

RECEȚIONAT

Agenția Națională pentru Cercetare
și Dezvoltare _____

_____ 2021

AVIZAT

Secția AȘM _____

_____ 2021

RAPORT ȘTIINȚIFIC ANUAL

privind implementarea proiectului din cadrul Programului de Stat (2020-2023)

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

Enaki NA, Starodub E, Paslari T, Turcan M, Bazgan S (2021) Close Packing of Elements of Transparent Metamaterials in UVC Diapason and its Influence on The Decontamination Efficiency. J Immunol Infect Dis 8(1): 104

Prioritatea Strategică

Competitivitate economică și tehnologii inovative

Conducătorul proiectului

Enachi Nicolae

Directorul Institutului de Fizică Aplicată

Macovei Mihai

Consiliul științific/Senatul

Cojocaru Ion

L.Ș.



Chișinău 2021

1. Scopul etapei anuale conform proiectului depus la concurs

Scopul etapei a fost de a dezvolta și aplica fenomenele cooperative la interacțiunea neliniară a luminii cu cavități optice, biomolecule, atomi pentru elaborarea de noi echipamente pentru diagnostică și decontaminare.

În legătură cu situația pandemică în cadrul acestui proiect de stat s-a lucrat mai mult asupra caracterului aplicativ pentru a face față provocărilor timpului de astăzi. Deci din Programul de Stat au fost selectate punctele 3, 11, 5 cu caracter aplicativ pentru combaterea pandemiei COVID 19. Aceste lucrări au fost prezentate sub forma de teze la 6 Conferințe, Congrese Internaționale așa precum OSA (Optical Society of America o comunicare poster și una orală), OSA Europe (o comunicare Poster și alta orală) SPIE (o comunicare orală) și 3 articole în reviste Internaționale cum ar fi Biofizica radiației și Medicina.

Cercetarea fundamentală a proiectului în derulare a fost reflectată în p. 4, 5, 7, 8. Deoarece pentru situația pandemică este importantă inactivarea ARN/ADN p. 5 din planul de cercetare a fost axat atât pe inactivarea colectivă a lanțului de proteine "SARS-CoV-2 spike protein" cât și a dimerizării și inactivării lanțului ARN/ADN în interacțiunea Raman cu lumina UVC. Ruperea legăturilor sub acțiunea UVC s-a axat mai mult pe ARN, cu toate că metoda teoretică și experimentală nu elimină ruperea lanțului proteic sub acțiunea UVC la "SARS-CoV-2 spike protein" descrisă la acțiunea virusului COVID 19.

Din Planul de activitate al Proiectului de Stat: 3. Se va propune o metodă selectivă de ionizare și rupere a legăturilor peptide primare dintre unii aminoacizi ai proteinelor tubulare ale unor clase de viruși și bacterii.

4. Efecte ne-Marcoviene vor fi descrise de ecuații Master pentru a explica unele divergențe dintre conceptul tradițional și experimentele observate recent atât în microbiologie cât și în sistemele moleculare.

5. Se va evidenția atât absorbția cât și emisiile cooperative a bi-cuantelor și fotonilor corelați la conversia de tip Raman pentru excitarea colectivă a unor centre de vibrație din tubulinele Alpha și Beta ale proteinelor neuronale. Scopul este de a propune unele concepte noi de transmitere a informației prin ele.

7. La excitarea bi-fotonică cooperative a radiatorilor plasați în cavități optice sau în zona câmpului evanescent se propune drept obiectiv modalități noi de dirijare a acestora.

8. Utilizarea emisiei coerente bi-modale la conversia fotonilor din modul de pompare în modurile Stokes și anti-Stokes pentru diagnostică moleculară a țesuturilor organice.

11. Efectele menționate mai sus vor sta la baza propunerilor de echipamente noi de inactivare a patogenilor (viruși, bacterii) pentru fluide, suprafețe plane, țesut celular, pentru diagnostică moleculară.

2. Obiectivele etapei anuale

1. Propuneri de surse coerente noi de emisie indusă cu corelații cuantice între emisia laser bi-fotonice și Raman. Noi tipuri de excitări în cavități optice și cuantificarea lor.
2. Modernizarea echipamentelor de decontaminare a patogenilor (virusi, bacterii) utilizând canale de tip vint (șurub) de rotație sau labirint de rotație pentru microparticulele infectate din fluide (aerosoli, picături, etc) , Compararea metodei statice și dinamice la dezactivarea unor fungi cu rezistența mare la ultraviolet C în comparație cu patogenii propriu ziși.
(Modernizarea echipamentelor de decontaminare a patogenilor (virusi, bacterii) utilizând canale de tip vint (șurub) de rotație sau labirint de rotație pentru microparticulele infectate din fluide (aerosoli, nanoparticule etc) , Compararea metodei statice și dinamice la dezactivarea unor fungi cu rezistența mare la ultraviolet C în comparație cu patogenii propriu ziși.)
3. Optimizarea reîmpachetărilor de meta-materiale pentru a optimiza pătrunderea radiației UVC mai adânc în fluidul translucid contaminat. Se are în vedere câștig de suprafață de contact dintre fluidul contaminat și radiație în cazul introducerii fibrelor subțiri printre fibrele mai groase, ori în cazul umplerii spațiului dintre bilele cu diametru mare cu bile de cuarț cu diametru mic.
4. Intensități UVC critice la decontaminare. Teorii de demirizare a ADN/ARN și a proteinelor de la suprafața virusului.

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei anuale (obligatoriu)

1. Evidențierea posibilităților de cooperare dintre emițători atât la emisie cât și absorbție pentru utilizarea acestora în echipamente moderne de diagnostică, holografie și control cuantic.
2. Metode și modele noi de interacțiune neliniară a subsistemului mic cu setul de oscilatori anarmonici ai termostatului.
3. Ecuații Master și procese ne-Marcoviene în microbiologie cât și în sistemele moleculare.
4. Emisia cooperativă bi-cuantică la conversia de tip Raman pentru excitarea colectivă a centrelor de vibrație moleculară.
5. Aspectul cooperativ al transmiterii informației cuantice prin sisteme optice cuplate.
6. Efecte cooperative ale interacțiunilor radiației laser pulsate pentru diagnostică și decontaminare.
7. Efecte cooperative în transportul ionic intra și inter celular.
8. Metode de excitare a curenților ionici pentru optogenetică.

4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor etapei anuale :

1. Au fost propuse modalități de împachetare a unor sisteme periodice fotonice formate din sfere/fibre de cuarț pentru a mări suprafața de contact cu fluidele contaminate. Pentru aceasta spațiul rămas între elementele mari ale meta materialului au fost reîmpachetate în dependență de modul de aranjare ale elementelor mari. În cazul împachetării a patru sfere în tetraedru sau a 8 sfere în împachetare cubică suprafața totală de contact cu fluidul ce se scurge printre elementele meta materialului. S-a stabilit o modalitate de transfer a conceptului de localizare a câmpului electromagnetic din celulele fotonice la conceptul de vibrații locale sub formă de fononi ale lanțului ARN/ADN sau de aminoacizi din proteine. Posibilități de cuplaj a acestor oscilații locale dintre două, trei, patru și mai multe tubuline v-a fi examinat. Soluții și aproximații bine demonstrate experimental ale electronilor și vibrațiilor colective nucleare ale unor macromolecule ARN/ADN (JIID, 2021 și o parte din materialul din domeniu este în presă!)

2. La această etapă de cercetare a fost dezvoltat un model nou teoretic de interacțiune cuantică dintre emițătorul bi-cuantic și laserul cooperativ Raman prin intermediul inversiei de radiator situația la frontieră a două fibre. Deoarece în sistemele laser și microbiologie termostatul se modifică sub acțiunea factorului extern cel cooperative va fi cercetat ca un subsistem cuantic lent, care se schimbă sub acțiunea sistemului rapid al excitărilor moleculare colective. Astfel de sisteme pot exista și în materia neorganică, în care sub acțiunea luminii (sau al altui factor extern) se modifică structura locală a centrelor de absorbție. Similarități și deosebiri dintre aceste sisteme de neechilibru sunt stabilite. Modele de absorbție și împrăștiere cooperativ bi-modală de către unele proteine ori ARN/ADN au fost elaborate.

3. Un sistem cuplat din două fibre este propus pentru a observa inseparabilitatea dintre fotoni și coerența cuantică ori sistemul cuplat de metamateriale compozite va fi utilizat în optica cuantică pentru generarea fotonilor inseparabili în moduri cuplate. Aici se acordă o atenție deosebită când o cantă se află în superpoziția modurilor cuplate ale fibrelor subțiri și groase simultan. Posibilități de realizare a unor experimente se va propune. În cazul ghidurilor de unde nano metrice, pentru ca în fibrele subțiri să putem introduce condiționat informația din subsistemul de fibre groase. Sub acțiunea fluxului de fotoni dintr-o fibră am putea genera fotoni în altă fibră. Se are în vedere conversia fotonilor din modurile subsistemului de fibre groase în subsistemul de fibre subțiri. Acești emițători plasați în superpoziția zonelor câmpului evanescent ar putea transfera fotonii din modul unei fibre în modul celei de a doua la cuplare optică.

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

5a. Cuplajul cuantic între generatoarele cuantice multi-mod și asocierea lor cu sistemele biologice. (C, j=10)

În ultimul timp tot mai mult se caută asemănări între fenomenele laser și sistemele celulare vii, care transformă energia introdusă în diverse sisteme biologice bine corelate și periodic distribuite în spațiu

unde $\hat{\Gamma} = 1/(1 - \varepsilon[\dots \hat{V}\hat{\Lambda}^-, \hat{\Lambda}^+])$, $\hat{V} = 1/(1 + \varepsilon\hat{\Lambda}^-\hat{\Lambda}^+)$. Operatorul colectiv de excitare, $\hat{\Lambda}^+$, (anihilare, $\hat{\Lambda}^-$) a cavității cu noi cvasi-particule exprimă generarea în cavitate a bi-cuantei într-un spectru larg de frecvențe, $\hat{I}_{k_0}^{\pm} \hat{I}_k^{\pm}$, sau excitarea rezonatorului cu aceeași parte de energie în împrăștierea Raman, $\hat{J}_k^{\pm} \hat{J}_k^{\pm}$, unificată, $\hat{J}_k^{\pm} \hat{I}_k^{\pm}$. Aici constantele de interacțiune g și q reprezintă interacțiunile radiatorilor cu câmpul de emisie indusă Raman și emisia bicuantică descrise de Hamiltonianul de interacțiune, $\hat{H}_I = \hat{\Lambda}^+ \hat{R}^- + \hat{R}^+ \hat{\Lambda}^-$. Dacă inițiem din starea inițială unde în câmpul de pompaj de tip Stokes sunt n fotoni atunci poate fi obținut un set de vectori în baza cărora poate fi descompusă ecuația generalizată propusă mai sus și rezolvată problema stabilității unui astfel de generator de sisteme compuse coerente între ele,

$$|\kappa, j, m\rangle = C_{\kappa jm} \sum_{i=0}^m g^i q^{(m-i)} \sqrt{C_{2j}^i C_{2\kappa+(m-i)}^{(m-i)}} |j, -j+i\rangle |\kappa, \kappa+(m-i)\rangle, m=0,1,2,\dots, \quad (2)$$

unde $C_{\kappa jm} = 1/\sqrt{C_{i0}^m C_{2j}^i C_{2\kappa+(m-i)}^{(m-i)} g^{2i} q^{2(m-i)}}$, este o constantă de normare a acestor superpoziții de stări Raman și bicuante. Interferența dintre emisia cooperativă Raman și Emisia bicuantică este studiată cu ajutorul informației cuantice de tip Fisher. Pentru aceasta, căutăm valoarea maximă a diferenței de fază, ϕ_0 , dintre perechile de fotoni ce se propagă prin fibra groasă și câmpul bi-modal Raman indus ce se propagă prin fibra subțire din Fig. 1 B. Posibilitățile maxime de corelații de fază între două tipuri de procese laser, este descrisă de informația cuantică Fisher (https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_Fisher_information): $F(\phi_0) = \int d\phi \{Tr[\hat{E}(\phi)\partial_{\phi_0}\hat{W}(t)]\}^2 / Tr\{\hat{E}(\phi)\hat{W}(t)\}$, unde proiectorul $\hat{E}(\phi)$ ia în considerație diferența de fază (de drum optic) dintre bifotonii generați în fibra groasă și cuantele împrăștiate induse în fibra subțire la combinația lor cu un absorbant, $\hat{E}(\phi) = \hat{U}_s(\phi) \prod_m |\kappa, j, m\rangle \langle \kappa, j, m| \hat{U}_s^+(\phi) L(\phi - \phi_0)$. Aici funcția Lorentz, $L(\phi) = \frac{1}{2} [1 + \cos(\phi)]$, conține parametrii de măsurare a fazei dintre frontul de undă al bifotonilor și frontul undelor emisie Raman. Din Fig. 2 rezultă maximul/minimumul de interferență este atins într-o semiperioadă și este descris de două picuri, care se suprapun. Interpretarea fizică al despiciării în două picuri ar fi că excitarea egală cu energia bifotonului mai poate exista într-o nouă formă de energie din rezonator. Într-adevăr la absorbția unei cuante Stokes și generarea altele anti-Stokes, rezonatorul își schimbă starea exact cu aceeași parte de energie. Deci, deoarece aceeași porție de energie poate să se afle în două stări cuantice echivalente, picul degenerat al acestor două stări se despice conform regulilor mecanicii cuantice la aplicarea interacțiunii dintre emisia bicuantică și Raman prin inversia radiatorilor care susțin ambele generatoare. Entanglementul dintre două modalități de generare a luminii ca de obicei este descris de discordul cuantic. În aceste lucrări și pe viitor vom introduce discordul de fază dezvoltat în Optics Communications 2021. Într-adevăr descompunând discordul obișnuit definit ca diferența dintre entropiile calculate pe stările diagonale și nediagonale, $D(\hat{W}) = S(\hat{W}_D) - S(\hat{W})$, putem ușor descompune aceasta mărime fizică pe stările de fază observate în interferometria bimodală, $D(W) = \int d\phi D(\phi)$, unde

$$D(\phi) = -\sum_m [\Phi_m \ln \Phi_m - P_m \ln P_m]$$

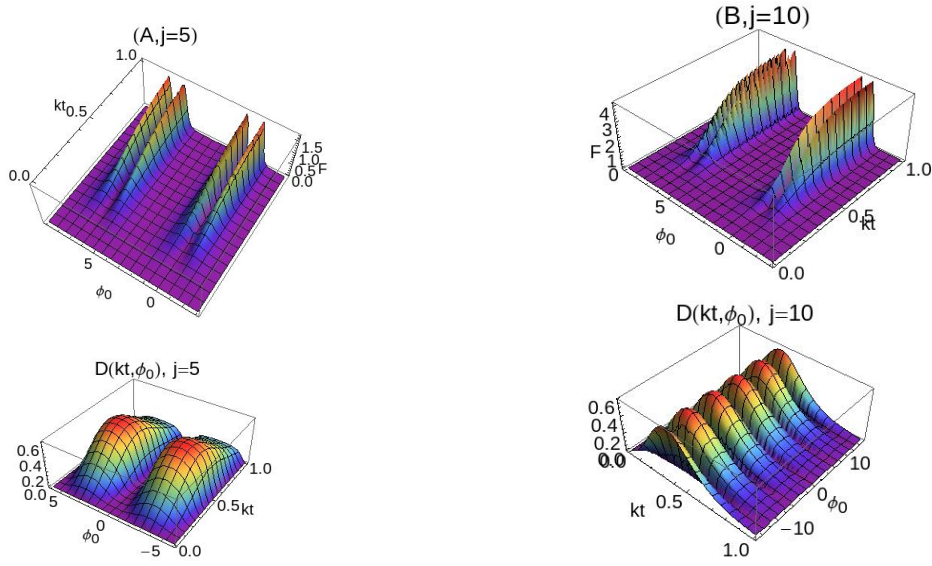


Fig. 2 Informații Fisher, $F(\phi,t)$, și discordul cuantic, $D(\phi,t)$, pentru numărul de suprapunere mic, $j=5$ și numărul mare de suprapunere, $j=10$. Odată cu creșterea numărului de fotoni în câmpul pompei, informațiile Fisher cresc. Informațiile Fisher au atins valoarea maximă pentru valoarea discretă a diferenței de fază ϕ . Această undă rezonatoare bi-modală are proprietăți similare stărilor stoarse. 3 Comportamentul în timp a densității de fază a discordului cuantic $D(\phi,t)$, pentru $j=5$ și $\Gamma=0.11$. Au fost utilizați următorii parametri: $\kappa=1/2$, $\epsilon=0.002$, $q=4/5$; $b=3/5$.

Aici matricea de densitate se descompune pe stările entanglate (2), $\hat{W}(t) = \sum_m P_m |k, j, m\rangle\langle k, j, m|$, iar starea cu întârziere de front de unde la interferometru fiind $\hat{\Phi}(t) = \sum_m \Phi_m \hat{U}_s(\varphi) |k, j, m\rangle\langle k, j, m| \hat{U}_s^\dagger(\varphi)$. Ca și informația Fisher, discordul $D(\varphi)$, este definit la diferența de fază a semnalului înregistrat la interferometru, și descrie comportamentul fluctuațiilor cuantice la suprapunerea semnalului Raman și bicuantic după diferența de drum, $\varphi = \phi_0$, la propagarea prin fibre separate reprezentate în Fig. 1 B, ca diferența dintre informațiile reciproce cuantice (corelația totală) și cantitatea maximă de corelație care este accesibilă local (corelația clasică) își implică optimizarea tuturor măsurătorilor posibile. Din Fig. 2 rezultă ca fluctuațiile cuantice ating valoare maximală între maximumurile/minimumurile de interferență descrise de informația Fisher. În punctele de interferență ca și în generatoarele laser avem noțiune de fază și putem utiliza astfel de cuplaje între generatoarele cuantice la procesarea informației optice pe linii.

5b. Dependența de intensitate a decontaminării patogenilor descriere cuantică, experiment cu simulatori de tip fungi de drojdie

Este propusă descrierea neliniară a dependenței ratei de dimerizare ADN/ARN în funcție de radiația ultravioletă C aplicată. Se cercetează posibilitatea de aplicare a acestei concepții asupra echipamentelor de decontaminare cu dispersarea radiației UVC în volum prin fibră/meta material sferic. Se construiește funcția de undă a trei stări legate cu câmpul de radiație: 1 starea normală, 2 starea dimerizată și 3 starea excitată. Prin eliminarea stării excitate $|E(t)\rangle$ se propune un model Raman similar cu cel descris mai sus pentru trecere de la starea normală a ADN/RNA, $|G_u(t)\rangle$, la starea dimerizată, $|G_d(t)\rangle$, cu procesul de absorbție și emisie de fotoni (în cazul echipamentului propus absorbția și emisia fotonilor UVC) descrisă de partea de interacțiune a Hamiltonianului renormalizat,

$$\hat{H}_I^{ef} = -\frac{P_u^{k'} g_{k'} P_d^k g_k}{\hbar(\omega_u - \omega_u^{k'})} \hat{b}_{k'}^\dagger(t) \hat{a}_k(t) |G_u(t)\rangle \langle G_d(t)| - \frac{P_d^{k'} g_{k'} P_u^k g_k}{\hbar(\omega_d - \omega_d^{k'})} \hat{b}_k(t) \hat{a}_{k'}^\dagger |G_d(t)\rangle \langle G_u(t)| + H.c., \quad (3)$$

unde, $\hat{b}_{k'}(t)$; $\hat{a}_{k'}(t)$ ($\hat{b}_k(t)$; $\hat{a}_k(t)$) sunt operatori de generare (anihilare) a fotonilor din modurile anti-Stokes și Stokes al radiației UVC aplicată.

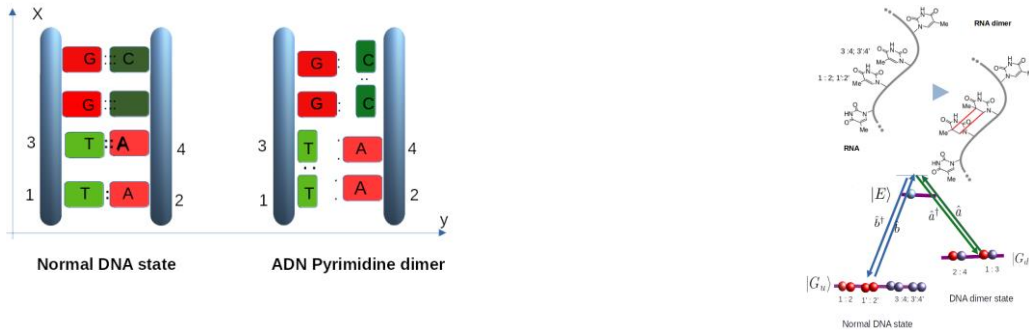


Fig. 3 Dimerizarea pirimidinei în ADN(T=T)/ARN(U=U), U=U, după acțiunea radiațiilor UVC.

Folosind metoda Born-Oppenheimer (BO) trecem aceste oscilații cuatice a polarizărilor electronice la vibrațiile atomilor de timină la formarea legăturilor dimer pirimidine, T=T, din ruperea a două legături ordinare dintre nucleotidele aguină și timină A=T. Modelul teoretic conține energia de excitație a sistemului de nucleotide ca funcție de intensitatea de radiație aplicată. El este comparat cu dependența ratei de decontaminare a funcției de numărul de becuri aplicat centrului de decontaminare(vezi Fig. 4A)

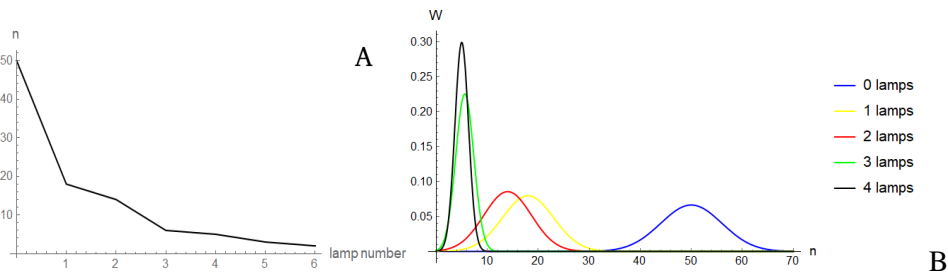


Fig. 4 Dependența numărului mediu de colonii fungice în funcție de numărul de lămpi UVC aplicate intensitatea la distanță de 2 cm este de 5 mW /cm² de la o lampă UVC de 30 W. B. Distribuția coloniilor fungice în funcție de numărul lor pentru 1- 4 lămpi. Se observă că coloniile mici sunt afectate de radiația UVC și odată cu creșterea numărului de lămpi dispersia scade.

5c. Creșterea ratei de decontaminare a fluidului infectat prin canale de rotație sub dispersia radiației UVC prin metamaterial compozit

Pentru frecvențe joase de rotație și vâscozitate mai mare, putem neglija forțele Euler și Coriolis. Luând în considerare propagarea picăturii de agent patogen de-a lungul forței centrifuge, putem proiecta ecuația de mișcare pe această direcție. Proiecția forței centrifuge a masei bionice a aerosolilor $F \leftrightarrow \vec{F} \cdot \vec{V} \cdot \vec{U} \cdot \vec{r}$, este ușor compensată de frecarea fluidului care acționează

asupra picăturii purtătoare de agent patogenic $-\beta dr / dt$, iar accelerația acesteia de-a lungul razei este descrisă de ecuație (vezi Fig. 5)



Fig. 5 Picăturile contaminate cu patogeni (A) cu dimensiuni de aproximativ 10-100nm pot fi pompate și impuse sub accelerație de rotație între spațiul liber al ansamblului elicoidal al fibrelor înrolate (B). Atingând zona evanescentă a radiației UVC a fiecărei fibre, agenții patogeni pot fi inactivați eficient.

$$\rho_p \frac{d^2}{dt^2} r = -\beta \frac{dr}{dt} + (\rho_p - \rho_f) \omega^2 r. \quad (4)$$

Această ecuație ușor se soluționează și ar putea sta la baza construcției unei cinetici clasice de rotație a unui ansamblu de particule printre elementele metamaterialului. Pentru obținerea unor rezultate experimentale bune s-au luat 2,1 L de apă în care s-au dizolvat 80 Gr de drojdie și s-au adăugat 440 Gr de zahăr. După câteva minute au început experimentele dinamice (vezi Fig. 6) și statice (vezi Fig.7). Miezul nostru de decontaminare cu 0,8 M lungime și 2,5 cm în diametru este umplut cu un diametru ale sferei de aproximativ 0,5 - 1 mm din material de cuarț.

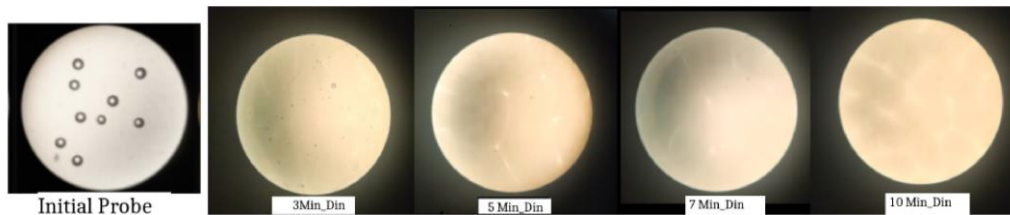


Fig. 6 Procedura de decontaminare a 1.8L de soluție de drojdie în care coloniile de ciuperci au fost măsurate după 5, 7, 8 și respectiv 10 Min în regim dinamic. Începând cu intervalul de timp de decontaminare 7 și 10 Min coloniile de ciuperci nu sunt observate cu microscopul nostru optic. Menționăm că în timpul pompei ciclice de 1,5 L de soluție prin elementul metamaterial al echipamentului nostru, doar 0,1 L, o parte din soluție a fost sub radiația UVC. Partea rămasă a fost în mișcare ciclică

Dimensiunile coloniilor de fungi au atins în experimente valoarea de circa 1- 30 μm în diametru și prezintă interes pentru a studia evoluția numărului de colonii de drojdie înainte și după procedura de decontaminare. Pentru aceasta, am propus să folosim distribuția normală a coloniilor de fungi e în raport cu numărul, și diametrele lor

$$W(n, d) = (1 / \sqrt{2\pi\sigma_n}) \exp[-(n - n_0)^2 / (2\sigma_n^2)] \times (1 / \sqrt{2\pi\sigma_{d_n}^2}) \exp[-(d_n - d_{n_0})^2 / (2\sigma_{d_n}^2)].$$

Aici n este numărul de colonii din fiecare test microscopic în care dimensiunile n_d sunt descrise de distribuția normală; σ_{dn} este abaterea standard de la valoarea medie dimensiunea d_{no} , iar σ_n este fluctuația numărului de colonii de drojdie față de numărul mediu n_0 (vezi Fig. 4B). Aplicarea distribuției normale în astfel de măsurători experimentale rezultă din condițiile discutate în în experimentele publicate anterior. Din rezultatele noastre experimentale, estimăm media pregătită pentru decontaminarea soluției de drojdie. Înainte de dezactivare, au fost stabilite următoarele relatii $n_0 = 9 n$; $\sigma_n = 2$; $d_0 / d_{sp} = 0,05 / n_0$ și $\sigma_{dn} = 0,1 / d_{sp}$. Aici d_{sp} este diametrul vizualizat al imaginii microscopului

reprezentate în mai mult de 30 de testari la microscop. Ele desigur depind și de pregătire a fungilor de drojdie, temperatura, tipul de funghi etc.

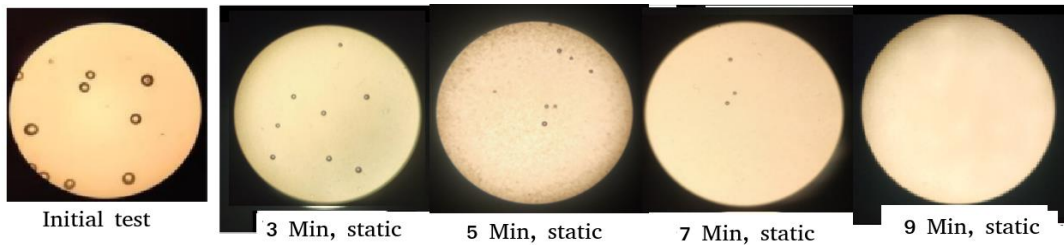


Fig. 7 Inactivarea ciupercii din soluția de drojdie în regim static sub expunerea directă la UVC a unei cantități mici de apă 0,15L în intervalele de timp: 3 Min, 5,0 Min, 7 Min, 9 Min. Se observă că la început cu 3 Min de expunere coloniile de ciuperci sunt dezactivate.

Miezul este acoperit de 6 lămpi cu mercur a câte 30 W fiecare, a căror radiație maximă este în domeniul spectral 250-260 nm. Pentru a îmbunătăți eficiența radiației UVC, tot sistemul este plasat în cilindru de aluminiu cu diametrul de aproximativ 20 cm, astfel încât intensitatea radiației în centrul cilindrului mare să crească semnificativ datorită proprietăților de reflexie ale aluminiului. Mai mult decât atât, cercetătorii și oamenii din jur sunt bine protejați de acțiunea directă a radiațiilor UVC, obținută de la cele 6 lămpi.

6. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de publicații

Pe parcursul anului 2021 au fost efectuate unele modificări de parametri la decontaminatorul de patogeni propus în laborator în baza reîmpachetarilor de metamaterial și accelerare de cvazi-particule. În prima cercetare s-a studiat inactivarea patogenilor ce pot fi transmiși prin aerosoli, suspensii în lichide, utilizând accelerarea lor curbilinie în jurul metamaterialelor fibre optice răsucite defecte la împachetarea bilelor de cuarț. Drept fluid format din suspensii a fost propus soluția de funghi din drojdie. S-au pus două experimente, unul static și altul dinamic. S-a observat că la accelerarea particulelor/ fungilor cu o densitate mai mare decât densitatea lichidului, coloniile de funghi pierd poziția centrifugală datorită forței de inerție ce îi plasează în cele din urmă pe suprafața meta-materialului străbătut de radiația UVC. Atât modelul matematic cât și rezultatele experimentale au fost publicate în revista *Biofizica* cu un impact în medicină (*MEDWIN Publisher*) și raportată la Congresul de Biofizică al Societății Americane de Optică (*Biophotonics Congress 2021 of OSA*):

1. T. Pislari, M. Turcan, S. Bazgan, E. Starodub and N. A. Enaki, "Cooperative UVC activation on metamaterial and Improvement of decontamination rate using the screw channels in it," in *Biophotonics Congress 2021*, C. Boudoux, K. Maitland, C. Hendon, M. Wojtkowski, K. Quinn, M. Schanne-Klein, N. Durr, D. Elson, F. Cichos, L. Oddershede, V. Emiliani, O. Maragò, S. Nic Chormaic, N. Pégard, S. Gibbs, S. Vinogradov, M. Niedre, K. Samkoe, A. Devor, D. Peterka, P. Blinder, and E. Buckley, eds., OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2021), paper AF2D.6. <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=OMA-2021-AF2D.6>

2. Enaki N. A., Starodub E., Pislari T, Turcan M and Bazgan S., "Increasing of Decontamination Rate of Infected Fluid by Rotation Channels under the Dispersion of Ultraviolet C Radiation by Composite Metamaterial", *Physical Science & Biophysics Journal*, 5(2); (*MEDWIN, Publisher*). <https://doi.org/10.23880/psbj-16000188>

Un alt aspect al decontaminării a fost continuat utilizând diferite forme de împachetare a bilelor mari și mici, fibrelor groase și subțiri, observând că suprafața de contact cu fluidul poate fi marită odată

cu scăderea dimensiunii elementelor de metamaterial am început o optimizare la reîmpachetarea lor. Optimizarea constă în împachetarea mai întâi a bilelor mari (fibrelor groase), care ar putea ghida lumina în interiorul fluidului netransparent în UVC, iar apoi reimpachetarea lui cu bile mici (fibre subțiri). Aici apare o dilemă, dacă utilizăm bile prea mici lumina ar putea fi împrăștiată doar la suprafața lor, iar dacă utilizăm bile doar mari suprafața de contact a acestor elemente cu fluidul este relativ mică. Lucrarea a fost prezentă sub forma de poster la Biophotonics Congress 2021 of OSA și la Conferința Europeană de Biofotonică 2021. Publicația de bază a fost prezentată în una din revistele asociației Annex Publishers, Journal of Immunology and Infection Disses:

3. Enaki NA, Starodub E, Paslari T, Turcan M, Bazgan S., "Close Packing of Elements of Transparent Metamaterials in UVC Diapason and its Influence on The Decontamination Efficiency", Journal of Immunology and Infection Disses 8(1): 104; (2021) <http://www.annepublishers.com/articles/JIID/8104-Close-Packing-of-Elements-of-Transparent.pdf> (IF 3.1 Conform asociației Annex Publishers)

Sursele de lumină modernă se deosebesc esențial de cele clasice. De exemplu, comportamentul fotonilor la absorbția bicuantică sau împrăștierea Raman foarte mult depinde de corelația fotonilor în bi-modurile de rezonanță. Având în vedere acest aspect al surselor de lumină și faptul că ele se aplică vertiginos în informatica cuantică și biofizică un nou aspect al corelațiilor cuantice dintre emisia bicuantică și Raman indusă a fost propusă în Optics Communications. Efectele enumerate pe 43 pp de manuscris pot servi drept îndrumar în cercetările tinerilor doctoranzi la propunerea unor efecte noi de interacțiune a luminii cu atomii, moleculele, biomoleculele plasate în rezonator sau în spațiu liber. Este propusă o ecuație master și un model nou de cuantificare a câmpului de rezonator:

4. Enaki, N.A., "Mutual cooperative effects between the mode components of two-photon and Raman induced cavity lasing processes", Opt Commun. 2021, 498, 127124. Doi: 10.1016/j.optcom.2021.127124 (IF: 2,125).

Lucrarea a fost prezentată la conferința internațională care a primit apreciere din partea juriului vedeți pe site-ul: <https://drive.google.com/file/d/1vj6TdCNXhBIZ4ZXTavImLswJFE96Y0km/view>

7. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului:

Investigarea experimentală a fost axată pe comutarea meta-materialelor diferențiate dispersive în spectrul de radiație UVC pentru a mări eficiența echipamentului de decontaminare și a îmbunătăți modul de decontaminare a fluidelor infectate. În perioada de pandemie se propune de a lega în paralel astfel de celule de decontaminare, care ar forma o matrice sub formă de perete prin care este suflat aerul contaminat cu particule și aerosoli purtători de viruși. Aspectul fundamental al lucrării constă în cercetarea propagării luminii prin astfel de compozite, interacțiunii UVC cu ARN și proteinele de suprafața a virușilor. Obținerea unei intensități critice în domeniul UVC pentru decontaminare, obținerea unei frecvențe speciale la care ar putea fi ușor inactivat virusul. Lucrarea a fost prezentată sub forma de trei articole cu caracter aplicativ atât pentru societatea Opticienilor ce duc cercetări în bio-fotonică, cât și în rândurile specialiștilor din medicină care se ocupă cu elaborarea noilor modalități de combatere a patogenilor. Ea a fost pusă în presa cu statut de "open acces" pentru a păstra drepturile cercetătorilor la patentare.

8. Infrastructura de cercetare utilizată în cadrul proiectului:

Infrastructura utilizată în cadrul Proiectului de Stat cu cifrul 20.80009.5007.01, constă dintr-un laborator, cercetătorii cărora sunt tineri formați de-a lungul anilor în cadrul Proiectului de lungă durată NATO SPS 2015-2019. În cadrul acestui proiect am obținut un echipament modern de decontaminare și studiu acțiunii luminii pulsate cu patogenii. Echipamentul conține două mașini laser Q-Scan și Q-Smart (260nm -1000nm) , un interferometru, un spectrometru în diapazonul menționat mai sus, un microscop, fibre optice, calculatoare etc.

9. Colaborare la nivel național în cadrul implementării proiectului

Colaborăm cu Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu” din Republica Moldova (USMF) prin intermediul doctorandei Viorica Tonu, în domeniul bio-informaticii, cu Facultatea de Matematică și Informatică din cadrul Universității de Stat din Moldova prin intermediul dnei Aurelia Profir care este membru al echipei din laborator în calitate de cercetător superior activând în proiectul de Stat.

10. Colaborare la nivel internațional în cadrul implementării proiectului:

În domeniul schimbului de experiență cu generatoarele de lumină laser și interacțiunea lor cu țesutul celular colaborăm cu Prof. Ion Mihăilescu, șef de Laborator la Institutul Național a Laserilor, Plasmă și Radiație din cadrul departamentului de fizica a laserilor Laboratorul "Interacțiuni Laser-Suprafață-Plasmă"; București- Măgurele, România.

În domeniul aspectului teoretic de interacțiune a radiației cu atomi, molecule, biomolecule colaborăm cu fostul discipol al laboratorului, cercetătorul științific superior, Dr. Vitalie Eremeev care se află într-o deplasare de lungă durată la Institutul de Științe Fundamentale, Facultatea de Inginerie și Științe, Universitatea Diego Portales, Santiago, Chile.

11. Dificultățile în realizarea proiectului:

Partea aplicativa a proiectului a fost solicitată într-o mulțime de reviste internaționale, conferințe, congrese. Cu părere de rău planificarea proiectului de la bun început nu a fost axată pe suportul extinderilor experimentale în domeniul interacțiunii radiației cu biomoleculele și în special cu patogenii. Conform experimentelor în urma iradierii cu UVC acești agenți patogenici sunt supuși atât dimerizării de ARN/ADN cât și schimbări esențiale în proteinele de suprafață (de exemplu la SARS-CoV-2 Spike Protein). Proiectul a fost înaintat înainte de pandemie. Tematică susținută anterior de NATO SPS, avea tangente cu elaborări de echipamente în caz de hazard biologic. Această temă devenise doar o parte a Proiectului de Stat. Multe Materiale de simulare a virușilor și bacteriilor într-un laborator de fizică (cum ar fi Komucha tee, Fungii de drojdie etc) cer o asistență materială permanentă. Revistele de specialitate rugau să mai trimitem lucrări în domeniul aplicativ (Congresul OSA, SPIE pe bio-fotonica), însă modificările esențiale în echipamentele propuse cereau un suport financiar, pe care ni-l dorim și astăzi să-l obținem prin câștig de granturi suplimentare. La momentul de față dorim să trecem la radiația pulsată pentru a inactiva microorganismele dar un suport material a experimentelor nu o avem! Se lucrează pe entuziasmul doctoranzilor și a viitorilor Dr în științe, dorința cărora este de a susține o teză de Dr în acest domeniu. Mai observăm că nici tematica Biofizica și bioinformatica (Biofizica

interacțiunii Radiației cu biomolecule) nu intră în registrul de specialități solicitate în R. Moldova. Nu suntem medici, biologi sau chimiști, dar ca fizicieni înțelegem că există o discrepanță între experimente propuse pe mapamond și conceptul fizic propriu zis după care ar trebui să se lucreze în acest domeniu (lipsește modele exacte, lipsesc măsurători calitative etc). Această parte a cercetării ar putea fi preluată de noi.

12. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de prezentări la foruri științifice (comunicări, postere – pentru cazurile când nu au fost publicate în materialele conferințelor, reflectate în p. 6) :

Pe parcursul anului 2021 am avut o mulțime de invitații la Conferințe, Congrese internaționale. Nu toate publicațiile au văzut lumina tiparului din lipsa fondurilor pentru acest tip de prezentare. De exemplu din lista publicațiilor au fost eliminate 3 articole a câte 2-3 pp fiecare. Ele au fost prezentate oral și poster însă nu au fost publicate:

- Lucrarea: “Cooperative UVC activation on metamaterial and Improvement of decontamination rate using the screw channels in it”, prezentată de către **T. Pislari**, coautori: M. Turcan, S. Bazgan, E. Starodub și N. A. Enaki, la Congresul de Biofonică ”Optical Manipulation and Its Applications 2021”, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2021), paper AF2D.6, Washington, DC United States, 12–16 April 2021, ISBN: 978-1-943580-85-9.
- Lucrarea: “Quantum Aspect of Raman Induced Emission of Entangled Photons in Three Cavity Mutual Coupled Modes”, prezentată de către **Enaki N. A.**, coautori Elena Starodub, Tatiana Paslari, Marina Turcan, Sergiu Bazgan, în cadrul Conferinței Internaționale: Quantum Mechanics (iquantum-2021) Oral presentation; June 09-10, 2021, Proceedings PHRONESIS LLC, 5 Great Valley Pkwy, <https://phronesisonline.com/> , <https://drive.google.com/file/d/1vj6TdCNXhBIZ4ZXTavImLswJFE96Y0km/view>.
- Lucrarea: “Close packing of fiber/spherical elements of transparent metamaterials in UVC diapason and its influence on the biological decontamination efficiency”, prezentată oral, în SPIE Optifab, de către **Enaki N. A.**, coautori: T. Paslari, E. Starodub, M. Turcan, S. Bazgan, 18 - 21 October 2021, Rochester, New York, United States, Paper 11889-38.
- Manifestări științifice cu participare internațională (Două comunicari Online la Societatea de Optica din America (SOA); Două pastere la (SOA)

13. Aprecierea și recunoașterea rezultatelor obținute în proiect (premiu, medalii, titluri, alte aprecieri)



CERTIFICATE

OF RECOGNITION

*Phronesis LLC
would like to thank*

Prof/Dr/Mr/Ms. Nicolae A. Enaki

Institute of Applied Physics of Moldova, Republic of Moldova

for his/her phenomenal and worthy Oral presentation on

*“Quantum Aspect of Raman Induced Emission of Entangled Photons in Three
Cavity Mutual Coupled Modes”*

*2nd Webinar on
“Quantum Mechanics (iquantum-2021)”
held during June 09-10, 2021*

14. Promovarea rezultatelor cercetărilor obținute în proiect în mass-media :

- Emisiuni radio/TV de popularizare a științei / În acest an astfel de manifestari în țara lipsesc!
Au fost repetari ai emisiunilor din anii precedenti.

15. Teze de doctorat / postdoctorat susținute și confirmate în anul 2021 de membrii echipei proiectului:

1. În momentul de față Sergiu Bazgan a trecut prima fază cu teza la ANACEC.
2. Tatiana Paslari a susținut primul seminar la Institut si in curand isi va depune teza.

16. Materializarea rezultatelor obținute în proiect

Echipamentul propus conține camera închisă reprezentată de cilindrul mare cu diametrul de 200 mm și lungimea de cca. 1 m, care nu numai că protejează oamenii din cameră prin radiațiile UVC, ci și construcția din material de reflexie bun ca stratul de aluminiu . Radiația focalizată în centrul decontaminării amplifică drastic radiația în volumul miezului de decontaminare datorită reflexiilor multiple din stratul de aluminiu. Aceste două priorități ale echipamentelor propuse pot fi utilizate în locuri populate (spitale, aeroporturi, locuințe etc.), datorită radiațiilor închise din interiorul decontaminatorului. Spre comparație cu metoda tradițională a sistemelor de decontaminare

UVC, în care oamenii trebuie să părăsească locul de muncă în timpul perioadei de dezinfecție, noul echipament nu numai că elimină acest lucru, dar reflexiile multiple ale radiațiilor în interiorul cilindrului de decontaminare ne permit să folosim eficient puterea emanată de la surse. Pentru a decontamina o cantitate de fluid mai mare, este posibil să se utilizeze astfel de echipamente în paralel, unul peste altul, la pomparea apei infectate sau a aerosolilor din aer.

17. Informație suplimentară referitor la activitățile membrilor echipei în anul 2021:

- Aurelia Profir membru al Consiliului Școlii Doctorale de Științe Fizice, Matematică, ale Informatiei și Ingineriei de pe lângă Universitatea de Stat din Moldova.
- Nicolae Enachi, membru al Consiliului Școlii Doctorale de Științe Fizice, Matematică, ale Informatiei și Ingineriei de pe lângă Universitatea de Stat din Moldova.
- Nicolae A. Enaki - Editor la **Physical Science & Biophysics Journal** (PSBJ) , MEDWIN Publishers:
<https://medwinpublishers.com/PSBJ/editorial-board.php>

18. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect :

La această etapă a proiectului, propunem combinarea accelerării agenților patogeni între elementele meta materialului împreună cu procedura de reambalare a meta materialelor propuse anterior, care poate îmbunătăți rata de decontaminare folosind sursele tradiționale de radiație ultravioletă C (200-280 nm). Prima metodă este legată de accelerarea agenților patogeni (virusuri și bacterii) diluați în fluid între elementele transparente în radiația UVC care au indicele de refracție relativ mai mare decât în fluide (apă, sânge, aer etc.). Al doilea efect este continuarea reambalării dintre meta materialele propuse au constat din sfere mari (sau fibre groase) cu altele mai mici (fibre subțiri) pentru a îmbunătăți suprafața de contact dintre radiația UVC și fluid. O nouă metodă de reambalare a meta materialelor optice formate din fibre sau elemente sferice de diferite diametre este propusă pentru decontaminarea cu ultraviolete C (UVC) a lichidelor infectate care curg între aceste elemente. Se propune metoda de reambalare a meta materialului format din împachetare închisă fibre/sfere mari cu alte subsisteme de fibre/bule subțiri înlocuite în spațiul liber dintre primele fibre/sfere de împachetare. Această metodă de reambalare a meta materialelor cvasi-periodice ne oferă posibilitatea de a mări suprafața totală de contact a sferelor/fibrelor cu fluide contaminate (apă, aerosoli). Procedura de reambalare poate fi continuată prin introducerea altor subsisteme de sfere mici sau fibre subțiri în materialul reambalat. Această abordare deschide posibilități atractive pentru utilizarea lor atât în fluidele de decontaminare, cât și în manipularea agenților patogeni din zonele speciale. Noul echipament funcționează pe principiul de mai sus, care *utilizează surse UVC pentru decontaminarea agenților patogeni (virusuri și bacterii)*.

Proiectul mai propune unificarea laserului cu doi fotoni și a laserului Raman cu împrăștiere cooperativă indusă în care ansamblul zburător al radiatoarelor excitate cu două nivele este cuplat cu câmpul cavității bimodale în interacțiuni neliniare cu doi fotoni și împrăștiere. Se discută situația în care are loc generarea cuantică indusă împreună cu conversia de împrăștiere cooperantă a fotonilor între modurile pompă, Stokes și cavitata anti-Stokes. Ecuația principală propusă descrie schimburile de energie cooperante între procesele Raman și de laser cu doi fotoni prin porțiuni de energii multiple cu energia perechii de fotoni încălciți. Generatorii unor astfel de procese de emisie și absorbție aparținând simetriilor de conversie Raman și generarea de cooperare cu doi fotoni sunt unificați. Prima simetrie aparține algebrei conectată la conversia de împrăștiere în modurile de cavitata Stokes, pompă și anti-Stokes (Opt. Commun., 285(5) (2012) 686–692). Al doilea aparține simetriei multimodale care cuantifică procesul de cooperare aparținând emisiei de doi fotoni în componentele câmpului în modul cavitata/fibră (Opt. Commun. 247(4–6) (2005) 381–392). Operatorii de fotoni colectivi bimodali sunt introduși care descriu actele de emisie sau absorbție ale porțiunii fixe de energie din cavitata egală cu energia de tranziție între stările fiecărui atom excitat. Un impact cheie al studiului se concentrează pe proprietățile statistice ale câmpului bimodal și posibilitățile de detectare ale acestora sunt propuse pentru descrierea evoluției în timp a corelațiilor cuantice dintre componentele câmpului de conversie Raman și emisia de doi fotoni.

In this project stage, we propose the combination of acceleration of pathogens between the elements of metamaterial together with the repacking procedure of earlier proposed metamaterials, which may improve the decontamination rate using the traditional sources of ultraviolet C radiation (200-280 nm). The first method is connected with the acceleration of pathogens (viruses and bacteria) diluted in the fluid between the elements of transparent in UVC radiation which have the refraction index relative larger than in the fluids (water, blood, air, etc.). The second effect is the continuation of repacking of proposed metamaterials consisted of big spheres (or thick fiber) with smaller ones (thin fibers) in order to improve the contact surface between the UVC radiation and fluid. A new method for repacking optical metamaterials formed from fiber or spherical elements of various diameters is proposed for ultraviolet C (UVC) decontamination of infected liquids that flow between these elements. It is proposed the method of repacking of metamaterial formed from closed packing big fibers/spheres with other subsystems of thin fibers/bubbles replaced in the free space between the first packing fibers/spheres. This method of the repacking of quasi-periodic metamaterials gives us the possibility to increase the total contact surface of the quartz spheres/fibers with contaminated fluids (water, aerosols). The repacking procedure may be continued by introducing other subsystems of small spheres or thin fibers in the repacked material. This approach opens the attractive possibilities for their use both in decontamination fluids and in the manipulating of pathogens in the special zones. The new equipment works on the above principle that using UVC sources for decontamination of pathogens (viruses and bacteria).

The paper also proposes to unify the two-photon laser and induced cooperative [scattering Raman](#) lasing in which the flying ensemble of two-level excited radiators are coupled with the bimodal cavity field in nonlinear two-photon and scattering interactions. It discusses the situation in which the induced two-quantum lasing takes place together with the cooperative scattering conversion of photons between the pump, Stokes, and anti-Stokes cavity modes. The proposed master equation describes cooperative energy exchanges between Raman and two-photon lasing processes by portions of energies multiple to the energy of the entangled photon pair. The generators of such emission and absorption processes belonging to the symmetries of Raman conversion and two-photon cooperative generation are unified. The first symmetry belongs to algebra connected to the scattering conversion in the Stokes, pump, and anti-Stokes modes of cavity (Opt. Commun.,285(5) (2012) 686–692). The second one belongs to multi-mode symmetry which quantifies the cooperative process belonging to two-photon emission in cavity/fiber mode components of field (see Opt. Commun. 247(4–6) (2005) 381–392). The bimodal collective photon operators are introduced describing the emission or absorption acts of the fixed portion of energy from the cavity equal to the transition energy between the states of each excited atom. A key impact of the study focuses on the statistical properties of the bimodal field and their detection possibilities are proposed for the description of the time evolution of [quantum correlations](#) between the field components of Raman conversion and two-photon emission.

20. Recomandări, propuneri

În acord cu cele studiate după literatură propunem extinderea acestor cercetări pentru anul 2021. Deasemenea am dorit o susținere în multiplicarea echipamentelor propuse pentru a fi produse în serie. Posibilități sunt multe dar lipsește modul de aplicare în producție.

Literatura anexată conține cercetări atât teoretice, experimentale și aplicative (vezi Apendix).

Conducătorul de proiect: Enachi Nicolae _____

Data: _____

LȘ

**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice
publicate în anul de referință 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 0

1.2. monografii naționale 0

2. Capitle în monografiile naționale/internaționale

Turcan, M.; Paslari, T. Raman Cooperative UV Generation with Possible Applications in Microbiology. În: Terahertz (THz), Mid Infrared (MIR) and Near Infrared (NIR) Technologies for Protection of Critical Infrastructures Against Explosives and CBRN. Ed.: Mauro Fernandes Pereira, Apostolos Apostolakis, Dordrecht: Springer, 2021. 237—252 p. ISSN 978-94-024-2082-4. Doi: 10.1007/978-94-024-2082-1_17.

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)

1. T. Pislari, M. Turcan, S. Bazgan, E. Starodub, and N. A. Enaki, "Cooperative UVC activation on metamaterial and Improvement of decontamination rate using the screw channels in it," in *Biophotonics Congress 2021*, C. Boudoux, K. Maitland, C. Hendon, M. Wojtkowski, K. Quinn, M. Schanne-Klein, N. Durr, D. Elson, F. Cichos, L. Oddershede, V. Emiliani, O. Maragò, S. Nic Chormaic, N. Pégard, S. Gibbs, S. Vinogradov, M. Niedre, K. Samkoe, A. Devor, D. Peterka, P. Blinder, and E. Buckley, eds., OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2021), paper AF2D.6.

<https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=OMA-2021-AF2D.6>

2. Enaki N. A., Starodub E., Paslari T, Turcan M and Bazgan S (2021) Increasing of Decontamination Rate of Infected Fluid by Rotation Channels under the Dispersion of Ultraviolet C Radiation by Composite Metamaterial, *Physical Science & Biophysics Journal*, 5(2) ; <https://doi.org/10.23880/psbj-16000188> (MEDWIN, Publisher)

3. Enaki NA, Starodub E, Paslari T, Turcan M, Bazgan S (2021) Close Packing of Elements of Transparent Metamaterials in UVC Diapason and its Influence on The Decontamination Efficiency. *J Immunol Infect Dis* 8(1): 104; <http://www.annepublishers.com/articles/JIID/8104-Close-Packing-of-Elements-of-Transparent.pdf> (IF 3.1 Conform asociației [Annex Publishers](http://www.annepublishers.com))

4. Enaki, N.A. Mutual cooperative effects between the mode components of two-photon and Raman induced cavity lasing processes. *Opt Commun*. 2021, 498, 127124. Doi: 10.1016/j.optcom.2021.127124 (IF: 2,125).

4.2. în alte reviste din străinătate recunoscute

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

Țurcan, M. Detectarea stărilor bicuantice dintr-o cavitate surdă prin metoda ionizării stărilor atomice, utilizată în micromaser. Revista de știință, inovare, cultură și artă "Akademos". 2021, 60(1), 29-33. Doi: 10.52673/18570461.21.1-60.03.

4.4. în alte reviste naționale

5. Articole în culegeri științifice naționale/internaționale

5.1. culegeri de lucrări științifice editate peste hotare

Enaki N.A., Starodub E, Paslari T, Turcan M and Bazgan S, Increasing of Decontamination Rate of Infected Fluid by Rotation Channels under the Dispersion of Ultraviolet C Radiation by Composite Metamaterial. Phys Sci & Biophys J. 2021, 5(2), 000188-1—000188-9. Doi 10.23880/psbj-16000188.5.2
culegeri de lucrări științifice editate în Republica Moldova

6. Articole în materiale ale conferințelor științifice

6.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

1. Cooperative UVC activation on metamaterial and Improvement of decontamination rate using the screw channels in it, T. Pislari, M. Turcan, S. Bazgan, E. Starodub, and N. A. Enaki, Biophotonics Congress "Optical Manipulation and Its Applications 2021", OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2021), paper AF2D.6, Washington, DC United States, 12–16 April 2021, ISBN: 978-1-943580-85-9. DOI: 10.1364/OMA.2021.AF2D.6

2. Quantum Aspect of Raman Induced Emission of Entangled Photons in Three Cavity Mutual Coupled Modes, presented by Enaki N. A. co-authors Elena Starodub, Tatiana Paslari, Marina Turcan, Sergiu Bazgan, in Internațional Conferețe: Quantum Mechanics (iquantum-2021) Oral presentation; June 09-10, 2021, Proceedings PHRONESIS LLC, 5 Great Valley Pkwy, STE 235, Malvern PA 19355, USA, | <https://drive.google.com/file/d/1vj6TdCNXhBIZ4ZXTavImLswJFE96Y0km/view>

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):

1. Cooperative UVC activation on metamaterial and Improvement of decontamination rate using the screw channels in it, T. Pislari, M. Turcan, S. Bazgan, E. Starodub, and N. A. Enaki, Biophotonics Congress "Optical Manipulation and Its Applications 2021", OSA Technical Digest (Optical Society of

America, 2021), paper AF2D.6, Washington, DC United States, 12–16 April 2021, ISBN: 978-1-943580-85-9. DOI: 10.1364/OMA.2021.AF2D.6

2. Improvement of Decontamination Rate Using the Screw Channels in Metamaterials Under the UVC Radiation (EM1A.43) , poster presentation by N Enaki, Co-authors: Tatiana Paslari, Marina Turcan, Sergiu Bazgan, Tatiana Marin, Elena Starodub in [European Conferences on Biomedical Optics](#) / [2021 e-Poster Archive](#):

https://www.osa.org/meetings/topical_meetings/european_conferences_on_biomedical_optics/e-posters/poster/?id=3603598

3. Improvement of Ultraviolet C Decontamination Rate Using Composite Quartz Metamaterial (ETh3A.2) oral Prezetation, Oral presentation by N. Enaki, Co-authors: Tatiana Paslari, Marina Turcan, Sergiu Bazgan, Tatiana Marin, Elena Starodub , in European Conferences on Biomedical Optics:

https://www.osa.org/meetings/topical_meetings/european_conferences_on_biomedical_optics/schedule/schedule_search/?searchtext=ETh3A.2&searchmode=anyword&page=2

4. Close packing of fiber/spherical elements of transparent metamaterials in UVC diapason and its influence on the biological decontamination efficiency, Oral presentation in SPIE Optifab presented by N. Enaki, coauthors: T. Paslari, E. Starodub, M.Turcan, S. Bazgan, 18 - 21 October 2021, Rochester, New York, United States, Paper 11889-38,.

5. Quantum Aspect of Raman Induced Emission of Entangled Photons in Three Cavity Mutual Coupled Modes, presented by Enaki N. A. co-authors Elena Starodub, Tatiana Paslari, Marina Turcan, Sergiu Bazgan, in Internațional Conferece: Quantum Mechanics (iquantum-2021) Oral presentation; June 09-10, 2021, Proceedings PHRONESIS LLC, 5 Great Valley Pkwy, STE 235, Malvern PA 19355, USA, |

<https://drive.google.com/file/d/1vj6TdCNXhBIZ4ZXTavImLswJFE96Y0km/view>

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

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

8.1.cărți (cu caracter informativ) 0

8.2. enciclopedii, dicționare 0

8.3. atlase, hărți, albume, cataloage, tabele etc. (ca produse ale cercetării științifice) 0

9. Brevete de invenții și alte obiecte de proprietate intelectuală, materiale la saloanele de invenții 0

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)

Aurelia Profir, Dezvoltarea cursului „Inițiere în Cloud Computing. Sisteme de operare distribuite” (în limba română) pe Moodle LMS – platforma educațională (<https://moodle.usm.md/>) a Universității de Stat din Moldova :Moodle - Universitatea de Stat din Moldova, <https://moodle.usm.md>

10.3. alte lucrări științifico-metodice și didactice:

Ar putea fi plasată cea din Optics Communicatins 43 pp manuscris , doua apendixuri ca metoda de lucru cu sistemele cuantice deschise.

Executarea devizului de cheltuieli, conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.01

| Cheltuieli, mii lei | | | | |
|---|----------|--------------|------------------|--------------|
| Denumirea | Cod | | Anul de gestiune | |
| | Eco (k6) | Aprobat | Modificat +/- | Precizat |
| Remunerarea muncii angajaților conform statelor | 211180 | 733.3 | | 733.3 |
| Contribuții de asigurări sociale de stat obligatorii | 212100 | 212.7 | | 212.7 |
| Indemnizații pentru incapacitatea temporară de muncă achitate din mijloacele financiare ale angajatorului | 273500 | 2.2 | | 2.2 |
| Total | | 948.2 | | 948.2 |

Conducătorul organizației dr.hab.Mihai Macovei

Economist șef Larisa Mitroșenco

Conducătorul de proiect dr.hab. Nicolae Enachi

Data: _____

LȘ

Componenta echipei proiectului

Cifra proiectului 20.80009.5007.01

| Echipa proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului) | | | | | | |
|--|---|---------------|-------------------|-------------------------------------|----------------|-----------------|
| 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. | 1.00 | 04.01.2021 | |
| 2. | Gaina Alexei | 1954 | dr. | 0.25 | 04.01.2021 | 17.02.21 |
| 3. | Țurcan Marina | 1982 | dr. | 1.00 | 04.01.2021 | |
| 4. | Prepeleț Aurelia | 1961 | dr. | 0.25 | 04.01.2021 | |
| 5. | Bîzgan Serghei | 1987 | dr. | 1.00 | 04.01.2021 | |
| 6. | Nistreanu Andrei | 1981 | | 1.00 | 04.01.2021 | |
| 7. | Rusu (Marin)Tatiana | 1988 | | 0.50 | 04.01.2021 | |
| 8. | Petracovschii Andrei | 1983 | | 0.50 | 04.01.2021 | 31.08.21 |
| 9. | Pîslari Tatiana | 1989 | | 1.00 | 04.01.2021 | |
| 10. | Starodub Elena | 1989 | | 1.00 | 04.01.2021 | |
| 11. | Scafaru Gheorghe | 1989 | | 0.50 | 04.01.2021 | |
| 12. | Tonu Viorica | 1987 | | 0.50 | 04.01.2021 | |
| | TOTAL | | | 8.50 | | |
| Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform contractului de finanțare | | | | | | |

| Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2021 | | | | | |
|--|----------------------|----------------------|--------------------------|--|-----------------------|
| Nr | Nume, prenume | Anul nașterii | Titlul științific | Norma de muncă conform contractului | Data angajării |
| 1. | Gaina Alexei | 1954 | dr. | -0.25 | |
| 2. | Țurcan Marina | 1982 | dr. | 0.25 | 01.03.21 |
| 3. | Țurcan Marina | 1982 | dr. | -0.25 | |
| 4. | Țurcan Marina | 1982 | dr. | 0.25 | 01.06.21 |
| 5. | Petracovschii Andrei | 1983 | | -0.5 | |
| 6. | Bîzgan Serghei | 1987 | dr. | 0.5 | 01.09.21 |

| | |
|--|--|
| Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor la data raportării | |
|--|--|

Conducătorul organizației dr.hab.Mihai Macovei _____/

Economist șef Larisa Mitroșenco _____/

Conducătorul de proiect dr.hab. Nicolae Enachi _____/

Data: _____

LȘ

Literatura suplimentara studiata si utilizata în publicații

1. UVC, acțiune mecanica, și decontaminare

- B. Ma, P.M. Gundy, C.P. Gerba, M.D. Sobsey, UV Inactivation of SARS-CoV-2 across the UVC spectrum: KrCl* excimer, mercury-vapor, and LED sources. *Appl. Environ. Microbiol.* AEM0153221 (2021). doi: 10.1128/AEM.01532-21
- M. Biasin, A. Bianco, G. Pareschi et al, UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. *Sci. Rep.* **11**, 6260 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85425-w>
- M. Hebling, K. Hones, P. Vatter, C. Lingenfelder. . Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation - review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. *GMS Hygiene and Infection. Control*, 14 May 2020, 15:Doc08 DOI: 10.3205/dgkh000343
- N. Storm, L.G.A. McKay, S.N. Downs et al. Rapid and complete inactivation of SARS-CoV-2 by ultraviolet-C irradiation. *Sci Rep* 10, 22421 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79600-8>
1;<https://www.msn.com/en-us/money/other/do-ultraviolet-c-lamps-and-lights-kill-covid-19-lab-puts-some-to-the-test/ar-BB1dAkHZ>
- Heling M, Hnes K, Vatter P, Lingenfelder C. Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation - review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. *GMS Hyg Infect Control*. 2020 May 14;15:Doc08. doi: 10.3205/dgkh000343. PMID: 32547908; PMCID: PMC7273323. Format:
- S. Comunian, D. Dongo, Ch. Milani, and P. Palestini. *Air Pollution and COVID-19: The Role of articulate Matter in the Spread and Increase of COVID-19 Morbidity and Mortality*, *Int J Environ Res Public Health*. **17**(12): 4487 (2020). *Physics of Fluids* 33, 034123 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0044099>
- A. Shadloo-Jahromi, O.Bavi, M. H. Heydari, M. Kharati-Koopae, Z. Avazzadeh. *Dynamics of respiratory droplets carrying SARS-CoV-2 virus in closed atmosphere*, *Results in Physics*, **19**, 103482 (2020).
- M. Jayaweera, H. Perera, B. Gunawarda, J. Manatunge. Transmission of COVID-19 virus Centrifugal buoyancy forces Gerald L. Wick and Paul F. Toobyby droplets and aerosols: Acritical review on the unresolved dichotomy, *Environmental Research*, 188, 109819 (2020).
- M. Heling, K. Hnes, P. Vatter, C. Lingenfelder, Ultraviolet irradiationdoses for coronavirus inactivation- review and analysisof coronavirus photoinactivation studies, *GMS Hyg Infect Control*. **15**2196-5226 (2020).
- T. Galbadage, B. M. Peterson, and R. S. Gunasekera, Does COVID-19 Spread Through Droplets Alone?, *Front. Public Health*, 24 (2020) <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00163>
- Buonanno M, Welch D, Shuryak I and David J 2020 Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses, *Sci Rep* **10** 10285.<https://doi.org/10.1038/s41598-020-67211-2>
- G.L. Wick and P.F. Tooby. Centrifugal buoyancy forces. *Am. J. Phys.* 45, 1074 (1977). doi: 10.1119/1.10725
- D. Zhang, L. Peng, X. Shang, X. et al. Buoyant particulate strategy for few-to-single particle-based plasmonic enhanced nanosensors. *Nat. Commun.* 11, 2603 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-16329-y>
- P. Vadasza. Centrifugal buoyancy in a rotating fluid layer next to and distant from the rotation axis. *Physics of Fluids* 33, 034123 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0044099>

- M. G. Kalyankar, W. R. Matson, P. Tong, and B. J. Ackerson, Pattern formation in a rotating suspension of non-Brownian buoyant particles, *Phys. Fluids* 20, 083301(2008). <https://doi.org/10.1063/1.2970156>.
- Sabino C P, Ballc A R, Baptistad M S, Daief T , Hamblineg M R, Ribeiroh M S, Santoscij A L, Sellerakl F P, Tegoscem G P, Wainwrightn M 2020 Light-based technologies for management of COVID-19 pandemic crisis. *J Photochem Photobiol B* **212** 111999. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2020.111999
- Heling M, Hnes K, Vatter Petra, Lingenfelder C 2020 Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation- review and analysis of coronavirus photoinactivation studies *GMS GMS Hyg Infect Control*. **15** 2196-5226. doi: 10.3205/dgkh000343
- Kalyani V L, Laxmi V, Prachi K, Prachi M, Nupur M, Nupur M, Nidhi M, Nidhi S 2020 Study on Coronavirus (COVID-19) and how UVC Light helps to Destroy it and its Applications *Journal of Management Engineering and Information Technology (JMEIT)* **7** 2394 - 8124. <https://DOI: 10.5281/zenodo.3929714>
- Mack R 2020 Covid-19 and fiber optic cable assemblies *FOC News*.
- Baer T M and Baer C E 2020 Optics and the COVID-19 Pandemic *Optics & Photonics News*.
- K. Sudarshan, L. Jonghoon, R. K. Anki, S. Anugrah, Particle dynamics and pattern formation in a rotating suspension of positively buoyant particles, *Phys Rev Fluids*. 3(4), 044301(19) (2018). <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevFluids.3.044301>
- S.W. Chang, , W.L. Cai, H.D. Shen, K.C. Yu Uncoupling Coriolis Force and Rotating Buoyancy Effects on Full-Field Heat Transfer Properties of a Rotating Channel. *J. Vis. Exp.* (140), e57630 (2018). doi:10.3791/57630.
- L. N. Hand; J. D. Finch. *Analytical Mechanics*. Cambridge University Press. p. 267(1998). ISBN 978-0-521-57572-0.
- Enaki N A, Profir A, Ciobanu N, Bazgan S, Nistreanu A, Turcan M, Starodub E, Paslari T, Ristoscu C, Badiceanu M, Mihailescu I N 2017 Optical metamaterials for decontamination of translucent liquids and gases. *J Phys D* **51** 385101-11. Doi: 10.1088/1361-6463/aad705
- Enaki N A, Bazgan S, Ciobanu N, Turcan M, Paslari T, Ristoscu C, Vaseaseasta A, Mihailescu I N 2017 Improvement in ultraviolet based decontamination rate using meta-materials. *Applied Surface Science* **417** 40-47. Doi: 10.1016/j.apsusc.2017.01.133
- Perepechkin L P and Perepechkina N P 1999 Hollow fibres for medical applications. A review *Fibre Chemistry* **31** 411-420. <https://doi.org/10.1007/BF02358251>
- Cadwell J J S 2015 The Hollow Fiber Infection Model: Principles and Practice *Adv Antibiotics Antibodies*, 1:1. <http://dx.doi.org/10.4172/aaa.1000101>
- Enaki N A, Profir A, Bizgan S, Paslari T, Ristoscu C, Badiceanu C M, Mihailescu I N 2017 Metamaterials for Antimicrobial Biofilm Applications: Photonic Crystals of Microspheres and Optical Fibers for Decontamination of Liquids and Gases *Handbook of Antimicrobial Coatings* Elsevier 13-27.
- Annamdas V G M, Soh K Ch 2019 A Perspective of Non-Fiber-Optical Metamaterial and Piezoelectric Material Sensing in Automated Structural Health Monitoring *Sensors* **19** 1490. <https://doi.org/10.3390/s19071490>
- Enaki N A, Bazgan S, Nistreanu A, Tonu V, Turcan M, Paslari T, Starodub E, Profir A, Popescu-Pelin G, Badiceanu M, Ristoscu C, Mihailescu I N 2018 Efficient microbial decontamination of translucent liquids and

gases using optical metamaterials *In the book: Advanced Surface Engineering Research* IntechOpen **9** 169-197; <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.80639>

N. A. Enaki, T. Turcan, S. Bazgan, E. Starodub, T. Paslari, A. Nistreanu, C. Ristoscu, I. N. Mihailescu, *Composite Metamaterials for Biological Decontamination of Fluids*, IFMBE PROCEEDINGS, Springer, **77**, 373-377. (2020).

J. Zhang, S. Yan, D. Yuan, G. Alici, N.T. Nguyen, M.E. Warkiani, W. Li, *Fundamentals and Applications of Inertial Microfluidics: (Critical Review)*, Lab. Chip, **16** (2016) 10-34, DOI: 10.1039/C5LC01159K

2. Dimerizare de ADN/ARN concept, modele cuantice

X. Li, H. K.H. Luk, *Human Corona viruses: General Features*. In: Reference Module in Biomedical Sciences. Amsterdam: Elsevier; (2019) 1-6, DOI: 10.1016/B978-0-12-801238-3.95704-0

R. A. Khailany, M. Safdar, M. Ozaslanc, *Genomic characterization of a novel SARS-CoV-2*. Gene Rep. **19** (2020) 100682, doi: 10.1016/j.genrep.2020.100682

H. H. Lans, J.H.J. Hoeijmakers, W. Vermeulen, J.A. Marteijn, *The DNA damage response to transcription stress* Nat. Rev. Mol. Cell Biol., **20** (2019) 766-784,

J.A. Marteijn, H. Lans, W. Vermeulen, J.H.J. Hoeijmakers, *Hoeijmakers Understanding nucleotide excision repair and its roles in cancer and ageing* Nat. Rev. Mol. Cell Biol., **15** (2014) 465-481, DOI: 10.1038/nrm3822

M. Pinak, *Enzymatic recognition of radiation-produced oxidative DNA lesion*. In the book: *Molecular dynamics approach in Modern Methods for Theoretical Physical Chemistry of Biopolymers*", Edited by :Evgeni B. Starikov, James P. Lewis and Shigenori Tanaka, Isevier, **10** (2006) 191-210

R. Loudon, *The Quantum Theory of Light*. (Oxford, 2000) 448.

R.P. Rastogi, Richa, A. Kumar, M. B. Tyagi, R.P. Sinha, *Molecular Mechanisms of Ultraviolet Radiation-Induced DNA Damage and Repair*, SAGE-Hindawi Access to Research Journal of Nucleic Acids Article ID 592980 (2010), doi:10.4061/2010/592980

W. Kowalski, *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*, **2** (Springer, 2009) 17-50, <http://www.springer.com/978-3-642-01998-2>,

W. J. Schreier, W. J. Schrader, F. O. Koller, P. Gilch, C. E. Crespo-Hernandez, V.N. Swaminathan, T. Carell, W. Zinth, B. Kohler, *Thymine Dimerization in DNA is an Ultrafast Photoreaction*, Science. **315** (2007) 625-629, doi:10.1126/science.1135428.

A Kuzminov, *Pyrimidine Dimers*, *Brenner's Encyclopedia of Genetics*, **5** (2013)538-539, doi:10.1016/B978-0-12-374984-0.01244-4

F. L. Pilar, *Elementary Quantum Chemistry* (McGraw-Hill, New York, 1968)

V. K. Jaiswal, J. Segarra-Marti, M. Marazzi, E. Zvereva, X. Assfeld, A. Monari, M. Garavelli, I. Rivalta, *First-principles characterization of the singlet excited state manifold in DNA/RNA nucleobases*, Phys. Chem. Chem. Phys., **22** (2020) 15496-15508, DOI <https://doi.org/10.1039/D0CP01823F>

C. Marian, D. Nolting, and R. Weinkauff, *The electronic spectrum of protonated adenine: Theory and experiment*, Phys. Chem. Chem. Phys., **7** (2005) 3306–3316,

Yong E 2012 *Yeast suggests speedy start for multicellular life* *Nature News* Springer Nature jan 16. doi:10.1038/nature.2012.9810.S2CID 84392827.

- Ratcliff, W. C., Denison, R. F., Borrello, M. & Travisano, M. 2012, Experimental evolution of multicellularity *Proc. Natl Acad. Sci. USA advance online publication* <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1115323109>
- Boraas M E, Seale D. B & Boxhorn J E 1998 Phagotrophy by a flagellate selects for colonial prey: A possible origin of multicellularity *Evolutionary Ecology* **12** 153-164. <https://doi.org/10.1023/A:1006527528063>
- Koschwanez J H, Foster K R, Murray A W. 2011 Sucrose utilization in budding yeast as a model for the origin of undifferentiated multicellularity. *PLoS Biol* **Aug;9(8):10**:e1001122. doi: 10.1371/journal.pbio.1001122.
- Rosa C A, Gbor P 2006 Biodiversity and Ecophysiology of Yeasts *Series: The Yeast Handbook*, Springer 580 p
- Berman G P , Nesterov A I , Liopez G V and Sayre R T 2015 Superradiance Transition and Nonphotochemical Quenching in Photosynthetic Complexes *J. Phys. Chem C* **119** 22289 - 22296. <https://arxiv.org/abs/1504.06614>
- Celardo G , Borgonovi F, Merkli M , Tsifrinovich V I and Berman G P ,2012 Superradiance transition in photosynthetic light-harvesting complexes, *J. Phys. Chem.* **116** 22105
- Walkeellipser K, Skelton H, Smith K, 2002 Cutaneous lesions showing giant yeast forms of *Blastomyces dermatitidis*. *Journal of Cutaneous Pathology* **29** 616-618; <https://doi.org/10.1034/j.1600-0560.2002.291009.x>
- Legras J L, Merdinoglu D, Cornuet J M, Karst F 2007 Bread, beer and wine: *Saccharomyces cerevisiae* diversity reflects human history. *Molecular Ecology* **16** 10 .
- C. R. Martinez and B. L. Iverson, Rethinking the term 'pi-stacking', *Chem. Sci.*, 3 (2012) 2191–2201.
- H.G. Duan, V. I. Prokhorenko, R. J. Cogdell, K. Ashraf, A. L. Stevens, M. Thorwart, R. J. Dwayne Miller, Nature does not rely on long-lived electronic quantum coherence for photosynthetic energy transfer, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **114** (32) (2017) 8493-8498, DOI: 10.1073/pnas.1702261114
- E. Z. Harush, Y. Dubi, Do photosynthetic complexes use quantum coherence to increase their efficiency? Probably not, *Sci Adv.* **7(8)** (2021) FebPMC7888942; doi: 10.1126/sciadv.abc4631
- N. R. Baker, Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu Rev Plant Biol.* **59** (2008) 89-113; doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759. PMID: 18444897.
- A. R. Sarasin, P.C. Hanawalt, Replication of ultraviolet-irradiated simian virus 40 in monkey kidney cells. *Journal of molecular biology.* **138**(2) (1980) 299-319.
- S. Nordholm G. B. Bacskay, The Basics of Covalent Bonding in Terms of Energy and Dynamics, *Molecules*, **25**(11) (2020) 2667, doi: 10.3390/molecules25112667
- L. Reuter, A. Luchowd, Real space electron delocalization, resonance, and aromaticity in chemistry, *Nat. Commun.* **12** (2021) 4820. doi: 10.1038/s41467-021-25091-8
- D. L. Jones B. K. Baxter, DNA Repair and Photoprotection: Mechanisms of Overcoming Environmental Ultraviolet Radiation Exposure in Halophilic Archaea, *Front. Microbiol.*, REVIEW article (2017), <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01882>

A. Marais, B. Adams, A. K. Ringsmuth, M. Ferretti, J. M. Gruber, R. Hendrikx, M. Schuld, S. L. Smith, I. Sinayskiy, T. P. J. Kruger, F. Petruccione, R. Grondelle, The future of quantum biology. *J. R. Soc. Interface*, **15** (2018) 20180640. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2018.0640>

Y. Yang, H. Zhang, V. Chan, A. C. Lai, Development and experimental validation of a mathematical model for the irradiance of in-duct ultraviolet germicidal lamps, *Building and Environment* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.004>.

3. Optica cuantica și neliniara și aplicațiile ei în informatica

S. Slussarenko and G. J. Pryde, Photonic quantum information processing: A concise review, *Appl. Phys. Rev.* **6** (2019) 041303-19, <https://doi.org/10.1063/1.5115814>.

X-B Song, D-Q. Xu, H-B. Wang, J. Xiong, X. Zhang, D-Z. Cao, et al., Experimental observation of one-dimensional quantum holographic imaging, *Appl. Phys. Lett.* **103** (2013) 131111, <https://doi.org/10.1063/1.4822423>.

A. Riazi, Ch. Chen, Eric Y. Zhu, A. V. Gladyshev, P. G. Kazansky, J. E. Sipe, and Li Qian, Biphoton shaping with cascaded entangled-photon sources. *npj Quantum Inf.* **5** (2019) 77, <https://doi.org/10.1038/s41534-019-0188-1>.

J. Herz, B. H. Zinselmeyer, and D. B. McGavern, Two-Photon Imaging of Microbial Immunity in Living Tissues. *Microscopy and Microanalysis*, **18**(4) (2012) 730-741, <https://doi.org/10.1017/S1431927612000281>.

R. K. P. Benninger and D. W. Piston. Two-Photon Excitation Microscopy for the Study of Living Cells and Tissues. *Curr Protoc Cell Biol.* (2013) Chapter 4: Unit 4.11.1-24, doi: 10.1002/0471143030.cb0411s59.

P. P. Sorokin and N. Braslau, Some Theoretical Aspects of a Proposed Double Quantum Stimulated Emission Device, *IBM J. Res. Dev.* **8**(2) (1964) 177-181, DOI: 10.1147/rd.82.0177.

A. M. Prokhorov, *Quantum Electronics*. *Science* **149** (1965) 828-830, DOI: 10.1126/science.149.3686.828.

K.J. McNeil, D.F. Walls. Quantum theory of multiphoton lasers. I. Systems in detailed balance. *J. Phys. A: Math. Gen.* **8** (1975) 104-110, <https://doi.org/10.1088/0305-4470/8/1/017>.

M.S.Zubairy, Nonclassical effects in a two-photon laser. *Phys. Lett. A* **87** (1982) 162-164, [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(82\)90102-5](https://doi.org/10.1016/0375-9601(82)90102-5).

L.M. Narducci, W. Edison, P. Furciniti, D. Eteson, Theory of a two-photon laser amplifier. *Phys. Rev. A* **16** (1977) 1665-1672, <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevA.16.1665>.

C. Ning and H. Haken, Instability in degenerate two-photon running wave laser. *Z. Phys. B* **77** (1989) 157-162, <https://doi.org/10.1007/BF01313633>.

N.A. Enaki, V.I. Ciornea, The coherent generation of the photon pairs by stream of excited atoms passing through the cavity, *Physica A* **340**(1-3) (2004), 436-443, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2004.04.038>.

N. Enaki and V. Eremeev, Two-Photon Lasing Stimulated by Collective Modes, *Opt. Commun.* **247**(4-5) (2005) 381-392, <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2004.11.076>.

F. H. A. Mathkooor, C. H. Kam, and C. H. Raymond Ooi, Nonclassicality of the two-photon laser with Kerr nonlinearity, *J. Opt. Soc. Am. A*, **37** (2020) 820-833, <https://doi.org/10.1364/JOSAB.377537>.

- G. Grynberg, E. Giacobino, F. Biraben, Two-photon optically pumped laser. *Opt. Commun.* 36(5) (1981) 403-405, [https://doi.org/10.1016/0030-4018\(81\)90252-2](https://doi.org/10.1016/0030-4018(81)90252-2)
- M. Brune, J.M. Raimond, P. Goy, L. Davidovich, S. Haroche, Realization of a two-photon maser oscillator. *Phys. Rev. Lett.* 59 (1987) 1899-1902. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.59.1899>
- D.J. Gauthier, H.M. Concannon, The Two-Photon Laser. In: Di Bartolo B. (eds) *Nonlinear Spectroscopy of Solids*. NATO ASI Series (Series B: Physics), vol 339. Springer, Boston, MA (1994), https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1190-2_9.
- M. L. Steyn-Ross and D. F. Walls, Quantum Theory of a Raman Laser. *Journal of Modern Optics*, 28 (2) (1981) 201-210, <https://doi.org/10.1080/713820527>.
- T. Neuman, J. Aizpurua and R. Esteban. Quantum theory of surface-enhanced resonant Raman scattering (SERRS) of molecules in strongly coupled plasmon-exciton systems, *Nanophotonics* 9 (2019) 295-308, <https://doi.org/10.1515/nanoph-2019-0336>.
- N.A. Enaki, and M. Turcan, Cooperative Scattering Effect Between Stokes and Anti Stokes Field Stimulated by a Stream of Atoms. *Opt. Commun.* 285(5), (2012) 686-692, <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2011.11.011>.
- S.M. Spillane, T. J. Kippenberg and L. J. Vahala, Ultralow-threshold Raman laser using a spherical dielectric microcavity. *Nature* 415 (2002) 621-623, <https://doi.org/10.1038/415621a>.
- H.M. Pask, The design and operation of solid-state Raman lasers, *Progr. Quantum Electron.* 27 (2003) 3-56, [https://doi.org/10.1016/S0079-6727\(02\)00017-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6727(02)00017-4).
- O. Slattery, L. Ma, K. Zong, and X. Tang. Background and Review of Cavity-Enhanced Spontaneous Parametric Down-Conversion, *Journal of Research (NIST JRES)* 124 (2019) 124019, <https://doi.org/10.6028/jres.124.019>.
- O. Slattery, L. Ma, and X. Tang, Comparing the linewidths from single-pass SPDC and singly resonant cavity SPDC. *Quantum Communications and Quantum Imaging XIII (International Society for Optics and Photonics)* (2015) 961507, <https://doi.org/10.1117/12.2187059>.
- N.A. Enaki, *Non-Linear Cooperative Effects in Open Quantum Systems: Entanglement and second Order Coherence*; Nova Sciences, NY, USA (2015) 355 pp, ISBN: 978-1-63483-321-9.
- N.A. Enaki, *Coherence Properties of Entangled Bi-Modal Field and Its Application in Holography and Communication*, *Quantum Cryptography in Advanced Networks*, Oleg G. Morozov, IntechOpen, (2019). DOI: 10.5772/intechopen.85857
- P. S. Gupta and J. Dash, Quantum theory of coherent anti-Stokes Raman scattering in three-level system. In *SPIE Proceedings Volume 2145, Nonlinear Optics for High-Speed Electronics and Optical Frequency Conversion*, (1994), <https://doi.org/10.1117/12.177161>.
- E.O. Potma and S. Mukame. Theory of Coherent Raman Scattering. in the book: *Coherent Raman Scattering Microscopy*. Edited by J-X. Cheng and X. S. Xie, CRC Press (2012) 40 p , <https://doi.org/10.1201/b12907>.
- D. Oron, N. Dudovic, D. Yelin, Y. Silberberg, Quantum control of coherent anti-Stokes Raman processes, *Phys. Rev. A* 65 (2002) 043408-4, <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.65.043408>.
- E.T. Jaynes and F.W. Cummings, Comparison of quantum and semiclassical radiation theories with application to the beam maser. *Proc. IEEE.* 51 (1963) 89-109, DOI: 10.1109/PROC.1963.1664.

- N. A. Enaki, V. I. Koroli, Trapping of three-level atoms interacting with a single-mode cavity field, *J. Opt. Soc. Am. A* 16 (1999) 2793-2798, <https://doi.org/10.1364/JOSAA.16.002793>.
- N.A. Enaki N.A., V.I. Ciornea and D.L. Lin, Trapping conditions for a three-level atom interacting with cavity fields, *Opt. Commun.* 226 (2003) 285-296, <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2003.06.003>.
- E. Strarodub, N. Enaki, Quantum reversibility in cooperative interaction of the atom system with bi-modal cavity field in Raman conversion, *Phys. Scr.* 95 (2020) 055105, <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ab7653>.
- N. A. Enaki, T. Rosca, The exact quantum solution of N-radiators in cooperative interaction with a cavity field, *Phys. Scr.* 2012 (2012) 014011, <https://doi.org/10.1088/0031-8949/2012/T147/014011>.
- R.H. Dicke, Coherence in Spontaneous Radiation Processes, *Phys. Rev.* 93 (1954) 99-110, <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRev.93.99>.
- P. Filipowicz, J. Javanainen, and P. Meystre, Quantum and semiclassical steady states of a kicked cavity mode, *J. Opt. Soc. Am. B*, 3 (1986) 906-910, <https://doi.org/10.1364/JOSAB.3.000906>.
- G. Rempe, H. Walther, and N.Klein, Observation of Quantum Collapse and Revival in a One-Atom Maser, *Phys.Rev.Lett.* 58 (1987) 353--356, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.58.353>.
- J. J. Slosser, P. Meystre, and S. Braunstein, Harmonic oscillator driven by a quantum current, *Phys. Rev. Lett.* 63 (1989) 934-937, <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.63.934>.
- M. Orszag, R. Ramirez, J.C. Retamal, L. Roa, Generation of highly squeezed states in a two-photon micromaser, *Phys. Rev. A* 45 (1992) 6717, <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.45.6717>.
- S. Okubo, Casimir invariants and vector operators in simple and classical Lie algebras, *J. of Math. Phys.* 18 (1977) 2382-2394, <https://doi.org/10.1063/1.523225>.
- R. J. Glauber, Coherent and Incoherent States of the Radiation Field, *Phys. Rev.* 131 (1963) 2766-2788, <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRev.131.2766>.
- S. M. Aldoshin, E. B. Fel'dman, and M. A. Yurishchev, Quantum entanglement and quantum discord in magnetoactive materials (Review Article), *Low Temperature Physics* 40, 3 (2014), <https://doi.org/10.1063/1.4862469>.
- S. L. Braunstein, C.M. Caves, Statistical distance and the geometry of quantum states, *Phys. Rev. Lett.* 72 (1994) 3439-3443, <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.72.3439>.
- L. Pezze and A. Smerzi, Entanglement, Nonlinear Dynamics, and the Heisenberg Limit, *Phys. Rev. Lett.* 102(10) (2009) 100401, <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.102.100401>.
- L. Pezze and A. Smerzi, Quantum theory of phase estimation, in *Atom Interferometry, Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi," Course 188, Varenna, 2013*, edited by G. M. Tino and M. A. Kasevich (IOS Press, Amsterdam, 2014), p. 691.
- K. Micadei, D. A. Rowlands, F. A. Pollock, L.C. Celeri, R. M. Serra and K. Modil, Coherent measurements in quantum metrology, *New J. Phys.* 17 (2015) 023057, <https://doi.org/10.1088/1367-2630/17/2/023057>.
- M. G. A. Paris, Quantum Estimation for Quantum Technology, *Int. J. of Quantum Inf.* 07(01) (2009) 125–137, <https://doi.org/10.1142/S0219749909004839>.
- W. H. Zurek, Einselection and decoherence from an information theory perspective, *Annalen der Physik* 9 (2000) 855-864, [https://doi.org/10.1002/1521-3889\(200011\)9:11/12<855::AID-ANDP855>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1521-3889(200011)9:11/12<855::AID-ANDP855>3.0.CO;2-K).

- H. Ollivier and W. H. Zurek, Quantum Discord: A Measure of the Quantumness of Correlations, *Phys. Rev. Lett.* 88 (2001) 017901, <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.88.017901>.
- L. Henderson and V. Vedral: Classical, quantum and total correlations, *J. Phys. A: Math. Gen.* 34 (2001) 6899-6905, <https://doi.org/10.1088/0305-4470/34/35/315>.
- A. Sone, Q. Zhuang, and P. Cappellaro, Quantifying precision loss in local quantum thermometry via diagonal discord, *Phys. Rev. A.* 98 (2018) 012115, <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.98.012115>.
- T. Yoon, Z. Ding, J. Flannery, F. Rajabi, A. Bajcsy, Monitoring Raman emission through state population in cold atoms confined inside a hollow-core fiber, *Optics Express* 27 (2019) 17592-17600, <https://doi.org/10.1364/OE.27.017592>.
- C. C. Rulli and M. S. Sarandy, Global quantum discord in multipartite systems, *Phys. Rev. A* 84 (2011) 042109, <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.84.042109>.
- V. Vedral, The role of relative entropy in quantum information theory, *Rev. Mod. Phys.* 74 (2002) 197-234, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.197>.
- G. Alzetta, A. Gozzini, L. Moi, G. Orriols, An experimental method for the observation of r.f. transitions and laser beat resonances in oriented Na vapour, *Nuov Cim B* 36 (1976) 5-20, <https://doi.org/10.1007/BF02749417>.
- Z. Hu, G. S. Engel, F. H. Alharbi, and S. Kais. Dark states and delocalization: Competing effects of quantum coherence on the efficiency of light harvesting systems. *J. Chem. Phys.* 148 (2018) 064304, <https://doi.org/10.1063/1.5009903>.
- Capolino F 2009 Theory and Phenomena of Metamaterials. *Metamaterials Handbook* Taylor & Francis 930 p. <https://doi.org/10.1201/9781420054262>
- Baas A F, Tretyakov Sergei , Barois P, Scharf T, Kruglyak V and Bergmair I 2010 Nanostructured Metamaterials: Exchange between experts in electromagnetics and material science *Editor in Chief EUROPEAN COMMISSION* 150 p.
- Tadesse A D, Acharya O P, Sahu S 2020 Application of metamaterials for performance enhancement of planar antennas *Int J RF Microw Comput Aided Eng* **30** e22154. <https://doi.org/10.1002/mmce.22154>
- Surjadi J U, Gao L, Du H, Li X, Xiong X, Fang N X and Lu Y 2019 Mechanical Metamaterials and Their Engineering Applications *Adv Eng Mater* **21** : 1800864 . <https://doi.org/10.1002/adem.201800864>