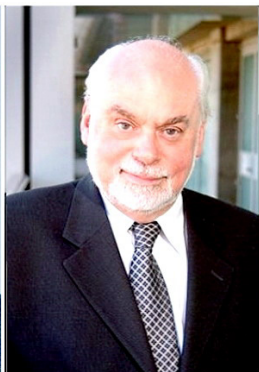


# Avantajele excepționale ale Transmisiilor Precesionale

în contextul dezvoltării „transmisiilor moleculare”, desemnate cu Premiul Nobel-2016



Jean-Pierre SAUVAGE



J. Fraser STODDART



Bernard L. FERINGA

Academician Ion BOSTAN,  
Universitatea Tehnică a Moldovei

Academia Regală Suedeză de Știință, la 5 octombrie 2016, a acordat, iar la 10 decembrie 2016, la Stockholm, a înmănat Premiul Nobel cercetătorilor Jean-Pierre SAUVAGE din Franța (Universitatea Strasbourg), J. Fraser STODDART din SUA (Universitatea Northwestern) și Bernard L. FERINGA din Olanda (Universitatea Gronin-

gen) pentru lucrarea „Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare”. Evenimentul a pus temelia unei noi epoci în mașinologie datorate cercetărilor la joncțiunea domeniilor chimiei moleculare și mecanicii fine. Cercetările științifice privind dezvoltarea transmisiilor mecanice, motoarelor, dispozitivelor, roboților și mașinilor cu dimensiuni moleculare vor constitui un nou domeniu de cercetare-inovare.

Înalta Comisie Nobel a constatat că la ora actuală transmisiile mecanice, motoarele și mașinile moleculare funcționale în mare parte rămân a fi jucării ale imaginației umane, acestea încă nu au putut avea aplicații reale, deoarece ele se construiesc foarte greu, dar și mai dificil este să le forțezi să lucreze. În urma acestei constatări a Comisiei, apare o întrebare retorică: pentru ce dar a fost acordat Premiul Nobel?!

*Urmare în pag. 2*

# Avantajele excepționale ale Transmisiilor Precesionale

## în contextul dezvoltării „transmisiilor moleculare”, desemnate cu Premiul Nobel-2016

Academician Ion BOSTAN,  
Universitatea Tehnică a Moldovei

### Urmare din pag. 1

Laureații Premiului Nobel au întreprins *trei pași fundamentali* pentru a face posibilă proiectarea și sinteza mașinilor la scară moleculară. În 1983, J.-P. SAUVAGE a propus unirea a două molecule înelare într-un lanț, atribuindu-le legătura mecanică mai liberă decât în legăturile covalente obișnuite. În 1991, F. STODDART a propus crearea unui cuplu cinematic compus dintr-un ax molecular, pe care se rotește sau se deplasează axial un inel molecular. În 1999, B. FERİNGA a propus crearea unui motor molecular compus dintr-un rotor molecular cu mișcare de rotație continuă în aceeași direcție.

Prin aceste invenții laureații au reușit să revoluționeze structura și funcționalitatea mașinilor, să extindă gama dimensională de la macromașini cu diametrul rulmenților ajuns la 8 metri până la nanomașini de un milion de ori mai mici de un milimetru sau de o mie de ori mai mici decât diametrul unui fir de păr – un debut strălucit al unei noi epoci în domeniul mașinologiei la scară moleculară.

Aidoma exploziei tehnologiilor laser, cu certitudine va urma o explozie a tehnologiilor moleculare bazate pe proiectarea și sinteza mașinilor moleculare. Procesul a început deja. După pasul trei propus de B. FERİNGA în 1999, un motor molecular a fost dezvoltat de Christian JOACHIM, profesor invitat la Institute of Materials Research and Engineering din Singapore, care, în 2009, primul în lume și-a dat seama cum să comunice mișcare de rotație controlabilă unei roți dintr-o transmisie mecanică moleculară cu diametrul de 1,2 nm.

Aplicațiile mașinilor moleculare vor revoluționa medicina prin: transportul cu vehicule moleculare a medicamentelor către celulele canceroase; intervenții chirurgicale cu aplicarea roboților moleculari; pătrunderea roboților și a dispozitivelor moleculare în interiorul celulelor umane pentru a le „repara” fără să le afecteze; elaborarea unor noi metode de administrare a medicamentelor etc. În baza transmisiilor, motoarelor și dispozitivelor moleculare se vor dezvolta noi concepte de calculatoare și tehnologii de comunicare, iar în baza mașinilor moleculare dirijate de calculatoare moleculare „Chimia stocastică” actuală va putea fi substituită cu „Chimia algoritmică”.

**Perspectivile de dezvoltare a mașinilor moleculare sunt imense, domeniile de aplicații sunt incredibile, iar rezultatele la care ne așteptăm sunt fantastice** – în acești termeni Comitetul Nobel a apreciat lucrarea „Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare”.

### EVOLUȚIA, SIMILITUDINILE ȘI CONSECINȚELE A DOUĂ INOVAȚII APRECIATE CU PREMIUL NOBEL

Laserul, urmat de mașinile moleculare, sunt cele mai reprezentative inovații pentru mașinologie, desemnate cu Premiul Nobel care, vor continua să revoluționeze progresul tehnico-științific în majoritatea domeniilor de activitate umană. Aceste două mari invenții au parcurs același traseu evolutiv de la imaginația fantastică la aplicații reale. În cazul laserului, perioada de transpunere a imaginației în realitate a demarat cu „Hiperboloidul...” publicat în 1927, având în spate principiile de funcționare enunțate în 1916 de Albert EINSTEIN și legea radiației a lui Max PLANCK și a finalizat cu decernarea Premiului Nobel pentru dispozitivul laser în 1964.

În cazul mașinilor moleculare, primele lucrări științifice au apărut la începutul anilor '80, acestea fiind catalogate de către mașinologii timpului drept „imaginații fantasmagorice”, iar 1983 poate fi considerat anul de start al cercetărilor de transpunere a fantastului în realitate. Laserul și mașinile moleculare au avut nevoie de 34-37 de ani pentru a se dezvolta până la invenții demne de Premiul Nobel. Astăzi, peste 52 de ani de la decernarea Premiului Nobel, constatăm că tehnologiile laser au avut un impact revoluționar asupra progresului tehnico-științific la scară mondială. În următorii 40-50 de ani ne putem aștepta la tehnologii revoluționare și în domeniul mașinilor moleculare produse pe picior industrial.

Domeniul dezvoltării transmisiilor moleculare au fost consacrate o serie de lucrări, la unele dintre care s-au referit și autorii monografiei „Antologia invențiilor: acad. Ion BOSTAN ș.a.: Transmisiile Planetare Precesionale Cinematice; Mini- și nanotransmisiile moleculare precesionale”, vol. 4, 2011, Chișinău. În cele ce urmează mă voi referi la transmisiile precesionale moleculare (TPM) și la motoarele precesionale moleculare (MPM) elaborate în cadrul UTM și expuse în monografia menționată.

Ce transmisiile pot fi create cu dimensiuni nano? Ce principii noi vor fi elaborate pentru crearea lor? Italianul Vincenzo BALZANI a venit cu o idee provocatoare – de a se ajunge de la transmisiile lui Leonardo da Vinci fabricate în lemn la cele moleculare. Ideea a fost continuată de americanul Eric DREXLER, care începând cu anul 1995 a construit prin modelări computerizate două transmisiile cu roți cilindrice în una și în două trepte, după care a urmat o transmisie planetară cu nouă sateliți și un diferențial. În anul 2010 a venit rândul prototipării la nivel molecular și a TP.

**NanoTPM și MPM 2K-H elaborate la UTM.** Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare, a transmisiilor, motoarelor și dispozitivelor moleculare constă în modelarea (construirea) computerizată a pieselor acestora după principiul aditiv, aranjând conglomeratii de atomi/molecule într-un anumit mod și consecutivitate. În 2010 am elaborat conceptul primei TPM, iar în 2011 – a primului MPM cu un nou principiu de funcționare bazat pe conversia energiei externe (de alimentare) în energie mecanică, care asigură funcționarea motorului. Modelarea

computerizată a TPM a fost realizată cu suportul dr. A. SOCHIREANU, iar a MPM – cu suportul dr. M. VACULENCO.

**Transmisia precesională moleculară (TPM) 2K-H** (publicată în 2011, Antologia invențiilor, vol. 4, pag. 73-74), prezentată în figura 1, conține un satelit 1, cu două coroane 2 și 3 compuse din atomi, câmpurile periferice de interacțiune ale cărora formează suprafețe înfășurătoare cu profil în arc de cerc, similar din punct de vedere geometric cu cele ale coroanelor satelitului din transmisia precesională obișnuită.

Danturile roților centrale 4 și 5 sunt constituite din atomi amplasați în spațiu astfel încât înfășurătoarea câmpurilor de interacțiune atomică să formeze suprafețe imaginare convex-concave congruente cu profilul dinților din transmisia precesională obișnuită.

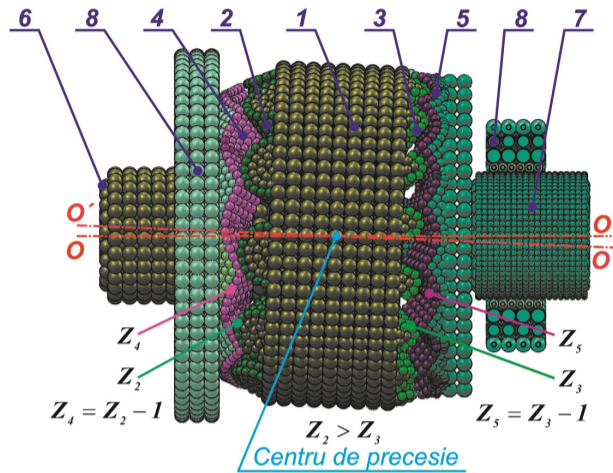


Fig. 1. Nanotransmisia precesională moleculară 2K-H

Principiul de funcționare a nanotransmisiei este similar cu cel al macro-TP. La rotirea arborelui de intrare 6, satelitul 1 va efectua mișcare sfero-spațială în jurul centrului de precesie, amplasat echidistant între coroanele roților centrale 4 și 5. În funcție de numărul de dinți a roților centrale  $Z_4$  și  $Z_5$ , a coroanelor satelitului  $Z_2$  și  $Z_3$  și de coraportul acestora, reducerea mișcării  $i = Z_2 Z_5 / (Z_3 Z_4 - Z_2 Z_3)$ . Astfel, raportul de reducere în transmisia 2K-H cu un satelit variază în diapazonul  $\pm 10 - \pm 3600$ , iar în TPM modelată conform structurii cinematice 2K-H complexă cu doi sateliți poate avea un raport de reducere a mișcării de rotație de peste 10000000. Evoluând dependența capacității portante de posibilitățile cinematice, putem menționa că o transmisie elicoidală moleculară cu raportul de transmisie  $i = 250$ , conform creatorilor ei, este capabilă să deplaseze obiecte cu masa de 250 de ori mai mari decât masa proprie.

TPM prezintă interes din următoarele considerente: posibilități excepționale de reducere a mișcării de rotație; mișcarea sfero-spațială a satelitului este similară cu mișcarea spinului atomilor; simplitate constructivă cu doar 4 elemente structurale, care pot fi construite din nanotuburi de carbon. În baza TP pot fi construite nanotransmisiile într-o gamă de peste 20 de structuri cinematice elaborate la UTM în anii '80.

**Nanomotoreductor precesional molecular** (Antologia invențiilor, vol. 2, pag. 74-76). Cel mai important avantaj al transmisiilor precesionale îl reprezintă specificul de transformare a mișcării și sarcinii, și anume a mișcării sfero-spațiale a satelitului cu un punct fix. Acest specific al TP facilitează sinteza motoarelor precesionale moleculare bazându-se pe un alt principiu decât cel propus în 1999 de B. FERİNGA (identificat de către laureați ca pasul trei al inovațiilor) sau decât cel realizat în 2009 de către Ch. JOACHIM.

Principiul nou propus pentru a impune transmisiile precesionale moleculare „să lucreze” în calitate de motor molecular a fost descris în „Antologia invențiilor” și constă în antrenarea satelitului precesional într-o mișcare sfero-spațială cu un punct fix prin expunerea satelitului la o sursă externă de energie rotativă cu o anumită frecvență de rotație. În acest scop nanomotoreductorul este conceput dintr-un satelit 1 (figura 2) cu două coroane de dinți  $Z_2$  și  $Z_3$ , cu geometria angrenajelor similară celei din transmisia prezentată în figura 1. De corpul satelitului 1 fixăm imobil o conglomeratie de atomi ionizați amplasați în spațiul trunchiului de con  $abcd$ , receptivi la acțiunea din exterior, spre exemplu, a unui câmp electrostatic rotativ, a unui câmp electromagnetic sau de radiație etc. Acțiunea sursei energetice exterioare rotative asupra atomilor ionizați cu viteza unghiulară  $\omega_0 = \omega_s$  antrenează satelitul în mișcare sfero-spațială, rotindu-l în jurul propriei axe  $O'O'$  cu viteza unghiulară:  $\omega_1 = \omega_s \cdot (Z_4 - Z_2) / Z_2$ .

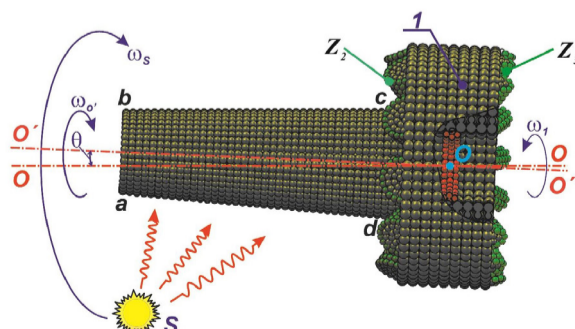


Fig. 2. Cinematica satelitului nanomotoreductorului precesional

Așadar, principiul de funcționare a nanomotoreductorului precesional 2K-H, prezentat în figura 3, se bazează pe acțiunea sursei de energie externă rotativă asupra conglomeratului de atomi ionizați amplasați în trunchiul de con 6, comunicându-i acestuia mișcare rotativă diurnă cu

unghiul de nutație  $\theta$ , iar satelitul 1 – mișcare sfero-spațială cu un punct fix. Unghiul de nutație  $\theta$  (figura 2) a mișcării sfero-spațiale a satelitului 1 poate varia  $1^\circ < \theta < (15 \div 20)^\circ$  și se selectează în funcție de aceiași parametri geometrici ( $\delta, \beta, \theta, Z_4, (Z_5), Z_{2(3)} = Z_{4(5)} \pm 1$ ) ai angrenajelor precesionale obișnuite. Deci, particularitățile constructiv-cinematice și principiul specific de transformare a mișcării în TP asigură comasarea funcțiilor de motor și de reductor într-o singură construcție – nanomotoreductorul precesional, considerat ca un avantaj excepțional al TP.

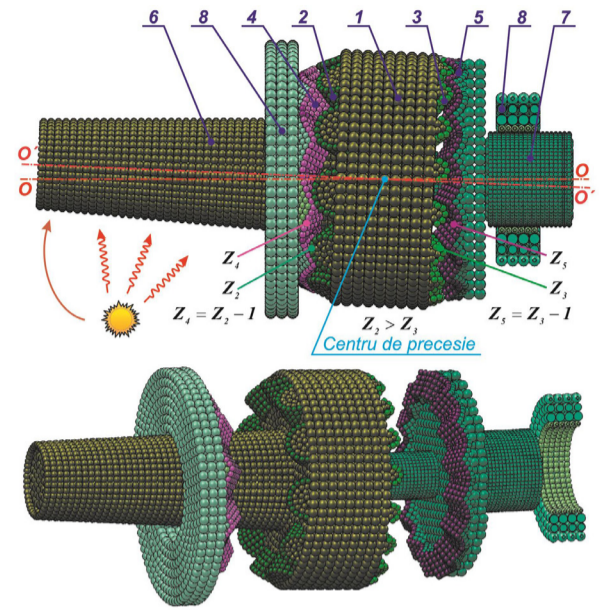


Fig. 3. Nanomotoreductorul precesional 2K-H (a) și în varianta desfășurată (b)

Acest specific al TP facilitează sintetizarea motoarelor precesionale moleculare cu mișcări controlabile bazându-se pe un alt principiu decât cel propus în 1999 de FERİNGA sau cel realizat în 2009 de JOACHIM.

Un alt avantaj deosebit al TP care facilitează sinteza TPM cu mișcări controlabile constă în amplasarea laterală a angrenajelor precesionale, astfel încât profilul înfășurătoarei câmpurilor grupurilor de atomi (molecule) ce formează dinții satelitului să descrie arcuri de cercuri, iar înfășurătoarea dinților roților centrale – curbe convex-concave congruente cu profilurile dinților din macrotransmisiile precesionale. Danturile roților sau ale sateliților cu bolțuri din TPM sunt înlocuite cu dinți cu profil continuu în formă de arc de cerc, simplificate datorită faptului că în angrenajele precesionale moleculare lipsesc forțele de frecare. Schimbând numărul dinților (grupurilor de atomi), putem schimba substanțial raportul de transmitere, inclusiv direcția mișcării de rotație controlabilă.

În comparație cu alte transmisiile clasice, TP posedă o varietate extinsă de structuri cinematice, care pot să răspundă diferitelor solicitări ale cercetătorilor-proiectanți de mașini moleculare. De exemplu, structurile cinematice K-H-V sunt construite dintr-un satelit precesional angrenat cu o roată centrală și suplimentat cu un mecanism de preluare și transmitere a mișcării de rotație controlabilă. Aceste transmisiile lucrează atât în regim de reducere, cât și de multiplicare a mișcării de rotație. Există structuri cinematice ce pot fi utilizate la elaborarea vehiculului molecular pentru transportarea medicamentelor către celulele cancerigene, asigurând separarea spațiilor ermetice vacumate pentru a nu afecta celulele sănătoase.

Un alt avantaj al TP realizat prin structura cinematică 2K-H complexă, neîntâlnit în alte transmisiile clasice, constă în posibilitatea de a realiza raporturi de transmisie foarte mari (până la zeci de milioane) și, respectiv, momente de torsiune de zeci de milioane de ori mai mari la ieșire decât la intrarea în TPM. Totodată, în TPM, viteza unghiulară la intrare poate fi de ordinea zecilor de mii rot/sec.

Astfel, în 1999 FERİNGA a elaborat un motor molecular alimentat cu „combustibil” în forma unei raze de lumină, care a dezvoltat un moment de torsiune capabil să transporte un tub din sticlă cu masa de 10000 de ori mai mare decât însăși masa motorului molecular, iar în 2014 a demonstrat un motor molecular capabil să dezvolte la arborele de intrare o frecvență de rotație egală cu  $n_1 = 12000000$  rot/sec. Pentru comparație, într-o macrotransmisie antrenată de un motor electric arborele de intrare de regulă are 3000 rot/min sau 314 rot/sec. Aplicând pentru motorul precesional molecular aceeași abordare a randamentului ca și în macro-mecanisme, putem estima cu mare aproximare puterea aplicată la arborele condus al acestuia sau eficiența conversiei energiei solare (cu care se alimentează nanomotorul molecular) direct în energie mecanică.

Pornind de la afirmațiile lui FERİNGA privind valorile foarte înalte ale rotațiilor arborelui motorului molecular experimentat în 2014, apare necesitatea de a reduce substanțial viteza unghiulară transmisă către mașina moleculară. Acest obiectiv poate fi realizat prin cuplarea motorului cu o TPM cu un raport de transmisie de până la milioane de ori reducere a mișcării. Astfel, putem obține momente de torsiune la arborele condus cu valori incredibil de mari. Totodată, putem converti energia solară care alimentează lucrul motorului molecular direct în energie mecanică, via energia electrică – de asemenea o realizare de pionierat.

Principalul impediment în dezvoltarea tehnologiilor moleculare la ora actuală constă în neputința de a elabora și fabrica *asamblorii* moleculare – viitorii *constructori* de mașini moleculare. Cu certitudine, odată cu invenția și fabricarea *asamblorilor* pentru sinteza mașinilor, motoarelor și transmisiilor mecanice moleculare „atom cu atom” sau „moleculă cu moleculă”, vom atesta o explozie a mașinării moleculare, care vor stimula dezvoltarea industriei moleculare pe plan mondial.