

**RECEPȚIONAT**

Agenția Națională pentru Cercetare  
și Dezvoltare \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2024

**AVIZAT**

Secția AȘM \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2024

## **RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL**

**pentru perioada 2020-2023**

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

Proiectul: **Tehnologii cuantice hibride avansate**

Cifrul proiectului: **20.80009.5007.07**

Prioritatea Strategică: **Competitivitate economică și tehnologii inovative**

Rectorul USM

\_\_\_\_\_  
Igor Șarov

Consiliul științific/Senatul

Conducătorul proiectului

\_\_\_\_\_  
Mihai Macovei

## *Cuprins*

<b>1</b>	<b>Scopul, obiectivele și rezultatele planificate și realizate pe parcursul anilor 2023-2023 ..</b>	<b>2</b>
1.1	Scopul proiectului .....	2
1.2	Obiectivele proiectului .....	2
1.3	Rezultatele planificate .....	3
1.4	Rezultatele obținute (3-5 pagini).....	4
1.4.1.	Etapa I, anul 2020.....	4
1.4.2.	Etapa II, anul 2021 .....	4
1.4.3.	Etapa III, anul 2022.....	5
1.4.4.	Etapa IV, anul 2023.....	5
<b>2</b>	<b>Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Diseminarea rezultatelor obținute în proiect formă de prezentări la foruri științifice în 2020-2023 .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în limba română .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în limba engleză .....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Lista publicațiilor științifice pentru perioada 2020-2023 .....</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Teze de doctorat și confirmate pe parcursul anilor 2020 – 2023 de membrii echipei proiectului .....</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Concluzii.....</b>	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>Volumul total al finanțării proiectului pentru perioada 2020-2023 .....</b>	<b>16</b>
<b>10</b>	<b>Componența echipei pe parcursul anilor 2020-2023.....</b>	<b>17</b>
10.1	Anul 2020.....	17
10.2	Anul 2021.....	18
10.3	Anul 2022.....	19
10.4	Anul 2023.....	20
<b>11</b>	<b>Raportarea indicatorilor.....</b>	<b>21</b>

# **1 Scopul, obiectivele și rezultatele planificate și realizate pe parcursul anilor 2023-2023**

## ***1.1 Scopul proiectului***

Proiectul de cercetare 20.80009.5007.07 „Tehnologii cuantice hibride avansate” a avut ca scop elaborarea teoriilor, descrierea și prezicerea efectelor noi în diverse nano- și micro-sisteme ce interacționează intens cu surse coerente de lumină și care pot sta la baza diverselor aplicații. În particular, i) demonstrarea posibilității conversiei frecvenței luminii în sistemele moleculare ce posedă dipol permanent or ii) dezvoltarea teoretică a senzorilor ce permit detectarea proceselor multifononice în sistemele optomecanice cu oglinzi vibrante sau încetinirea timpului de viață a fononilor vibraționali în sistemele moleculare. iii) Demonstrarea îmbunătățirii eficienței cuantice a unui motor termic cuantic format din emițători cu trei nivele energetice sau iv) demonstrarea utilizării sistemelor hibride formate din ansambluri de impurități cu două niveluri amplasate/încorporate pe/în platforme solide în calitate de baterii cuantice.

## ***1.2 Obiectivele proiectului***

Proiectul de cercetare 20.80009.5007.07 „Tehnologii cuantice hibride avansate” a fost realizat pentru atingerea următoarelor obiective principale:

- 1) propunerea unei interfață cuantice hibride eficiente capabilă de transformarea fotonilor din domeniul optic în microunde sau în unde electromagnetice de frecvență mai înaltă,
- 2) demonstrarea posibilității existenței unei scheme de senzor cuantic bazată pe natura neliniară a interacțiunii fundamentale a unei unde de radiație coerentă (laser) de intensitate moderată cu rezonatorii optici (sistem de oglinzi) aflat în vibrație,
- 3) demonstrarea posibilității existenței unei scheme de motor cuantic termic, precum și de refrigerator (răcitor) cuantic, bazată pe proprietățile termodinamice cuantice ale sistemelor cuantice hibride constând din emițători cuantici cu un număr mic de niveluri energetice mediate termic și interacționând dipol-dipol unul cu altul, supuși acțiunii unui câmp electromagnetic incident cuantizat sau coerent/incoerent,
- 4) propunerea unei scheme de punere în interacțiune a mai mulți qubiți pentru a putea crește eficiența proceselor termodinamice ciclice în scopul realizării unor baterii cuantice,
- 5) dezvoltarea metodelor numerice pentru simularea legiților termodinamice cuantice în sistemele hibride.

### 1.3 Rezultatele planificate

Pentru atingerea obiectivelor fixate, a fost aprobată următoarele etape de lucru:

<i>Denumirea etapei</i>	<i>Anul</i>	<i>Rezultatele preconizate</i>
Elaborarea modelului interfeței cuantice hibride eficiente	2020	<p>Modelul interfeței cuantice hibride eficiente ce permite conversia fotonilor din domeniul optic în microunde sau în unde electromagnetice de frecvență mai înaltă.</p> <p>Valori/domenii ale parametrilor de control necesar de stabilit pentru punerea sistemului considerat în regim de convertor al fluxului incident de fotoni în fotoni de frecvențe mai joase sau mai înalte.</p> <p>Considerente cu privire la modul de detectare al radiației de microundă rezultantă.</p> <p>Efectuarea calculelor pe facilitățile Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg, Germania.</p>
Modelul teoretic al sensorului cuantic bazat pe efectele neliniare apărute la interacțiunea moderat de intensă a radiației laserului cu un sistem de oglinzi vibrant	2021	<p>Model al sensorului cuantic hibrid pentru situațiile în care condiția de rezonanță între semnalul incident și frecvența proprie sau parametrul caracteristic al sensorului nu este atinsă.</p> <p>Metodă de lucru cu sensorul cuantic ce permite detectarea semnalelor de frecvență în afara condiției de rezonanță cu sensorul.</p>
Studiul proprietăților termodinamice cuantice ale emițătorilor hibridi, cu câteva nivele, interacționând dipol-dipol, supuși acțiunii unui câmp electromagnetic extern cuantizat sau coerent/incoerent	2022	<p>Vor fi determinate condițiile în care un set de emițători cu trei nivele energetice, distribuiți apropiat în spațiu, interacționând reciproc dipol-dipol și înconjurați de un rezervor termal, vor avea eficiență maximă în calitate de motoare termice sau refrigeratoare cuantice. Va fi descrisă dinamica populației pe nivelele energetice ale qubiților în baza cărora funcționează sistemele considerate.</p>
Creșterea eficienței bateriilor cuantice implicate în procesele ciclice termodinamice sau într-un sistem implicând interacțiunea mai multor qubiți	2023	<p>Identificarea sistemelor hibride cele mai promițătoare în calitate de baterii cuantice sau transmițători de excitație cuantică.</p> <p>Descrierea modului de stocare și stocare/transmitere controlată a excitației/excitațiilor în sistem.</p> <p>Valorile parametrilor de control pentru atingerea eficienței maxime în stocarea excitației sau transmiterea/modificarea ei controlată.</p>

## **1.4 Rezultatele obținute (3-5 pagini)**

### **1.4.1. Etapa I, anul 2020**

Pentru realizarea obiectivelor etapei a I-a, intitulată „*Elaborarea modelului interfeței cuantice hibride eficiente pentru conversia fotonilor*”, a fost elaborat teoretic un model de interfață cuantică hibridă pe baza punctelor și gropilor cuantice caracterizate prin frecvențe proprii de tranziție în domeniul optic, pompate optic și puse în contact cu rezonatori de microundă. În urma analizelor și modelărilor efectuate a fost ales un model de interfață cuantică hibridă care corespunde cel mai bine activităților planificate. Modelul selectat constă dintr-un emițător, caracterizat prin momente dipolare diagonale permanente, cu două niveluri energetice, pompat optic din exterior de un laser, la rezonanță și încorporat într-un singur rezonator cu un singur mod cuantificat de oscilare. Frecvențele celor două niveluri ale emițătorului se presupun a fi în domeniul optic și semnificativ diferite de frecvența cavității care, în cazul general, poate fi inclusiv în domeniul microundelor.

Deoarece frecvențele subsistemelor implicate sunt absolute diferite, emițătorul cu două niveluri se cuplează la rezonator numai prin dipolii săi permanenți. Frecvența cavității sau multiplii săi diferă, de asemenea, de frecvența Rabi generalizată care apare datorită acțiunii externe rezonante și coerente a emițătorului cu două niveluri. Ca urmare, acest regim de interacțiune foarte disipativ duce la formarea proceselor de absorbție-emisie multifotonice în modul rezonatorului mediat de efectele de amortizare corespunzătoare, adică de emisia spontană a emițătorului și, respectiv, scăpările în exterior a fotonilor prin pereții rezonatorului.

S-a studiat dinamica cuantică a fluxului de fotoni din cavitate și caracterizat statistica cuantică a acestora pentru diferite regimuri (diferiți parametri de control). S-a demonstrat posibilitatea generării unei stări multifotonice de cavitate la frecvențe cu mult mai mici decât cea de pompă. S-a demonstrat posibilitatea realizării conversiei în jos controlate a fotonilor folosind sisteme de tipul celui studiat.

O parte din rezultatele obținute au fost trimise spre publicare în reviste recenzate de specialitate (cu factor de impact) și chiar și publicate. S-a reușit delegarea a 3 persoane la IUCN din Dubna, Rusia, din contul părții primitoare, pentru realizarea cercetărilor comune, efectuate în cadrul acordurilor de colaborare între IFA-IUCN.

### **1.4.2. Etapa II, anul 2021**

Pentru realizarea obiectivelor etapei a II-a, intitulată „*Modelul teoretic al senzorului cuantic bazat pe efectele neliniare apărute la interacțiunea moderat de intensă a radiației laserului cu un sistem de oglinzi vibrant*”, a fost elaborat și studiat teoretic un model de sistem opto-mecano-cuantic caracterizat, de această dată, de un factor de calitate a rezonatorului optic mai scăzut, ceea ce a permis studiul comportamentului sistemului nu numai în apropierea frecvențelor de rezonanță, dar într-un domeniu mult mai larg de frecvențe, ceea ce corespunde mai mult sistemelor reale, de exemplu senzori sau traductori. Sistemul studiat constă dintr-un punct cuantic cu două niveluri inițial excitat, dar cu frecvență de tranziție modulată. Punctul cuantic este încorporat într-un rezonator nanomecanic plasat într-o cavitate optică (între oglinzi) cu rate mari de amortizare. Interacțiunea cavitate-punct cuantic duc la o încetinire a fenomenului de emisie spontană, observabilă la rezolvarea dinamicii cuantice în limita cavității de calitate joasă. S-a demonstrat că semnalele modulatoare sinusoidale cu amplitudine care variază lent sau semnale

sinusoidale cu fluctuații asemănătoare zgomotului de frecvență mai mare, ambele duc la o creștere a timpului de viață a populației de puncte cuantice excitate și a fononilor vibraționali. S-a propus o metodă de reducere a proceselor de decoerență în sistemele optomecanice cu efecte puternice de defazare, precum și că prezența fononilor rezonatorului nanomecanic nu afectează dinamica cuantică a emisiei spontane a punctelor cuantice de tipul celor descrise. Rezultatele pot fi generalizate și pentru sisteme cu oglinzi vibrante sau sisteme moleculare.

S-a reușit delegarea a 3 persoane la IUCN din Dubna, Rusia, din contul părții primitive, pentru realizarea cercetărilor comune, efectuate în cadrul acordurilor de colaborare între IFA-IUCN. O parte din rezultatele obținute au stat la baza a 4 articole în reviste de specialitate cu factor de impact mare, precum și încă 1 articol în revistă de specialitate din străinătate.

### 1.4.3. Etapa III, anul 2022

Pentru realizarea obiectivelor etapei a III-a, intitulată „*Studiul proprietăților termodinamice cuantice ale emițătorilor hibridi, cu câteva niveluri, interacționând dipol-dipol, supuși acțiunii unui câmp electromagnetic extern cuantizat sau coerent/incoerent*”, a fost studiată teoretic eficiența cuantică a unui motor termic microscopic compus din  $N$  emițători cu trei niveluri de tip  $V$  sau  $\Lambda$ , interacționând individual sau colectiv în sensul Dicke, pus în contact cu un rezervor de căldură și un răcitor extern, asupra căruia acționează un câmp electromagnetic slab, coerent. Pentru toate combinațiile de configurație a motorului termic considerat a fost investigată eficiența și performanța sa și a fost elucidat rolul pe care colectivitatea dintre emițători îl joacă în această privință. A fost arătat că un motor termic cuantic microscopic format dintr-un sistem de emițători de tip  $\Lambda$  cu trei niveluri poate avea un avantaj față de unul similar format, respectiv, dintr-un ansamblu de emițători de tip  $V$  cu trei niveluri. Lucrul la ieșire al unui motor termic cuantic de tip  $\Lambda$  cu emițători interacționând cooperativ, adică performanța sa, este mai mare decât cea a unui motor termic similar format din atomi individuali sau care interacționează independent. De fapt, aceasta este mai mare decât cea a motorului termic format din unu sau mai mulți emițători, interacționând colectiv sau individual, de tip  $V$ , în condiții similare.

O parte din rezultatele obținute au fost trimise spre publicare în reviste recenzate de specialitate (cu factor de impact) și chiar și publicate. S-a reușit delegarea a 2 persoane la IUCN din Dubna, Rusia, din contul părții primitive, pentru realizarea cercetărilor comune, efectuate în cadrul acordurilor de colaborare între IFA-IUCN.

### 1.4.4. Etapa IV, anul 2023

Pentru realizarea obiectivelor etapei a IV-a, intitulată „*Creșterea eficienței bateriilor cuantice implicate în procesele ciclice termodinamice sau într-un sistem implicând interacțiunea mai multor qubiți*”, a fost investigată dinamica cuantică colectivă a unui ansamblu de emițători/impurități cu două niveluri pompați coerent din exterior, plasați în interiorul unui cristal. Emițătorii sunt apropiați unii de alții la o distanță comparabilă cu lungimile de undă ale fononilor emiși și, în consecință, fononii vibraționali termici ai rețelei mediază corelațiile interparticulare. S-a constatat că, câmpul de fononi generat la frecvențe Rabi generalizate, care caracterizează emițătorii cu două niveluri pompați coerent, este proporțional cu pătratul numărului de radiatori din sistem. În plus, s-a demonstrat că, grupuri de emițători individuali unici sau perechile de emițători contribuie simultan la câmpul generat. Au fost calculate intensitățile fononice

corespunzătoare atunci când, fie mai mulți emițători individuali, fie perechi de emițători cu două niveluri sunt implicați în generarea fononilor. Acest lucru este posibil deoarece aceste procese au loc la frecvențe diferite, și anume și . Prin intermediul ingineriei cristalului-gazdă, se poate face ca unul dintre procesele de emisie de fononi descrise mai sus să fie îmbunătățit, în timp ce celălalt să fie suprimat. De asemenea, pentru sistemele conținând un număr mai mare de emițători, perechile de emițători contribuie la tranzițiile fononice în principal la pompare rezonantă, în timp ce grupurile de emițători individuali contribuie, corespunzător, la pomparea coerentă externă fără rezonanță.

O parte din rezultatele obținute au fost trimise spre publicare în reviste recenzate de specialitate (cu factor de impact) și chiar și publicate. S-a reușit delegarea a 2 persoane la IUCN din Dubna, Rusia, din contul părții primitoare, pentru realizarea cercetărilor comune, efectuate în cadrul acordurilor de colaborare între IFA-IUCN.

În final, pe întreaga perioadă a proiectului s-au publicat 18 articole științifice cu factor de impact, indexate WoS, rezultatele cărora au fost prezentate la multiple seminare sau conferințe științifice din țară și peste hotarele ei. S-au susținut două teze de doctorat de către membrii echipei proiectului și alte două sunt în pregătire. Unii membri ai echipei sunt implicați în pregătirea cadrelor tinere prin programele de licență, masterat sau doctorat, sau a echipei olimpice la fizică or științe formate din elevii școlilor țării.

## **2 Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute**

O parte din rezultatele obținute au fost publicate / trimise spre publicare în reviste recenzate de specialitate (cu factor de impact) și chiar și publicate.

Rezultatele obținute în rezultatul executării proiectului sunt de interes atât pentru cercetătorii teoreticieni și experimentatorilor, cât și cercetătorilor și inginerilor proiectanți ai diverselor dispozitive performante destinate detectării semnalelor ultra-slabe sau maselor foarte mici, transmierii sau prelucrării informației la nivel cuantic, sau a oricăror altor dispozitive micro și nanodimensionale ce necesită controlul fluxurilor de energii și semnale la nivel cuantic.

În urma realizării proiectului au fost obținute realizări noi, relevante pentru viitoarele tehnologii cuantice bazate pe interfețe hibride, care implică interacțiuni ale punctelor și gropilor cuantice cu diferite tipuri de rezonatoare optice / oglinzi sau nanomecanice, precum și cu câmpuri electromagnetice clasice sau cuantificate. În special rezultatele obținute vor fi de interes specialiștilor preocupați de crearea unor senzori cuantici ultra-sensibili.



### 3 Diseminarea rezultatelor obținute în proiect formă de prezentări la foruri științifice în 2020-2023

#### Manifestări științifice internaționale (în străinătate) :

- **MACOVEI, M.A.** dr. hab.; A 30a ediție a Workshopului Științific Internațional „30th Annual International Laser Physics Workshop LPHYS'22”; Institute of Physics, UK și Astro Ltd. , Canada, 18-22 iulie 2022; M. A. Macovei and A. Palffy „Dispersive Quantum Dynamics in Cavity Optomechanical Systems” (Raport oral la invitația organizatorilor)
- **MACOVEI, M.A.** dr. hab.; *World Quantum Days-2023 in IFIN-HH*, Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering București, România. Online workshop, April 25-27, 2023; MACOVEI, M.A. “Performance of a cooperative three-level quantum heat engine”, prezentat la (<https://indico.nipne.ro/event/247/>) (Raport de sesiune)
- **PALII, Yu.**, dr.; *10th International Conference `Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education` (GRID`2023)*, Joint Institute for Nuclear Research, July 3 - 7, 2023, Dubna, Russia; PALII, Yu., BOGOLUBSKAYA, A.; YANOVICH, D. „Quantum approximation optimization algorithm for the Ising model in an external magnetic field” ([https://indico.jinr.ru/event/3505/contributions/21552/attachments/16335/27894/Palii\\_GRID-23.pdf](https://indico.jinr.ru/event/3505/contributions/21552/attachments/16335/27894/Palii_GRID-23.pdf)) (Raport de sesiune)

#### Manifestări științifice cu participare internațională:

- **MACOVEI, M.A.** dr. hab.; *Research Seminar of the Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering*, July 20, 2023, București, România; MACOVEI, M.A. “Quantum Dynamics in Hybrid Quantum Systems” (Raport la invitația organizatorilor)
- **MACOVEI, M.A.** dr. hab.; *X-ray Quantum Optics Group Seminar*, University of Wurzburg, Germany; MACOVEI, M.A. “Sub-Poissonian Quantum Statistics in Collective Nuclear Systems” November 23, 2023. (Raport la invitația organizatorilor)
- **CEBAN, V.** dr.; *Research seminar of the DTP, Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering*, November 9, 2023, Bucuresti, Romania; CEBAN, V. ”Controlled dynamics in optomechanical systems”. (Raport la invitația organizatorilor)

## 4 Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în limba română

### Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în perioada 2020-2023 Tehnologii cuantice hibride avansate

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.07

A fost studiată dinamica cuantică multifotonică a unui câmp de cavitate cuantificat monomodal evanescent cuplat cu un sistem cu două niveluri cu dipoli permanenți pompați rezonant. Frecvențele subsistemelor în interacțiune luate în considerare au fost alese puternic diferite, de exemplu, domeniul microundelor pentru cavitate și, respectiv, domeniul optic pentru frecvența emițătorului cu două niveluri. În acest fel, emițătorul se cuplează la modul rezonator doar prin intermediul momentelor sale dipolare diagonale. În consecință, s-a demonstrat că acest regim de interacțiune puternic dispersiv este responsabil pentru dinamica cuantică multifotonică a cavității și, respectiv, pentru conversia fonică din domeniul optic în cel al microundelor.

De asemenea, a fost investigată dinamica fononică a unei singure molecule încorporate într-un rezonator mecanic format dintr-un cristal organic. Am constatat că controlul optic al populației moleculare afectează dinamica fononică. Fononi cu durată lungă de viață sunt obținuți atunci când se încetinește dinamica de dezexcitare a moleculei prin modularea frecvenței de tranziție. Rezultatele discutate sunt valabile, de asemenea, și pentru sisteme optomecanice bazate pe alte tipuri de emițători cu două niveluri și rezonatori mecanici decât cei considerați.

În cadrul acestui proiect de cercetare a fost studiată și performanța unui motor termic cuantic microscopic format din emițători de tip *Vee* sau *Lambda* care interacționează colectiv sau independent atunci când sunt puși în contact cu rezervoare termice din mediul înconjurător. Deși randamentul unui ciclu Carnot este întotdeauna mai mare decât cel asociat acestor configurații, am demonstrat că performanța motorului termic cu emițători cooperativi de tip *Lambda* poate fi mai mare decât cea a unui motor similar cu emițători de tip *Vee* în condiții similare. Acest lucru se datorează faptului că inversiunea de populație pe tranziția atomică de lucru, precum și elementele sale ne-diagonale se comportă diferit pentru aceste două ansambluri atomice.

În cele din urmă, a fost studiată dinamica cuantică colectivă a unui ansamblu de emițători cu două niveluri, încorporați într-un cristal și pompați coerent de un câmp electromagnetic coerent de intensitate moderată și aplicat din exterior, în vederea utilizării lor ca baterii cuantice. Ansamblul este amortizat în mod preponderent prin intermediul rezervorului de fononi din jur, care mediază interacțiunile colective interparticulare. Am demonstrat că, în general, tranzițiile fononice între stările îmbrăcate corespunzătoare au loc cu implicarea simultană a mai mulți emițători unici sau perechi de emițători cu două niveluri, respectiv, ceea ce poate folosit pentru a încărca bateria. În ambele cazuri, intensitatea fononică poate fi proporțională cu pătratul numărului emițătorilor pe cele două niveluri implicate.

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / Mihai Macovei

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

## 5 Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în limba engleză

### Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în perioada 2020-2023 Tehnologii cuantice hibride avansate

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.07

The multiphoton quantum dynamics of a leaking single-mode quantized cavity field coupled with a resonantly driven two-level system possessing permanent dipoles was studied. The frequencies of the interacting subsystems being considered were taken very different, e.g., the microwave range for the cavity and the optical domain for the frequency of the two-level emitter, respectively. In this way, the emitter couples to the resonator mode only via its diagonal dipole moments. As a consequence, it was demonstrated that this highly dispersive interaction regime is responsible for the cavity multiphoton quantum dynamics and photon conversion from the optical to microwave range, respectively.

The phonon dynamics of a single molecule embedded in a mechanical resonator made of an organic crystal was investigated as well. We have found that the optical control of the molecular population affects the phonon dynamics. Long-lived phonons are obtained when slowing down the decay dynamics of the molecule via modulation of the transition frequency. The discussed results are also valid for optomechanical setups based on other types of two-level emitters and mechanical resonators.

Also, the performance of a microscopic quantum heat engine consisting of *Vee*- or *Lambda*-type emitters interacting collectively or independently when being in contact with environmental thermal reservoirs was studied in this research project as well. Though the efficiency of a Carnot's cycle is always higher than those associated with these setups, we have demonstrated that the performance of the cooperative *Lambda* - type heat engine may be larger than that of the *Vee*- type under similar conditions. This is because the population inversion on the working atomic transition as well as its off-diagonal elements behave differently for these two atomic ensembles.

Finally, the collective quantum dynamics of an ensemble of two-level emitters, embedded in a crystal, and coherently pumped by a moderately intense, and externally applied coherent electromagnetic field, towards their use as quantum batteries was studied. The ensemble is damped preponderantly *via* the surrounding phonon reservoir which mediates the inter-particle collective interactions. We have demonstrated that generally phonon transitions among the corresponding dressed states are taking place involving simultaneously many single emitters or pairs of two-level emitters, respectively, which can be used to charge the battery. In both cases the phonon intensity can be proportional to the squared number of involved two-level emitters.

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / Mihai Macovei

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

## 6 Lista publicațiilor științifice pentru perioada 2020-2023

Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice  
publicate în anii 2020-2023 în cadrul proiectului din Programul de Stat

### Tehnologii cuantice hibride avansate

#### 1. Articole în reviste științifice

1.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS:

- 1.1.1. **MACOVEI, M.**; EVERS, J.; KEITEL, Ch.H. Spontaneous decay processes in a classical strong low-frequency laser field. *Phys Rev A*. 2020, **102**(1), 013718-1—013718-7. Doi: [10.1103/PhysRevA.102.013718](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.102.013718) (IF: 2,907).
- 1.1.2. **CECOI, E.**; **CIORNEA, V.**; ISAR, A.; **MACOVEI, M.** Entanglement versus cooling in the system of a driven pair of two-level qubits longitudinally coupled with a boson mode field. *J Phys B-At Mol Opt*. 2020, **53**(6), 065501-1—065501-8. Doi: [10.1088/1361-6455/ab5d8e](https://doi.org/10.1088/1361-6455/ab5d8e) (IF: 2,115).
- 1.1.3. **MÎRZAC, A.**; MIHAESCU, T.; **MACOVEI, M.**; ISAR, A. Interferometric power of gaussian systems in a squeezed thermal bath. *Rom J Phys*. 2020, **65**, 102 [https://rjp.nipne.ro/2020\\_65\\_1-2/RomJPhys.65.102.pdf](https://rjp.nipne.ro/2020_65_1-2/RomJPhys.65.102.pdf) (IF: 1,460).
- 1.1.4. TITARENKO, Yu.E.; ... **BAZNAT, M.I.** et al. 208,207,206,natPb(p,x)207Bi and 209Bi (p,x)207Bi excitation functions in the energy range of 0.04 - 2.6 GeV. *Nucl Instrum Meth A*. 2020, **984**, 164635-1—164635-8. Doi: [10.1016/j.nima.2020.164635](https://doi.org/10.1016/j.nima.2020.164635) (IF: 1,433).
- 1.1.5. KHUSHVAKTOV, J.H.; ... **BAZNAT, M.** et al. Study of the residual nuclei generation in a massive lead target irradiated with 660 MeV protons. *Nucl Instrum Meth A*. 2020, **959**, 163542—163542. Doi: [10.1016/j.nima.2020.163542](https://doi.org/10.1016/j.nima.2020.163542) (IF: 1,433).
- 1.1.6. **KHVOROSRTUKHIN, A.S.** Calculation of the one-loop box integral at finite temperature and density. *Acta Phys Pol B*. 2021, **52**(11), 1303—1337. Doi: [10.5506/APhysPolB.52.1303](https://doi.org/10.5506/APhysPolB.52.1303) (IF: 0,748).
- 1.1.7. **MÎRZAC, A.**, **CÂRLIG, S.**, **MACOVEI, M.A.** Microwave multiphoton conversion via coherently driven permanent dipole systems. *Phys. Rev. A*. 2021, **103**(4), 043719. Doi: [10.1103/PhysRevA.103.043719](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.103.043719) (IF: 3,140).
- 1.1.8. MIHAESCU, T., **CECOI, E.**, **MACOVEI, M.A.** and ISAR, A. Geometric discord for a driven two-qubit system. *Rom. Rep. Phys*. 2021, **73**(1), 101-1—101-16. IBN: 126872. <http://www.rrp.infim.ro/2021/AN73101.pdf> (IF: 1,785).
- 1.1.9. **KHVOROSRTUKHIN, A.S.**, KOLOMEITSEV, E.E. and TONEEV, D.D. Hybrid model with viscous relativistic hydrodynamics: a role of constraints on the shear-stress tensor. *Eur. Phys. J. A*. 2021, **57**(10), 294. Doi: [10.1140/epja/s10050-021-00599-1](https://doi.org/10.1140/epja/s10050-021-00599-1) (IF: 3,043).
- 1.1.10. ABRAMOV, B.M., **BAZNAT, M.**, BORODIN et al. Cumulative  $\pi$ -Mesons in  $^{12}\text{C}+^9\text{Be}$ -Interactions at 3.2 GeV/Nucleon. *Phys. Part. Nuclei*. 2021, **84**(4), 467—474. Doi: [10.1134/S1063778821040037](https://doi.org/10.1134/S1063778821040037) (IF: 0,420).

- 1.1.11. **BAZNAT, M.**; BALDIN, A.; BALDINA, E.; PARAIPAN, M.; PRONSKIKH, V.; ZHIVKOV, P. Cascade models in simulation of extended heavy targets irradiated by accelerated proton and deuteron beams. *Phys Part Nuclei*. 2022, **53(5)**, 1000—1020. Doi: [10.1134/S1063779622050021](https://doi.org/10.1134/S1063779622050021) (IF: 0,786).
- 1.1.12. ABGARYAN, V.; **BAZNAT, M.**; **KHOVOSTUKHIN, A.**; *et al.*(MDP collaboration). Status and initial physics performance studies of the MPD experiment at NICA. *Eur Phys J A*. 2022, **58(8)**, 140. Doi: [10.1140/epja/s10050-022-00750-6](https://doi.org/10.1140/epja/s10050-022-00750-6) (IF: 3,131).
- 1.1.13. **MACOVEI, M.A.** Performance of the collective three-level quantum thermal engine. *Phys Rev A*. 2022, **105(4)**, 043708. Doi: [10.1103/PhysRevA.105.043708](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.105.043708) (IF: 3,140).
- 1.1.14. **MACOVEI, M.A.**; PALFFY, A. Multiphonon quantum dynamics in cavity optomechanical systems. *Phys Rev A*. 2022, **105(3)**, 033503. Doi: [10.1103/PhysRevA.105.033503](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.105.033503) (IF: 3,140).
- 1.1.15. TITARENKO, Yu.E.; .... **BAZNAT, M.I.**; *et al.* <sup>206,207,208,nat</sup>Pb(p,x)<sup>194</sup>Hg and <sup>209</sup>Bi(p,x)<sup>194</sup>Hg excitation functions in the energy range 0.04–2.6 GeV. *Nucl Instrum Meth A*. 2022, **1026**, 166151. Doi: [10.1016/j.nima.2021.166151](https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.166151) (IF: 1,455).
- 1.1.16. **CEBAN, V.**; **MACOVEI, M.A.** Enhanced phonon lifetimes with optically controlled single molecules. *J. Opt. Soc. Am. B* 2024, **41(1)**, 216-221. Doi: [10.1364/JOSAB.506974](https://doi.org/10.1364/JOSAB.506974) (IF: 1,9).
- 1.1.17. **CEBAN, V.**; **MACOVEI, M.A.**; ISAR, A. Phonon Mediated Collective Dynamics of Coherently Pumped Two-Level Emitters. *Rom J Phys*. 2023, **68(9-10)**, 114-1—114-10. Doi: [10.59277/RomJPhys.2023.68.114](https://doi.org/10.59277/RomJPhys.2023.68.114) (IF: 1,5).
- 1.1.18. **BAZNAT, M.**; TERYAEV, O.V.; ZINCHENKO, A.V. Polarization of  $\Lambda$  Hyperons in Gold Nucleus Collisions at NICA Energies. *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2023, **20(3)**, 407—411. Doi: [10.1134/S154747712303010X](https://doi.org/10.1134/S154747712303010X) (IF: 0,5).
- 1.2. în reviste din străinătate recunoscute
- 1.2.1. **PALII, Y.** Parametrization of the conjugacy class of the special linear group. *J Math Sci*. 2020, **251(3)**, 405—418. Doi: [10.1007/s10958-020-05100-9](https://doi.org/10.1007/s10958-020-05100-9).
- 1.2.2. **BAZNAT, M.**; BOTVINA, A.; MUSULMANBEKOV, G.; TONEEV, V.; ZHEZHER, V. Monte-Carlo Generator of Heavy Ion Collisions DCM-SMM. *Phys Part Nuclei Lett*. 2020, **17(3)**, 303—324. Doi: [10.1134/S1547477120030024](https://doi.org/10.1134/S1547477120030024).
- 1.2.3. NAZAROVA, E., AKHAT, R., **BAZNAT, M.**, TERYAEV, O. and Zinchenko, A. Monte Carlo Study of  $\Lambda$  Polarization at MPD. *Phys. Part. Nuclei Lett*. 2021, **18(4)**, 429—438. Doi: [10.1134/S1547477121040142](https://doi.org/10.1134/S1547477121040142).
- 1.3. în reviste din Registrul National al revistelor de profil
- 1.3.1. **ЧЕБОТАРЬ, И.Д.** Системы сильно коррелированных электронов, взаимодействующих между собой и с фононами. Диаграммный подход. *Электронная обработка материалов*. 2023, **59(5)**, 72—89. Doi: [10.52577/eom.2023.59.5.72](https://doi.org/10.52577/eom.2023.59.5.72) (categoria C).

## 2. Articole în culegeri științifice

### 2.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare):

- 2.1.1. **CEBAN, V.**; **MACOVEI, M.A.** Quantum Interferences with Equidistant Three-Level Quantum Wells. În: *IFMBE Proceedings, vol. 77, Springer, 2020*, p. 155—159. Doi: [10.1007/978-3-030-31866-6\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31866-6_32).

- 2.1.2. **MIRZAC, A.; MACOVEI, M.A.** Steady-State Behaviors of a Quantum Oscillator Coupled with a Three-Level Emitter. În: *IFMBE Proceedings*, vol. 77, Springer, 2020, p. 677—680. Doi: [10.1007/978-3-030-31866-6\\_119](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31866-6_119).

### 3. Articole în materiale ale conferințelor științifice

#### 3.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova):

- 3.1.1. **CARLIG, S.; MIRZAC, A.; BARDETSKI, P.; MACOVEI, M.A.** Quantum Photon Conversion via Coherently Driven Permanent Dipole Systems. În: *ICNBME 2021, IFMBE Proceedings 87, 2022*. 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3–5, 2021, Chisinau, Moldova, p. 11—16. Doi: [10.1007/978-3-030-92328-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_2).
- 3.1.2. **CEBAN, V.; MACOVEI, M.A.** Population Dynamics in a Modulated Optomechanical Setup. În: *ICNBME 2021, IFMBE Proceedings 87, 2022*. 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3–5, 2021, Chisinau, Moldova, p. 298—305. Doi: [10.1007/978-3-030-92328-0\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_40)

### 4. Teze ale conferințelor științifice

#### 4.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova):

- 4.1.1. **CARLIG, S., MIRZAC, A., BARDETSKI, P., MACOVEI, M.A.** Quantum photon conversion via coherently driven permanent dipole systems. In: Abstract Book of 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3-5.2021, pp. 61, Chisinau, Republic of Moldova.
- 4.1.2. **CEBAN, V., MACOVEI, M.A.** Population Dynamics in a Modulated Optomechanical Setup. In: Abstract Book of 5th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, November 3-5.2021, pp. 84, Chisinau, Republic of Moldova.

## **7 Teze de doctorat și confirmate pe parcursul anilor 2020 – 2023 de membrii echipei proiectului**

### **Teze de doctor susținute:**

1. Victor Ceban, „Quantum behaviors of optical and optomechanical systems possessing artificial atoms”, teză de doctor în științe, specialitatea: 131.01 Fizica matematică, conducător științific – dr. hab., conf. cerc. Mihai Macovei, data susținerii - 18 septembrie 2020.
2. Alexandra Mîrzac, „Studiul dinamicii cuantice în sistemele moleculare dipolare”, teză de doctor în științe, specialitatea: 131.01 Fizica matematică, conducător științific – dr. hab., conf. cerc. Mihai Macovei, data susținerii 17 iunie 2022.

### **Teze de doctor actual la etapa de susținere:**

1. Irina Cebotari, „Analiza diagramatică a sistemelor cu electroni puternic corelați ce interacționează între ei și cu fononi optici”, teză de doctor în științe, conducător științific – acad. V. Moscalenco, consultant – dr. conf L. Dohotaru, susținută în SȘP, susținerea în CȘS planificată pentru începutul anului 2024.
2. Elena Cecoi, „Efecte cooperative în solide”, teză de doctor în științe, conducător științific – dr. hab. Mihai Macovei, prezentare/ susținerea în SȘP planificată pentru începutul anului 2024.

## 8 Concluzii

Toate activitățile efectuate de executorii proiectului pe parcursul anilor 2020-2023 corespund activităților planificate, iar rezultatele obținute corespund în totalitate obiectivelor proiectului și rezultatelor prognozate. Activități sau obiective neexecutate sau neîndeplinite de executori nu sunt. Calitatea rezultatelor obținute este confirmată de cantitatea și calitatea publicațiilor științifice, inclusiv în reviste recenzate de specialitate cu factor de impact înalt, precum și prin numărul de teze de doctor în științe susținute, sau în curs de susținere, bazate pe rezultatele obținute la executarea proiectului de cercetare dat.

Toate cheltuielile efectuate pe parcursul anilor 2020-2023 corespund celor planificate.

Îndeplinirea planurilor de activitate și rezultatele obținute bune permit să afirmăm că proiectul „Tehnologii cuantice hibride avansate” a fost îndeplinit în totalitate și finisat cu succes.

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / Mihai Macovei

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



## 9 Volumul total al finanțării proiectului pentru perioada 2020-2023

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.07

Anul	Finanțarea planificată (mii lei)	Finanțarea Executată (mii lei)	Cofinanțare (mii lei)
2020	1148,0		-
2021	1193,3		-
2022	1300,2		-
2023	1514,3		-
<b>Total</b>	<b>5155,8</b>		-

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / Mihai Macovei

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

## 10 Componenta echipei pe parcursul anilor 2020-2023

Cifrul proiectului: 20.80009.5007.07

### 10.1 Anul 2020

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.	Gherman Corneliu	1973	dr.	1	01.01.2020	-
2.	Macovei Mihai	1972	dr. hab.	0,5	01.01.2020	-
3.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	1	01.01.2020	-
4.	Baznat Mircea	1947	dr.	1	01.01.2020	-
5.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	1	01.01.2020	-
6.	Ciornea Viorel	1977	dr.	0,25	01.01.2020	-
7.	Ceban Victor	1987	dr.	1	01.01.2020	-
8.	Popov Serghei	1966	dr.	0,5	01.01.2020	-
9.	Hvorostuhin Andrei	1978	dr.	1	01.01.2020	-
10.	Palii Iurie	1963	dr.	0,75	01.01.2020	-
11.	Mîrzac Alexandra	1990		1	01.01.2020	-
12.	Cecoi Elena	1988		0,5	01.01.2020	-
13.	Chiriac Tatiana	1987		0,5	01.01.2020	-

Pondere tinerilor (%) din numărul total al executorilor <b>conform contractului de finanțare</b>	30,7
--	------

Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2020					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării
1.	-	-	-	-	-

Pondere tinerilor (%) din numărul total al executorilor <b>la data raportării</b>	30,7
---	------

## 10.2 Anul 2021

<b>Echipele proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului)</b>						
Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării	Data eliberării
1.	Gherman Corneliu	1973	dr.	1	04.01.2021	-
2.	Macovei Mihai	1972	dr. hab.	0,5	04.01.2021	-
3.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	1	04.01.2021	-
4.	Baznat Mircea	1947	dr.	1	04.01.2021	-
5.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	1	04.01.2021	-
6.	Ciornea Viorel	1977	dr.	0,5	04.01.2021	-
7.	Ceban Victor	1987	dr.	1	04.01.2021	-
8.	Popov Serghei	1966	dr.	0,5	04.01.2021	31.08.2021
9.	Hvorostuhin Andrei	1978	dr.	0,5	04.01.2021	-
10.	Palii Iurie	1963	dr.	0,5	04.01.2021	-
11.	Mîrzac Alexandra	1990		1	04.01.2021	-
12.	Cecoi Elena	1988		0,5	04.01.2021	-
13.	Chiriac Tatiana	1987		0,5	04.01.2021	-

<b>Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor conform contractului de finanțare</b>	31,6
---	------

<b>Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2021</b>					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării
1.	Baznat Mircea	1947	dr.	-1.0	
2.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	0.5	04.01.2021
3.	Ciornea Viorel	1977	dr.	0.5	04.01.2021
4.	Baznat Mircea	1947	dr.	1.0	28.02.2021
5.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	-0.5	
6.	Ciornea Viorel	1977	dr.	-0.5	
7.	Hvorostuhin Andrei	1978	dr.	-0.5	
8.	Ceban Victor	1987	dr.	0.5	04.01.2021
9.	Palii Iurie	1963	dr.	-0,5	
10.	Mîrzac Alexandra	1990	dr.	0.5	04.01.2021
11.	Mîrzac Alexandra	1990	dr.	-1.0	
12.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	1.0	01.05.2021
13.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	0.5	01.05.2021
14.	Palii Iurii	1963	dr.	-0.5	
15.	Ciornea Viorel	1977	dr.	0.5	01.05.2021
16.	Baznat Mircea	1947	dr.	-1.0	
17.	Podlesnii Igor	1982	dr.	1.0	01.09.2021

18.	Popov Serghei	1966	dr.	-0,5	
19.	Podlesnii Igor	1982	dr.	0.5	01.09.2021
20.	Mirzac Alexandra	1990	dr.	-1.0	
21.	Cărlig Sergiu	1978	dr.	0.5	01.10.2021
22.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	0.5	01.10.2021

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor <b>la data raportării</b>	31,6
--	------

### 10.3 Anul 2022

<b>Echipa proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului)</b>						
<b>Nr</b>	<b>Nume, prenume (conform contractului de finanțare)</b>	<b>Anul nașterii</b>	<b>Titlul științific</b>	<b>Norma de muncă conform contractului</b>	<b>Data angajării</b>	<b>Data eliberării</b>
14.	Gherman Corneliu	1973	dr.	1	04.01.2022	-
15.	Macovei Mihai	1972	dr. hab.	0,5	04.01.2022	-
16.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	1	04.01.2022	-
17.	Cărlig Sergiu	1978	dr.	1	04.01.2022	-
18.	Podlesnii Igor	1982	dr.	1	04.01.2022	
19.	Baznat Mircea	1947	dr.	1	04.01.2022	-
20.	Ceban Victor	1987	dr.	1	04.01.2022	
21.	Ciornea Viorel	1977	dr.	0,5	04.01.2022	29.04.2022
22.	Cebotari Irina	1986		1	04.01.2022	
23.	Cecoi Elena	1988		0,5	04.01.2022	
24.	Chiriac Tatiana	1987		0,5	04.01.2022	

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor <b>conform contractului de finanțare</b>	22,2
---	------

<b>Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2022</b>					
<b>Nr</b>	<b>Nume, prenume</b>	<b>Anul nașterii</b>	<b>Titlul științific</b>	<b>Norma de muncă conform contractului</b>	<b>Data angajării</b>
1.	Ciornea Viorel	1977	dr.	-0,5	
2.	Ceban Victor	1987	dr.	0,5	01.06.2022
3.	Chiriac Tatiana	1987		-0,5	
4.	Cărlig Sergiu	1978	dr.	0,5	04.01.2022

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor <b>la data raportării</b>	22,2
--	------

## 10.4 Anul 2023

<b>Echipa proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului)</b>						
Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării	Data eliberării
1.	Macovei Mihai	1972	dr. hab.	0,50	04.01.2023	-
2.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	1,00	04.01.2023	-
3.	Baznat Mircea	1947	dr.	1,00	04.01.2023	-
4.	Cârlig Sergiu	1978	dr.	1,00	04.01.2023	-
5.	Gherman Corneliu	1973	dr.	1,00	04.01.2023	-
6.	Podlesnii Igor	1982	dr.	1,00	04.01.2023	-
7.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	0,25	04.01.2023	-
8.	Ceban Victor	1987	dr.	1,00	04.01.2023	-
9.	Cebotari Irina	1986	dr.	1,00	04.01.2023	-
10.	Ceban Victor	1987	dr.	0,25	04.01.2023	-
11.	Cecoi Elena	1988		0,50	04.01.2023	-
12.	Chiriac Tatiana	1987		0,50	-	-

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor <b>conform contractului de finanțare</b>	36,1
---	------

<b>Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2023</b>					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă conform contractului	Data angajării
1.	Chiriac Tatiana	1987		-0,5	
2.	Ceban Victor	1987	dr.	0,25	04.01.2023
3.	Ceban Victor	1987	dr.	-0,25	
4.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	0,25	04.01.2023
5.	Bardețchi Profirie	1944	dr.	-0,25	
6.	Macovei Mihai	1972	dr. hab.	-0,5	
7.	Macovei Mihai	1972	dr. hab.	1,0	02.03.2023

Ponderea tinerilor (%) din numărul total al executorilor <b>la data raportării</b>	30,6
--	------

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / Mihai Macovei

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

## 11 Raportarea indicatorilor

### Formular privind raportarea indicatorilor în cadrul proiectului Programe de Stat pentru perioada 2020 – 2023, cifra 20.80009.5007.07

<i>Indicator 1</i>	<i>Rezultat</i>				<i>Indicator 2</i>	<i>Rezultat</i>				<i>Indicator 3</i>	<i>Rezultat</i>			
	2020	2021	2022	2023		2020	2021	2022	2023		2020	2021	2022	2023
Articole în reviste internaționale cu FI (Web of Science)	5	5	5	3	Rapoarte la conferințe și evenimente științifice internaționale	2	4	1	5	Teze de doctor susținute	1		1	(2 la etapa de susținere)
<b>Total</b>	<b>18</b>					<b>12</b>					<b>2 (+ 2)</b>			

Conducătorul de proiect \_\_\_\_\_ / Mihai Macovei

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