

AVANTAJELE EXCEPȚIONALE ALE TRANSMISIILOR PRECESIONALE ÎN CONTEXTUL DEZVOLTĂRII „TRANSMISIILOR MOLECULARE”, DESEMNAȚE CU PREMIUL NOBEL – 2016

Academician Ion BOSTAN
Universitatea Tehnică a Moldovei

EXCEPTIONAL ADVANTAGES OF PRECESSIONAL TRANSMISSIONS IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT OF “MOLECULAR TRANSMISSIONS”, AWARDED WITH THE NOBEL PRIZE-2016

Summary: The article reflects aspects of content and appraisals of awarding the Nobel Prize 2016 in science of researchers J.-P. Sauvage, J. F. Stoddart and B. L. Feringa for “Design and synthesis of molecular machines”. By three outstanding inventions (three steps) the Nobel Prize winners managed to revolutionize the machines’ synthesis at molecular level, and obtained machines which are a million times smaller than a millimeter, or a thousand times smaller than a human hair. Applications of molecular machines, in general, and molecular mechanical transmissions and engines, in particular, will revolutionize the fields of information technology, computers with molecular nano chips, nano systems for energy storage, nano-robots, medicine, etc.

The article describes the exceptional advantages of precessional transmissions in the development of molecular transmissions. The paper presents constructive-kinematic peculiarities of molecular precessional transmissions developed at the Technical University of Moldova (TUM). Also molecular precessional motor is presented which was elaborated in 2011 at TUM, based on another functional principle of converting chemical energy into mechanical energy with controllable motions which is different from the one proposed in 1999 by B. L. Feringa and achieved in 2009 by C. Joachim – considered the first in the world who managed to rotate a molecular wheel.

Keywords: molecular mechanical transmissions, molecular precessional motors, molecular machines, conversion of chemical energy into mechanical energy, molecules with controllable motions, molecular rotating wheel.

Rezumat: Articolul reflectă aspecte tematice și aprecieri referitoare la acordarea în anul 2016 a Premiului Nobel în știință cercetătorilor J.-P. Sauvage, J. F. Stoddart și B. L. Feringa pentru „Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare”. Câștigătorii Premiului Nobel, prin trei invenții remarcabile (trei pași), au reușit să pună bazele fundamentale și să revoluționeze sinteza mașinilor la nivel molecular, ca să obțină astfel mașini de un milion de ori mai mici decât un milimetru sau de o mie de ori mai mici decât firul de păr. Aplicațiile mașinilor moleculare, la general, a transmisiilor mecanice și motoarelor moleculare, în particular, vor revoluționa domeniile tehnologiilor informaționale, calculatoarelor cu nanocipuri moleculare, nanosistemelor de depozitare a energiei, nanoroboților, medicinei etc.

În articol sunt expuse avantajele excepționale ale transmisiilor precesionale în contextul dezvoltării transmisiilor moleculare. Sunt prezentate particularitățile constructiv-cinematice ale transmisiilor precesionale moleculare proiectate la Universitatea Tehnică a Moldovei (UTM). De asemenea, este prezentat nanomotorul precesional molecular elaborat la UTM în anul 2011 în baza unui alt principiu funcțional de transformare a energiei chimice în energie mecanică cu mișcări controlabile, deosebit de cel propus în 1999 de către deținătorul Premiului Nobel - 2016 B. L. Feringa sau de cel realizat în 2009 de către C. Joachim și considerat primul în lume care a reușit să rotească o roată moleculară.

Cuvinte-cheie: transmisii mecanice moleculare, motoare precesionale moleculare, mașini moleculare, transformarea energiei chimice în energie mecanică, molecule cu mișcări controlabile, roata moleculară rotitoare.

1. EVOLUȚIA IMAGINAȚIEI DE LA FANTEZIE LA REALITATE

1.1. Inventarea dispozitivului laser și explozia tehnologiilor laser

Cel mai reprezentativ exemplu al traseului evolutiv de la *imaginația fantastică* la *tehnologii și aplicații reale* în domeniul ingineriei poate fi considerat „Hiperboloidul inginerului Garin” descris în romanul ști-

ințifico-fantastic omonim al lui Aleksei Tolstoi. Protagonistul cărții, inginerul Garin, obsedat de dorința de a deveni „stăpânul lumii”, inventează o super-armă denumită *hiperboloid*. După principiul funcțional, aceasta reprezenta de fapt un laser (acronim provenit din engleză de la denumirea *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) ce tăia printr-o rază de energie concentrată obiectele din calea lui. Traseul evolutiv al hiperboloidului inginerului Garin, de la



Figura 1. Laureații Premiului Nobel pentru Chimie – 2016: J.-P. Sauvage (stânga), Sir J. F. Stoddart (centru) și B. L. Feringa (dreapta) pentru lucrarea *Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare*

imaginația fantastică, expusă în romanul editat în anul 1927, până în anul 1964, când pentru invenția laserului, cercetătorilor Ch. Tomas, N. Basov și A. Prohorov li s-a decernat Premiul Nobel, a durat ceva mai puțin de patru decenii.

De la nominalizarea din 1964 și până în prezent s-a produs o adevărată explozie a tehnologiilor laser în cele mai diverse domenii ale activității umane: în tăierea metalelor și prelucrarea suprafețelor pieselor mașinilor; în medicină și stomatologie; în știința și tehnica de calcul; în telecomunicații și tehnica de imprimare a informației; în tehnica de măsurări și de generare a suprafețelor complexe; în tehnologiile informaționale și comunicațiile codate; în agricultură și biotehnologii etc.

1.2. Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare, nominalizate cu Premiul Nobel - 2016 – o nouă epocă în mașinologie

Un exemplu de ultima oră, similar ca importanță cu inventarea laserului, sunt *mașinile moleculare*. Academia Regală Suedeză de Știință, la 5 octombrie 2016, a acordat, iar la 10 decembrie 2016, în cadrul ceremoniei oficiale de la Stockholm, au fost înmânate Premiile Nobel cercetătorilor Ph.D. Jean-Pierre Sauvage din Franța (Universitatea Strasbourg), Ph.D. J. Fraser Stoddart din SUA (Universitatea Northwestern) și Ph.D. Bernard L. Feringa din Olanda (Universitatea Groningen) (figura 1) pentru lucrarea *Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare*. Acest eveniment crucial 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 la scară moleculară vor constitui în viitor un nou domeniu de cercetare-inovare.

Înalta Comisie Nobel, în cadrul prezentării lucrării *Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare*, 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 funcționale reale, fiindcă 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?!**

1.3. Trei pași fundamentali spre „proiectarea și sinteza mașinilor moleculare”

Pentru a formula un răspuns adecvat la întrebarea retorică adresată Comisiei Nobel, propun pentru început (*notă – I. Bostan*) să generalizăm noțiunea de *mașină* (macromașină). Astfel, potrivit definițiilor acceptate în mașinologie, mașina îndeplinește o funcție distinctă prin transformarea energiei dintr-o formă în alta și este compusă din piese separate, legate univoc mecanic, formând cuple cinematice și articulații cu mișcări relative între ele cu diferite grade de mobilitate.

Transpunând caracteristicile definiției proprii macromașinilor către *mașinile moleculare*, autorii au întreprins trei pași fundamentali pentru a putea realiza proiectarea și sinteza mașinii la scară moleculară.

Primul pas. În anul 1983, *Jean-Pierre Sauvage* a propus să unească două molecule inelare într-un lanț, atribuindu-le legătură mecanică mai liberă decât în legăturile covalente obișnuite (mai puternice).

Pasul doi. În anul 1991, *Fraser Stoddart* a propus crearea unui cuplu cinematic compus dintr-un ax (arbore) molecular, pe care se rotește sau se deplasează axial un inel molecular.

Pasul trei. În anul 1999, *Bernard Feringa* a propus

crearea unui motor molecular compus dintr-un rotor molecular cu mișcare de rotație continuă în aceeași direcție.

Prin acești trei pași, autorii au pus bazele fundamentale ale unei noi epoci în mașinologie, și anume în dezvoltarea mașinilor moleculare și a componentelor acestora – a transmisiilor mecanice, a motoarelor și a dispozitivelor moleculare cu mișcări controlabile atunci când primesc energie din exterior.

Pornind de la aceste considerente, înalta Comisie Nobel, în cadrul ședinței de prezentare a lucrării, a mai constatat următoarele: „(...) autorii nominalizați, prin cei trei pași propuși în premieră, de fapt au pus bazele fundamentale ale proiectării și sintezei *mașinilor moleculare*, care în viitor vor revoluționa diverse domenii ale activităților umane, în special în tehnologiile informaționale și în medicină. Prin cei trei pași propuși de nominalizații la Premiul Nobel, aceștia au deschis calea spre a forța mașinile moleculare să lucreze. Toate celelalte țin de ziua de mâine. Este posibil că viitorul mașinilor moleculare și al componentelor acestora, al transmisiilor mecanice, motoarelor și dispozitivelor moleculare va fi legat de sinteza și dezvoltarea unor noi concepte de supercalculatoare, de noi materiale, senzori și sisteme de stocare a energiei supraconcentrate”.

Făcând analogie cu explozia tehnologiilor laser, declanșată odată cu acordarea, în 1964, a Premiului Nobel pentru dispozitivul laser, sigur că și în cazul nanomașinilor după 2016 va urma o explozie în proiectarea și sinteza mașinilor moleculare, precum și în aplicarea acestora.

De fapt, procesul deja a început. Astfel, după **pasul trei**, propus de Bernard Feringa în 1999, un *motor molecular* a fost dezvoltat de Christian Joachim, profesor invitat la A*STAR's Institute of Materials Research

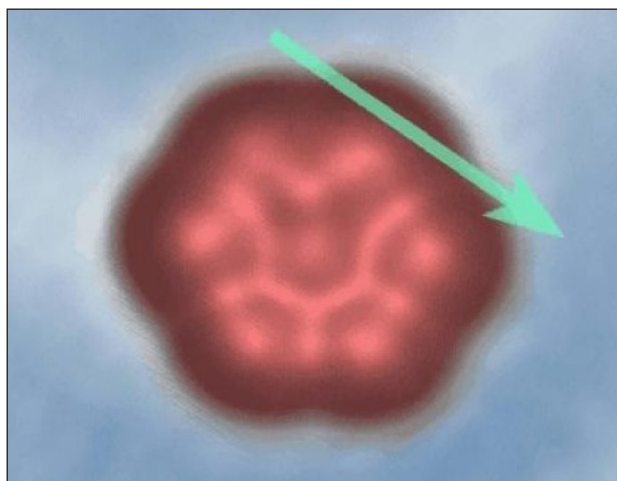


Figura 2. Prima transmisie moleculară din lume, forțată să se rotească controlat, reproducă în revista *Nature Materials* la 14 iunie 2009

and Engineering din Singapore, care, în anul 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 $d = 1,2 \text{ nm}$ (figura 2) [1].

Referitor la importanța lucrării *Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare*, periodicul britanic „The Guardian” scrie următoarele: „Cei trei au făcut descoperiri revoluționare în domeniul *mașinilor moleculare* – au creat structuri de mărimi nanometrice cu mișcări controlabile, cu ajutorul cărora energiile chimice pot fi convertite în forțe mecanice. Sunt mașini moleculare cu mișcări controlabile ce pot îndeplini anumite sarcini atunci când capătă energie, astfel încât pot fi folosite cu mari beneficii mai ales în IT și în Sănătate”.

Așadar, acești cercetători au reușit să revoluționeze sinteza mașinilor la nivel molecular, extinzând gama dimensională a mașinilor de la macromașinile existente cu diametrul rulmenților ajuns la 8 metri, până la nanomașini de un milion de ori mai mici decât un milimetru, adică de o mie de ori mai mici decât diametrul unui fir de păr.

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* în cadrul ședinței de acordare a Premiului Nobel.

Această realizare a autorilor se consideră un strălucit debut al unei **noi epoci în domeniul mașinologiei la scara moleculară**.

Savanții câștigători ai Premiului Nobel pentru *Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare* consideră că aplicațiile *mașinilor moleculare* vor revoluționa medicina, spre exemplu, prin: transportul cu vehicule moleculare (figura 3) al medicamentelor la adresă exactă către celulele canceroase; efectuarea intervențiilor chirurgicale cu aplicarea roboților moleculari; utilizarea roboților și a dispozitivelor moleculare pentru a pătrunde în interiorul celulelor umane și a efectua „anumite reparații” fără a le afecta; elaborarea unor noi metode de administrare a medicamentelor; înlocuirea conținutului unor substanțe medicamentoase etc.

De asemenea, în baza transmisiilor, motoarelor și dispozitivelor moleculare se vor dezvolta noi concepte de calculatoare și tehnologii de comunicare, iar în baza mașinilor moleculare cu anumite funcții se va putea înlocui „Chimia stocastică” actuală cu „Chimia algoritmică”.

Autorii totodată avertizează că transmisiile mecanice moleculare cu rapoarte mari de transformare a mișcării în sarcini foarte mari și cu frecvență de până

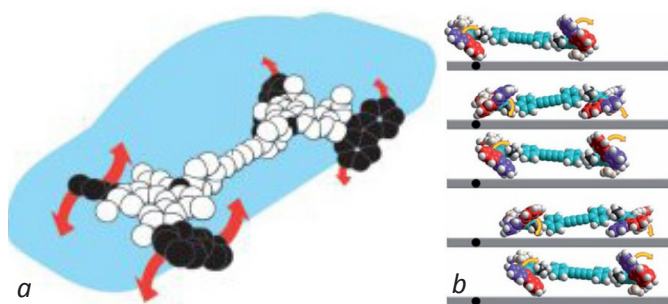


Figura 3. Vehicul molecular (a) cu mecanism de acționare molecular (b)

la zeci de mii de rotații pe secundă pot concentra energii supraenorme ($P, N \cdot m \cdot s^{-1}$; $T, N \cdot m$; ω, s^{-1}), care pot fi utilizate pentru arme de distrugere în masă. Conform prognozei autorilor, aceste arme, fără aplicarea sancțiunilor de interzicere, pot fi realizate peste 20-30 de ani.

1.4. Evoluția, similitudinile și consecințele celor două inovații apreciate cu Premiul Nobel

Cele două mari invenții au parcurs același traseu evolutiv. În cazul laserului, perioada de transpunere a *imaginației fantastice în realitate* a demarat cu „Hiperboloidul ...” publicat în 1927 (de fapt, având în spate principiile de funcționare enunțate în 1916 de Albert Einstein și legea radiației a lui Max Planck, date uitării însă până după cel de-al Doilea Război Mondial) și s-a finalizat odată cu decernarea Premiului Nobel pentru dispozitivul laser în 1964.

În cazul mașinilor moleculare, primele lucrări științifice au apărut la începutul anilor 1980, acestea fiind catalogate de către mașinologii timpului drept „imaginații fantasmagorice”, iar 1983 poate fi considerat anul de start al cercetărilor de transpunere a fantasticului în realitate. Procesul a durat până în 2016, când lucrarea *Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare* a fost nominalizată la Premiul Nobel.

Este semnificativ și totodată surprinzător faptul că ambele invenții – și *laserul*, și *mașinile moleculare* – au pornit de la imaginații fantastice, prima în 1927, iar a doua în 1983, având nevoie practic de aceeași perioadă de 34-37 de ani pentru a se dezvolta până la invenții nominalizate cu cel mai prestigios premiu pentru știință din lume – Premiul Nobel.

Consecințele tehnologiilor laser asupra progresului tehnico-științific, cu impact practic asupra tuturor domeniilor activității umane, astăzi, peste 52 de ani de la decernarea Premiului Nobel, sunt cunoscute și pot fi considerate revoluționare.

Efectele celei de-a doua invenții, a mașinilor moleculare, asupra activităților umane astăzi încă nu le cunoaștem. Dar, continuând analogia cu tehnologiile laser și ținând cont de concluziile autorilor nominalizați, inclusiv ale Comitetului Nobel, putem prezice că, în

următorii 40-50 de ani, se vor dezvolta tehnologii revoluționare și în domeniul mașinilor moleculare.

Crearea transmisiilor mecanice moleculare și a motoarelor moleculare reprezintă un rezultat al cercetărilor la joncțiunea domeniilor chimiei moleculare și mecanicii fine. Prin îmbinarea spectaculoasă a realizărilor bazate pe cercetările fundamentale în domeniul chimiei moleculare și pe cele aplicative în domeniul mecanicii fine obținute până în prezent, s-a pus temelia unei noi direcții științifico-practice de proiectare, sinteză și aplicații revoluționare ale mașinilor moleculare.

2. DEZVOLTAREA TRANSMISIILOR MOLECULARE ÎN PLAN MONDIAL

Potrivit înaltei Comisii Nobel, meritul celor trei câștigători ai Premiului Nobel constă în inovațiile propuse în anul 1983 de către J.P. Sauvage, în 1991 de către F. Stoddart și în 1999 de către B. Feringa, considerându-le drept un aport integrat realizat în trei pași consecutivi, prin care s-au pus bazele fundamentale ale dezvoltării *mașinilor moleculare*. De asemenea, Comisia Nobel a menționat încă un aspect important, și anume că aplicațiile mașinilor moleculare țin totalmente de viitor. Astfel ea vine să confirme importanța revoluționară a domeniului și totodată se adresează cu un apel și un îndemn către cercetători de a se include în dezvoltarea mașinilor moleculare, pentru ca pe viitor acestea să fie utilizate în cele mai diverse domenii ale activității umane.

Domeniului dezvoltării transmisiilor moleculare au fost consacrate o serie de lucrări, la unele dintre care s-au referit și autorii monografiei *Antologia invențiilor*, acad. I. Bostan ș.a.: *Transmisii Planetare Precesionale Cinematice; Mini- și nanotransmisii moleculare precesionale*, vol. 4, 636 p. [2], lucrare editată în anul 2011 la Chișinău.

Pentru a nu lăsa loc interpretărilor inoportune din partea cititorilor, în continuare voi prezenta informația referitoare la transmisiile precesionale moleculare, elaborate în cadrul Universității Tehnice a Moldovei, expusă în *Antologia invențiilor* [2], fără a introduce modificări sau comentarii suplimentare decât cele făcute cu cinci ani în urmă.

2.1. Modele simulate de nanotransmisii [2, p. 34, 35, 36].

Reducerea dimensiunilor transmisiilor mecanice și ale motoarelor electrice până la dimensiuni de microni se pare că este limita posibilului. Ce transmisiile pot fi create cu dimensiuni nano? Ce principii noi vor fi elaborate pentru crearea lor? Vincenzo Balzani, Margherita Venturi și Alberto Credi, autorii articolului [3] vin cu o idee provocatoare de a se ajunge de la



Figura 4. De la transmisiile mecanice ale lui da Vinci la nanotransmisiile moleculare

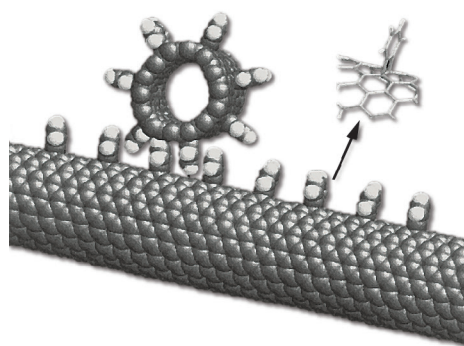


Figura 5. Nanotransmisie moleculară cu curea [4]

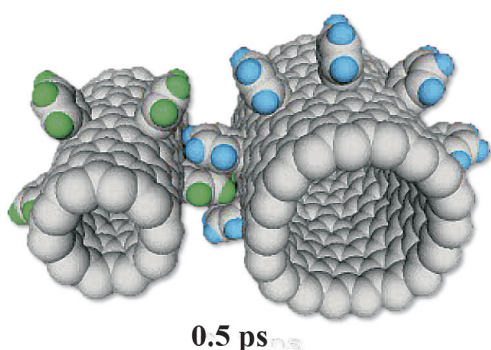


Figura 6. Nanotransmisie moleculară ordinară [4]

transmisiile lui Leonardo da Vinci, fabricate în lemn, la transmisiile moleculare (figura 4). Ideea constă în formarea unor „roți dințate” din aglomerații de molecule, aranjându-le într-un mod stabil.

În figura 5 este prezentat modelul unei transmisii moleculare cu „curea cu dinți”, iar în figura 6 – cel al unei transmisii moleculare ordinare cu două „roți dințate cilindrice”, elaborate de cercetătorii britanici Jie Hany, Al Globus, Richard Jaffe și Ienn Deardorff.

În figura 7 [5] este prezentată o structură dendronizată elicoidală de polimer, corespunzătoare pentru formarea unei nanotransmisii elicoidale, capabile să deplaseze obiecte cu mase de 250 de ori mai mari decât masa ei.

Un interes aparte prezintă câteva modele de transmisii moleculare elaborate de cercetătorul american K. Eric Drexler de la IMM (Institute for Molecular Manufacturing) [6]. În figura 8 a, b sunt modelate două transmisii moleculare cu „roți dințate cilindrice” într-o treaptă (a) și două trepte (b). În figura 8 c, d este prezentată o transmisie planetară cu nouă sateliți, roată solară și centrală, formate din aglomerații de atomi aranjați într-un mod anumit. În figura 9 e, f este modelat un diferențial în softul *NanoEngineer* de către cercetătorii K. Eric Drexler de la Georgia Tech. University, SUA.

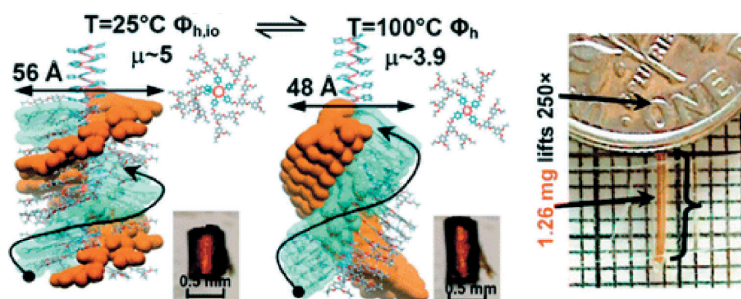


Figura 7. Structură dendronizată pentru formarea transmisiei elicoidale moleculare [5]

3. MODELE DE NANOTRANSMISII ȘI NANOMOTOREDUCTOARE MOLECULARE PRECESIONALE 2K-H (publicate în anul 2011, în [2, p. 72-76])

Previziunile savanților [3-7] din domeniile nanotehnologiilor și chimiei macromoleculare privind crearea, în baza unor tehnici speciale, a diferitelor mecanisme și mașini funcționale la scară moleculară deschid oportunități noi de conlucrare a specialiștilor la joncțiunea domeniilor mecanic și nanotehnologic. Astfel, în literatura de specialitate au apărut informații despre realizările cercetătorilor italieni [3] referitoare la încercările de prototipare a transmisiei mecanice a lui Leonardo da Vinci la nivel molecular, a transmisiilor prin curea cu dinți și cu roți cilindrice prototipate de către savanții britanici [4], a transmisiilor planetare cu sateliți și a diferențialelor prototipate de către cei americani [5, 6]. În toate sursele științifice se menționează conlucrarea cercetătorilor din cel puțin două domenii – cel al nanotehnologiilor și cel al mecanicii fine. Datorită particularităților constructiv-cinematice unice ale transmisiilor precesionale, legate de mișcarea sfero-spațială a satelitului, prin care se asigură raporturi de transformare a mișcării foarte mari, aces-

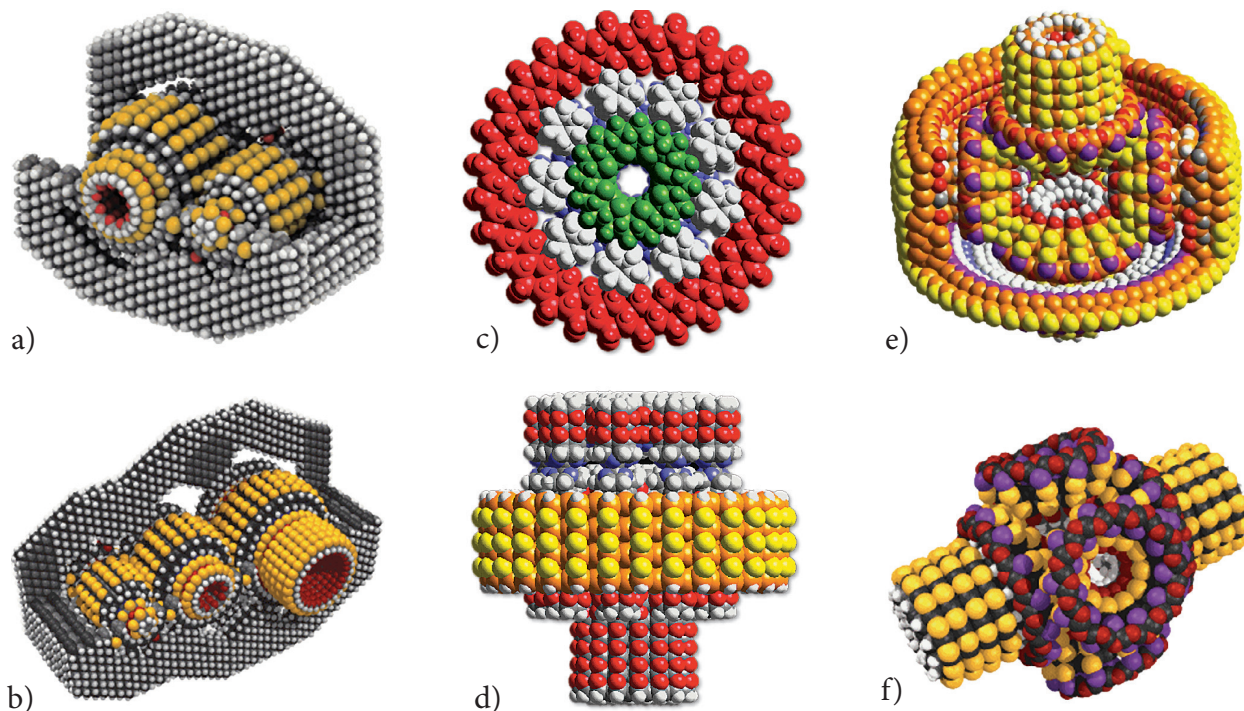


Figura 8. Nanotransmisii moleculare: transmisie cu roți dințate cilindrice într-o treaptă (a); transmisie cu roți dințate cilindrice în două trepte (b); transmisie planetară cu nouă sateliți (c, d); diferențial (e, f)

tea, în viziunea autorilor, prezintă un interes aparte din punctul de vedere al prototipării lor la nivel molecular.

3.1. Nanotransmisia precesională moleculară 2K-H¹ (publicată în anul 2011 în [2, p. 72-74])

Specificul constructiv al transmisiilor precesionale asigură construirea tuturor elementelor structurale (ale satelitului, roților dințate centrale, arborilor și carcasi), spre exemplu, din nanotuburi de carbon multi-pereți concenrici prin tehnologii de sintetizare devenite recent accesibile practicii ingineresti.

În figura 9, autorii prezintă construcția nanotransmisiei precesionale moleculare de tip 2K-H, constituită din satelitul 1, cu două coroane 2 și 3 compuse din atomi, câmpurile periferice 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 imagineare convex-concave congruente cu profilul dinților din transmisia precesională obișnuită. Numărul dinților cu suprafețe imagineare descrise în arc de cerc, care formează danturile 2 și 3 ale satelitului, trebuie să fie $Z_2 = Z_3 + 1$, 2, 3, 4..., iar al dinților roților centrate ce for-

mează danturile conjugate cu profil convex-concav – $Z_4 = Z_2 \pm 1$ și $Z_5 = Z_3 \pm 1$.

Principiul de funcționare a nanotransmisiei este similar cu cel al transmisiei precesionale obișnuite. La rotirea arborelui de intrare 6, satelitul 1 va efectua mișcare sfero-spațială în jurul centrului de precesie O și coroanele acestuia, cu numerele de dinți Z_2 și Z_3 , vor interacționa cu dinții roților centrale Z_4 și Z_5 . În cazul în care roata centrală 4 este imobilizată, raportul de transmitere la arborele 7 va fi:

$$i = \frac{Z_2 Z_5}{Z_3 Z_4 - Z_2 Z_5} \tag{1}$$

În funcție de numărul de dinți Z_2, Z_3, Z_4 și Z_5 și de coraportul lor, reducerea mișcării poate fi de la ± 10 până la 3600 într-o singură treaptă.

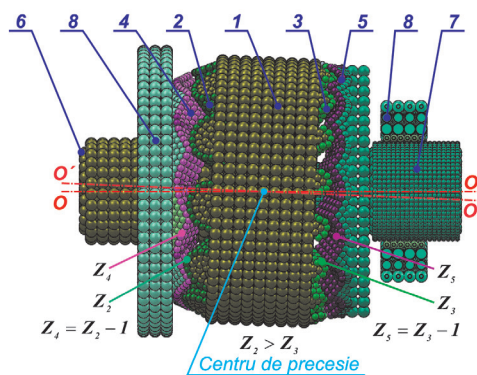


Figura 9. Nanotransmisia precesională moleculară 2K-H

¹ Nanotransmisia precesională moleculară 2K-H, publicată în [2, p. 72-74.], a fost elaborată și proiectată în anul 2011 de către acad. I. Bostan, asistat de d.ș.t. A. Sochireanu.

Exemplele de creare a transmisiilor moleculare în multe trepte, prezentate în figura 8 b [6], și a celor planetare din figura 8 c,d ne demonstrează că raportul de transmitere poate avea importanță. În acest sens, menționăm că o eventuală transmisie precesională construită conform structurii cinematice 2K-H complexe (v. structura cinematică [8, figura 2.7]) poate avea un raport de reducere a mișcării de rotație de peste 10 000 000 într-o construcție doar cu doi sateliți. Conform sursei [5], o transmisie elicoidală moleculară este capabilă să deplaseze obiecte cu mase de 250 de ori mai mari decât masa ei proprie, capacitate dependentă de raportul de reducere a mișcării de rotație ($i=250$). În acest context menționăm că raportul de reducere a rotațiilor în transmisia precesională moleculară poate fi de zeci de milioane.

Potivit previziunilor făcute în [3-7], autorii consideră că transmisiile precesionale (TP) moleculare vor prezenta un interes deosebit din următoarele considerente:

- posedă posibilități excepționale de reducere a mișcării de rotație;
- mișcarea sfero-spațială a satelitelui este similară cu mișcarea spinului atomilor;
- posedă simplitate constructivă cu doar patru elemente structurale, care pot fi construite, de exemplu, din nanotuburi de carbon.

Utilizând principiul de transformare a mișcării și a sarcinii în TP cu mișcare sfero-spațială cu un punct fix al satelitelui și particularitățile constructiv-cinematice ale acestora, în [2] autorii propun structura constructivă a unui nanomotoreductor precesional.

3.2. Nanomotoreductor precesional molecular² (publicat în anul 2011 în [2], p. 74-76)

Admitem că în baza tehnologiilor speciale men-

² Nanomotoreductorul precesional molecular, publicat în [2], paginile 74-76, a fost elaborat și proiectat în anul 2011 de către acad. I. Bostan asistat de d.ș.t. M. Vaculenco.

ționate în [3-7] construim un satelit cu două coroane de dinți, cu geometria angrenajelor similară celei din transmisia prezentată în figura 9. Prin tehnologiile menționate, la corpul satelitelui 1 (figura 10) fixăm imobil atomi ionizați 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:

$$\omega_1 = \frac{\omega_s}{i} \tag{2}$$

unde:

$$i = \frac{Z_2}{Z_4 - Z_2}$$

Dacă $Z_4 = Z_2 - 1$, atunci $\omega_1 = \frac{\omega_s}{Z_2}$, iar dacă $Z_4 = Z_2 + 1$, atunci $\omega_1 = -\frac{\omega_s}{Z_2}$.

În ansamblu, reducerea vitezei unghiulare la arborele de ieșire 7 al transmisiei va fi:

$$\omega_1 = \frac{\omega_s (Z_3 Z_4 - Z_2 Z_5)}{Z_2 Z_5} \tag{3}$$

unde:

$$Z_4 = Z_2 - 1, Z_5 = Z_3 - 1, Z_2 > Z_5.$$

În figura 11 este prezentat nanomotoreductorul precesional 2K-H, cu principiul de funcționare bazat pe comunicarea porțiunii 6 a unei mișcări rotative diurne cu unghiul de nutație θ , iar satelitelui 1 – a mișcării sfero-spațiale cu un punct fix. Unghiul de nutație θ a mișcării sfero-spațiale a satelitelui 1 poate varia $1^\circ < \theta < (15 - 20^\circ)$ 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. Astfel, 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.

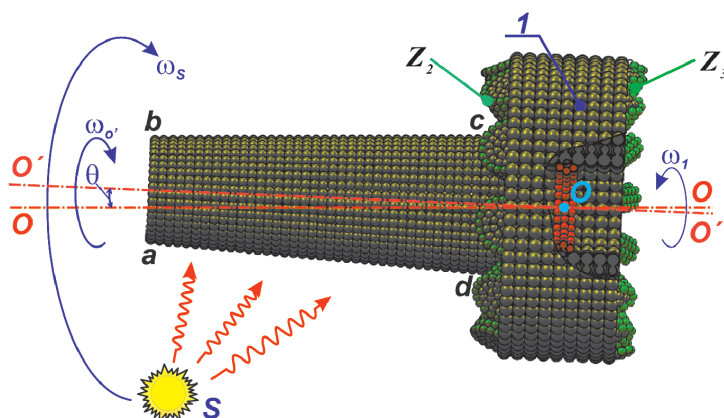


Figura 10. Cinematica satelitelui nanomotoreductorului precesional

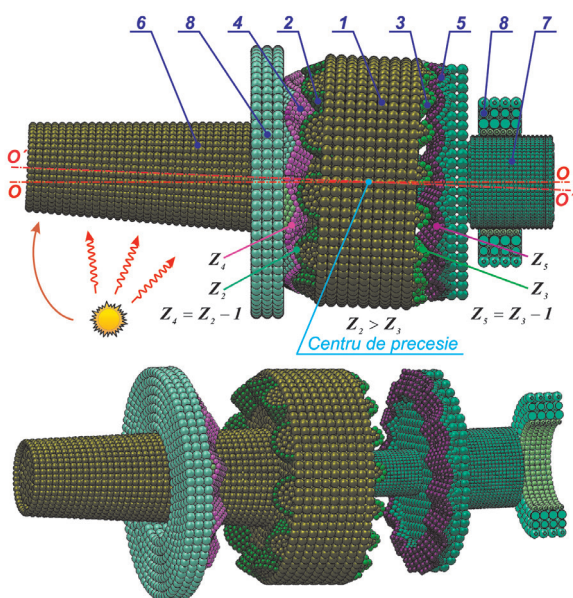


Figura 11. Nanomotoreductorul precesional 2K-H (a) în varianta desfășurată (b)

Autorii consideră că în baza transmisiilor planetare precesionale pot fi construite nanotransmisii într-o gamă de peste 20 de scheme structurale prezentate în [8].

Conform previziunilor specialiștilor, nanotransmisiile și nanomotoreductoarele moleculare vor găsi aplicații electronice, optice, magnetice, mecanice în cele mai diverse nanosisteme ingineresti cu proprietăți și efecte astăzi încă greu de imaginat.

Peste cinci ani de la publicarea în anul 2011 a *Antologiei Invențiilor* [2], putem face câteva constatări referitor la dezvoltarea tehnologiilor moleculare:

1. În plan mondial se atestă un interes deosebit privind dezvoltarea mașinilor moleculare și a componentelor acestora – transmisiilor și motoarelor moleculare, sub aspectul modelării lor computerizate și al sintezei.

2. În pofida constatării din p.1, până în prezent sinteza mașinilor moleculare în plan mondial se efectuează prin tehnologii moleculare primitive de permutare doar a conglomeratelor mari de atomi, „cu supunere” înfimă a lor la permutări și din această cauză nu se asigură un echilibru molecular stabil (din cauza instabilității atomilor permutați).

3. Până în prezent cercetătorii și inginerii încă nu au elaborat concepte de „asamblare” sau „dezasamblare” (în engl. „assembler” sau „disassembler”) a atomilor în molecule, care în viitor vor fi cele mai importante instrumentarii moleculare utilizate la sinteza (construirea) mașinilor moleculare, prin permutarea atomilor după principiul „unul câte unul” (și, respectiv, dezamblarea mașinilor moleculare prin înlăturarea atomilor „unul câte unul”). Funcționarea asamblarelor moleculare va fi dirijată de computere moleculare [7].

4. Decernarea Premiului Nobel în anul 2016 pentru *Proiectarea și sinteza mașinilor moleculare* cu certitudine va impulsiona cercetările în domeniul mașinologiei moleculare. Aceasta va conduce la scurtarea timpului de până la elaborarea asamblorilor moleculare și fabricarea acestora prin tehnologii moleculare dirijate prin intermediul calculatoarelor moleculare. Astfel se vor pune bazele fundamentale ale Industriei Moleculare.

4. AVANTAJELE EXCEPȚIONALE ALE TRANSMISIILOR PRECESIONALE (TP) PENTRU DEZVOLTAREA TRANSMISIILOR ȘI MOTOARELOR MOLECULARE

Nanotransmisiile moleculare cu roți cilindrice într-o treaptă (figura 8a) și în două trepte (figura 8b) sunt avantajate prin simplitate constructivă, asigură regim de lucru atât de reducere, cât și de multiplicare a mișcării și posedă rapoarte de transmitere, consecutiv $i=2\div 8$ și $i=8\div 50$. Transmisiile planetare cu nouă sateliți (figura 8 c, d) asigură rapoarte de transmitere mai mari $i=10\div 250$ și capacitate portantă înaltă determinată de nouă sateliți, iar diferențialul (figura 8 e, f) posedă posibilități de reducere diferențiată a rotației arborelui de intrare.

Dezavantajul major al acestor transmisii constă în faptul că pentru a le forța să lucreze trebuie să le cuplezi la un motor molecular separat sau să faci cel puțin o roată (sau un arbore) să se rotească.

În *Antologia invențiilor* [2, p. 73-74] sunt descrise avantajele transmisiilor precesionale favorabile pentru proiectarea și sinteza transmisiilor și motoarelor moleculare.

1. Cel mai important avantaj îl reprezintă specificul de transformare a mișcării și sarcinii utilizat în TP, și anume a mișcării sfero-spațiale a satelitului cu un punct fix. Acest specific al TP facilitează sintetizarea motoarelor precesionale moleculare bazându-ne pe un alt principiu decât cel propus în anul 1999 de către laureatul Premiului Nobel - 2016 Bernard Feringa (identificat de către autori ca *pasul trei* al inovațiilor) sau decât cel realizat în 2009 de către Christian Joachim, considerat primul în lume care a reușit să rotească o roată moleculară.

Principiul nou, propus în premieră pentru a forța transmisiile precesionale moleculare să lucreze în calitate de motor molecular, a fost descris în *Antologia invențiilor* [2, p. 74-76] și constă în antrenarea satelitului precesional într-o mișcare sfero-spațială cu un punct fix prin expunerea satelitului la o sursă externă de lumină (sau la sursa unor câmpuri: electrostatic, electromagnetic, de radiație) rotativă cu o anumită frecvență de rotație.

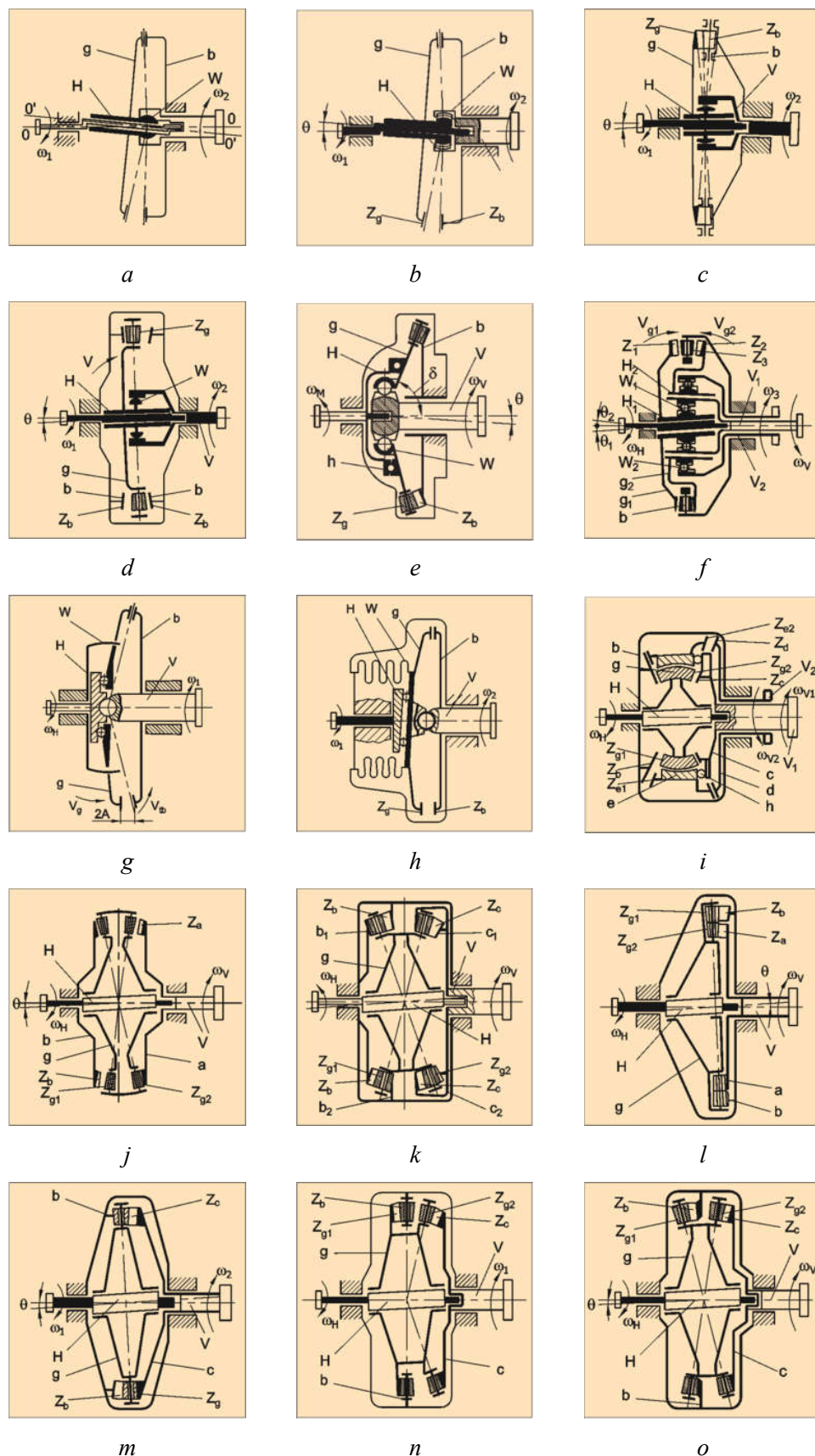


Figura 12. Structuri cinematice ale transmisiilor precesionale:

K-H-V cu roată centrală imobilă (*a-f*), *K-H-V* cu roată centrală mobilă (*g, h*), complexe (*i*) și *2K-H* (*j-o*)
 (a, c – roata centrală mobilă, b – roata centrală fixă, g – satelit, H – generator de precesie, V – arborele de ieșire,
 W – mecanism de preluare și transmitere a mișcării de rotație, Z – numărul de dinți)

Forțele asimetrice din angrenajele laterale vectorial se autocompensează și sub acțiunea energiei externe (a luminii rotative) comunică satelitului mișcare precesională cvasimecanică cu un unghi de nutație (figura 10) determinat de geometria angrenajului format din grupuri de atomi (molecule). La rândul său, satelitul în mișcarea sa precesională (provocată de sursa de energie externă) transmite roții centrale mobile mișcare de rotație cu reducere conform mecanismului existent în macrotransmișiile precesionale.

2. Un alt avantaj al transmișiilor precesionale care facilitează sinteza transmișiilor precesionale moleculare, 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 să descrie curbe convex-concave (figurile 9-11) congruente cu profilurile dinților din macrotransmișiile precesionale. O atare localizare a grupurilor de atomi (molecule) asigură angrenarea multipară a acestora, iar mișcarea sfero-spațială cu un punct fix al satelitului și diferența grupurilor de atomi (molecule) de ± 1 asigură reducerea mișcării rotative cu un raport în diapazonul $i_{HV}^B = \pm 10 \div 3600$ în structuri cinematice simple cu doar patru piese constituante prototipate în baza transmisiei precesionale $2K-H$ (figura 12 j) [8].

Sinteza transmișiilor precesionale moleculare în baza structurilor cinematice prezentate în figura 12 k-o asigură o varietate largă de amplasări ale grupurilor de atomi (molecule) cu înfășurătoarea lor în formă de profil convex-concav, care ar satisface anumite cerințe ale cercetărilor – proiectanți de transmisii precesionale moleculare cu rapoarte de transmisii $i_{HV}^B = \pm 10 \div 3600$. În toate transmișiile precesionale moleculare sintetizate conform structurilor cinematice prezentate în figura 12, danturile roților sau ale sateliților cu bolțuri sunt înlocuite cu dinți cu profilul continuu în formă de arc de cerc datorită faptului că în angrenajele precesionale moleculare lipsesc forțele de frecare. Schimbând doar numărul dinților (a grupurilor de atomi/ molecule), putem în aceeași configurație constructivă a TP să schimbăm substanțial raportul de transmitere, inclusiv direcția mișcării de rotație controlabilă.

3. Pentru proiectarea transmișiilor și a motoarelor moleculare sau, în baza lor, a dispozitivelor, roboților, vehiculelor și mașinilor multifuncționale moleculare, cercetătorii-proiectanți pot utiliza concepte structurale ale transmișiilor clasice cunoscute în construcția de macromașini (figura 8 a-f), fiecare dintre care posedă anumite avantaje, deosebite între ele atât constructiv, cât și funcțional.

În acest context, transmișiile precesionale în com-

parație cu alte transmisii clasice posedă o varietate mult mai extinsă de structuri cinematice prezentate în figura 12 [8]. Fiecare dintre structurile cinematice din figura 12 luate drept bază pentru proiectarea și sinteza transmișiilor precesionale sau a motoarelor precesionale moleculare pot să satisfacă diverse cerințe ale cercetătorilor-proiectanți de mașini moleculare. Structurile cinematice K-H-V prezentate în figura 12 a-e, g, de exemplu, sunt construite dintr-un satelit precesional angrenat cu o roată centrală și suplimentar cu un mecanism de preluare și transmitere a mișcării de rotație controlabilă. Aceste transmisii lucrează în regimuri atât de reducere, cât și de multiplicare a mișcării de rotație, cu raportul de reducere (multiplicare) $i_{HV}^b = -Z_g/Z_b - Z_g$, când $Z_b = Z_g + 1$, $i_{HV}^b = -Z_g$, iar când $Z_b = Z_g - 1$, $i_{HV}^b = Z_g$, unde Z_b, Z_g – numărul de grupuri de atomi/ molecule care constituie dinții roții centrale și a satelitului transmisiei precesionale moleculare. Rapoartele de reducere (multiplicare) a mișcării de rotație în transmisia precesională K-H-V variază între $8 < i_{HV}^b < 50$. Structura cinematică prezentată în figura 12 h poate fi utilizată pentru elaborarea vehiculului molecular care să transporte către celulele cancerigene medicamentele asigurând separarea spațiilor ermetice vacuumate pentru a nu afecta celulele sănătoase, iar structura prezentată în figura 12 f, asigură proiectarea și sinteza transmișiilor precesionale moleculare cu o mișcare de rotație ω_H la intrare și două mișcări de rotație cu $(\pm)\omega_V$ și ω_3 la ieșire.

4. Un alt avantaj de excepție al TP realizat prin structura cinematică, figura 12, i, neîntâlnit în alte transmisii clasice, constă în posibilitatea de a realiza raporturi de transmisie foarte mari și, corespunzător, momente de torsiune (M_{v2}) de zeci de milioane de ori mai mari la ieșire decât la intrarea în TP moleculară (M_4). Totodată, în TP moleculară, viteza unghiulară la intrare ω_4 poate fi de ordinea miilor de turații pe secundă. Astfel, în TP (figura 12 i) moleculară pot fi dezvoltate forțe în mișcări cvasimecanice (momente de torsiune) enorme sau concentrate supra-energii echivalente cu $P = M_{v2} \omega_2$ la ieșirea din transmisia precesională moleculară.

5. Un avantaj extrem de important al transmișiilor precesionale constă în comasarea funcțiilor sale cu ale motorului precesional molecular într-o singură construcție. Comasarea este asigurată prin comunicarea unei mișcări de nutație cu unghiul θ către satelitul precesional atunci când motorul molecular primește energie din exterior.

CONCLUZII ȘI CONSTATĂRI

Procesul de dezvoltare a motoarelor moleculare se află acum în același stadiu în care se afla motorul

electric în anul 1830 când cercetătorii timpului creau diverse dispozitive, pârgăii, arbori și roți fără să fie conștienți că invențiile lor primitive urmau să ducă la apariția trenurilor electrice, mașinilor de spălat, la edificarea fabricilor cu utilaje de prelucrare a metalelor producătoare ele însăși de alte mașini etc.

În cazul motoarelor și transmisiilor moleculare va veni timpul când în baza lor vor fi construiți roboți moleculari pentru fabrici producătoare de noi produse la scară moleculară, precum nanomateriale noi, nanosisteme de stocare a energiei, nanocipuri moleculare pentru generații noi de calculatoare, nanovehicule pentru transportul medicamentelor la adresă către celulele cancerigene, nanoroboți care să pătrundă în interiorul celulelor umane pentru a efectua reparații chirurgicale fără a le afecta etc.

Aceste mașini, roboți și vehicule cu motoare moleculare vor produce mișcări cvasimecanice controlabile întru realizarea anumitor funcții utile, consumând nu „combustibili” tradiționali, ci energie chimică (lumină, câmpuri electrostatice, electromagnetice sau de radiație) transformată în energie mecanică.

Laureatul Premiului Nobel – 2016, B. Feringa, afirmă că în anul 1999 a elaborat un motor molecular alimentat cu „combustibil”, în forma unei raze de lumină, care a dezvoltat un moment de torsiune M_1 capabil să transporte un tub din sticlă cu masa de 10 000 de ori mai mare decât însăși masa motorului molecular.

Remarca 1: În *macrotransmisii raportul între masă și momentul de torsiune variază în diapazonul $\gamma=0,1 \div 0,05 \text{ kg/Nm}$.*

În anul 2014, același B. Feringa a demonstrat un motor molecular capabil să dezvolte la arborele de intrare o frecvență de rotație egală cu $n_1=12\,000\,000 \text{ rot/sec}$, sau exprimată în viteza unghiulară $\omega_1=\pi n_1/30=1\,256\,000 \text{ sec}^{-1}$. Prin urmare, este nevoie de a reduce substanțial ω_1 . Aici, transmisia precesională moleculară nu are alternative printre transmisiile clasice.

Remarca 2: Într-o *macrotransmisie antrenată de un motor electric, arborele de intrare de obicei are frecvența de rotație $n \approx 3\,000 \text{ rot/min}$ sau $\omega \approx 314 \text{ sec}^{-1}$.*

În baza relațiilor clasice de calcul, cunoscând momentul de torsiune $M_1 \text{ (Nm)}$ și viteza unghiulară $\omega_1 \text{ (sec}^{-1}\text{)}$ dezvoltate la arborele conducător, inclusiv raportul de transmitere i a unei transmisii moleculare, putem estima momentul de torsiune $M_2=M_1 \cdot i \text{ (Nm)}$ și viteza unghiulară $\omega_2=\omega_1/i \text{ (sec}^{-1}\text{)}$ aplicate la arborele condus al acesteia. Aplicând pentru motorul molecular aceeași abordare a randamentului η ca și în macromecanisme, putem estima cu mare aproximație puterea utilă la arborele condus $N_2=M_1 \cdot i \cdot \omega_2/\eta$ sau eficiența conversiei energiei externe solare cu care se alimentează nanomotorul molecular (solară, câmpu-

rile electrice statice, electromagnetice, de radiație etc.) direct în energie mecanică $\eta=M_1 \cdot i \cdot \omega_2/N_2$.

Considerând afirmațiile laureatului Premiului Nobel B. Feringa privind vitezele unghiulare ω_1 foarte înalte la arborele de intrare a motorului molecular, experimentat în anul 2014, apare necesitatea de a reduce viteza unghiulară ω_1 . Acest obiectiv tehnologic poate fi realizat prin cuplarea motorului molecular, spre exemplu, la o transmisie precesională moleculară cu un raport de transmisie i de până la milioane de ori reducere a mișcării. Astfel putem obține momente de torsiune la arborele condus M_2 cu valori incredibil de mari. Totodată, se asigură posibilitatea de a converti energia externă care alimentează lucrul motorului molecular, spre exemplu lumina soarelui, direct în energie mecanică, via energia electrică – de asemenea o realizare de pionierat.

Deocamdată, principalul impediment în dezvoltarea tehnologiilor moleculare constă în neputința cercetătorilor și inginerilor de a elabora și fabrica „asamblorii” moleculari, care în viitor urmează să devină principalii „constructorii” de mașini moleculare.

Cu certitudine, odată cu inventarea și fabricarea „asamblorilor” pentru sinteza motoarelor și transmisiilor mecanice moleculare *atom – cu – atom* sau *molecule – cu – molecule*, care de fapt vor constitui principalele componente ale mașinilor moleculare, vom atesta o explozie a mașinăriei moleculare care va stimula dezvoltarea Industriei Moleculare în plan mondial.

BIBLIOGRAFIE

1. Ioachim C. and team. Step-by-step rotation of a molecule-gear mounted on an atomic-scale axis. In: Nature Materials. Published online: 14 June 2009. DOI.
2. Bostan I. ș.a. Transmisii planetare precesionale. Concepte de generare a angrenajelor. Mini- și nanotransmisii moleculare. În: Antologia invențiilor. Vol. 4. Ch., 2011. 636 p.
3. Balzani V., Credi A., Venturi M. Light-powered molecular-scale machines. Dipartimento di Chimica "G. Ciamician", Università di Bologna, via Selmi 2, 40126 Bologna, Italy. In: Pure Appl. Chem., 2003, vol. 75, no. 5, p. 541-547.
4. Hany J., Globus A., Jaffe R., Deardorff L. Molecular dynamics simulations of carbon nanotube-based gears. In: Nanotechnology, no. 8, 1997, p. 95–102. http://alglo-bus.net/NASAWork/papers/MGMS_EC1/simulation/paper.html
5. Rudick J.G., Percec V. Nanomechanical Actuators from Self-Organizable Dendronized cis-PPAs. In: Macromolecular Chemistry and Physics, vol. 209, issue 17, 2008, p. 1759–1768.
6. Drexler E. Institute for Molecular Manufacturing. <http://www.imm.org/research/parts/>
7. Drexler E.K., Minsky M. Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology. WOWIO, 2007.
8. Бостан И.А. Прецессионные передачи с многопарным зацеплением. Кишинэу: ШТИИИЦА, 1991, 355 с.