltuieli, mii lei</b>				
<b>Denumirea</b>	<b>Cod</b>		<b>Anul de gestiune</b>	
	<b>Eco (k6)</b>	<b>Aprobat</b>	<b>Modificat +/-</b>	<b>Precizat</b>
Remunerarea muncii angajaților conform statelor	211180	887,2		887,2
Contribuții de asigurări de stat obligatorii	212100	212,9		212,9
Deplasări în interes de serviciu peste hotare	222720	19,9		19,9
Servicii de cercetări științifice	222930			
Servicii neatribuite altor aliniate	222990			
Indemnizații pentru incapacitatea temporară de muncă achitate din mijloacele financiare ale angajatorului	273500	2,4		2,4
Alte prestații sociale ale angajatorilor	273900			40,0
Cheltuieli curente neatribuite la alte categorii	281900	9,2		9,2
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizite de birou	316110			
Procurarea activelor nemateriale	317110			
Procurarea pieselor de schimb	332110			
Procurarea medicamentelor și materialelor sanitare	334110			
Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	335110	7,3		7,3
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizitelor de birou	336110	1,1		1,1
<b>Total</b>		<b>1140,0</b>		<b>1180,0</b>

*Notă: În tabel se prezintă doar categoriile de cheltuieli din contract ce sunt în execuție și modificările aprobate (după caz)*

Conducătorul organizației \_\_\_\_\_ Igor ȘAROV

Contabil șef \_\_\_\_\_ Liliana COJOCARU

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ Nicolae ENACHI

LȘ

## Componența echipei conform contractului de finanțare 2023

Cifrul proiectului 20.80009.5007.01

Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării	Data eliberării
1.	Enachi Nicolae	1958	dr. hab.	1.0	01.01.2020	31.12.2023
2.	Țurcan Marina	1982	dr.	1.0	01.01.2023	31.12.2023
3.	Bîzgan Serghei	1987	dr.	1.0	01.01.2023	31.12.2023
4.	Starodub Elena	1988		1.5	01.01.2023	31.12.2023
5.	Munteanu Ion	1982		1.0	01.01.2023	31.12.2023
6.	Pîslari Tatiana	1989		0.5	01.01.2023	31.12.2023
7.	Podoleanu Diana	1983		0,5	01.01.2023	31.12.2023
8.	Costișen Igor	1977		0,5	01.01.2023	31.12.2023
9.	Tonu Viorica	1987		0,5	01.01.2023	31.12.2023

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform proiectului	44%
--	-----

## Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2023

Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării	Data eliberării
	N/a					

--

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / dr. hab. Nicolae Enachi

### INFORMAȚIE SUPLIMENTARĂ

1. **Nu vor fi examinate** rapoartele incomplete, fără toate semnăturile și parafa instituției și care nu corespund cerințelor de tehnoredactare (pct. 6).
2. Rapoartele anuale privind implementarea proiectelor ce implică activități de cercetare **pe animale** vor fi însoțite de avizul Comitetului de etică național/instituțional în corespundere cu HG nr.318/2019 *privind aprobarea Regulamentului cu privire la organizarea și funcționarea Comitetului național de etică pentru protecția animalelor folosite în scopuri experimentale sau în alte scopuri științifice* ([https://www.legis.md/cautare/getResults?doc\\_id=115171&lang=ro](https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=115171&lang=ro)).
3. Rapoartele anuale privind implementarea proiectelor ce implică activități de cercetare **cu implicarea subiecților umani** vor fi însoțite de avizul Comitetului instituțional de etică a cercetării, în corespundere cu prevederile *Convenției europene pentru protecția drepturilor omului și a demnității ființei umane față de aplicațiile biologiei și medicinei*, adoptată la Oviedo la 04.04.1997, semnată de către RM la 06.05.1997, **ratificată prin Legea nr. 1256-XV din 19.07.2002, în vigoare pentru RM din 01.03.2003**) și a protocoalelor adiționale.
4. **Nu pot fi prezentate informații identice în Rapoartele anuale ale mai multor proiecte.**
5. Se acceptă publicațiile în care expres sunt stipulate datele de identificare ale proiectului (denumire și/sau cifrul).
6. **Cerințe de tehnoredactare a Raportului:**
  - a) Se va exclude textul în culoare roșie din raport, întrucât reprezintă precizări referitor la informația solicitată ( de ex. *denumirea și cifrul, perioada de implementare a proiectului, anul/anii*); *nume, prenume; etc.*).
  - b) Câmpurile cu mențiunea „*opțional*” se completează dacă sunt rezultate ce se încadrează în activitățile respective. În absența rezultatelor, câmpurile rămân **necompletate (nu se exclud rubricile respective)**.
  - c) Raportul se completează cu caractere TNR – 12 pt, în tabelele referitor la buget și personal – 11 pt; interval 1,15 linii; margini: stânga – 3 cm, dreapta – 1,5 cm, sus/jos – 2 cm.
  - d) **Copertarea se va face după modelul european – spirală.**