Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

(1). Seema Thakral & R.M.Mehta, Fullerenes: An Introduction and Overview of Their Biological Properties, IJPS, 2006 DOI: 10.4103/0250-474X.22957

(2). H.W.Kroto, J.R.Heath, S.C.O'Brien, R.F.Curl va R.E.Smalley. "C_{60}: Buckminsterfullerene", Nature, 318 (1985), p. 162–163.

(3). Review–The Beautiful Molecule: 30 Years of C60 and Its Derivatives Steve F.A.Acquah, a,z Anastasia V. Penkova, Denis A. Markelov, b, c Anna S. Semisalova, d,e Branden E. Leonhardt,a and James M. Magia

(4). Poulomi Bhakta & Bhavna Barthunia. Fullerene and its Applications: A Review, J Indian Acad Oral Med Radiol, 2020 DOI:10.4103/jiaomr.jiaomr_191_19

(5). Al Feng D., Zang Q., Liu Y., Lee Y. Aluminum Alloys and Aluminum-Based Matrix Compo-sites. Metals 2023, 13, 1870. Https://doi.org/10.3390/met13111870

(6). Al. Gao C., Liu X., Zhao D., Guo Y., Chen S., Gao F., Liu T., Cai Z., Liu D., Li J. Recent Progress in Testing and Characterization of Hardenability of Aluminum Alloys: A Review. Materials 2023, 16, 4736. Https://doi.org/10.3390/ma16134736

(7). Al. Dhanalakshmi K., Subramanian R., Karthikeyan R. Review of recent trends and developments in aluminium 7075 alloy and its metal matrix composites (mmcs) for aircraft applications. Reviews in Engineering, 2023. Https://doi.org/10.1016/j.reeng.2023.100098

(8). Al. Patle T.K., Singh N., Khaira H.K., Choudhary S.K. A Review on Abrasive Wear of Aluminum Composites: Mechanisms and Influencing Factors. Journal of Composites Science, 2024, 8(1), 25. Https://doi.org/10.3390/jcs8010025p

(9). Peng W.-T., Chen F.-R., & Lu M.-C. (2021). Thermal conductivity and electrical resistivity of single copper nanowires. Physical Chemistry Chemical Physics, 23(36), 20359–20364. Https://doi.org/ 10.1039/D1CP02774C

(10). Zheng H., & Jaganandham K. (2014). Thermal Conductivity and Interface Thermal Conductance in Composites of Titanium With Graphene Platelets. Journal of Heat Transfer, 136(6), 061301. Https://doi.org/ 10.1115/1.4026488

(11). PENELOPE J. BROTHERS, PHILIP P. POWER, Multiple Bonding Involving the Heavier Main Group 3 Elements Al, Ga, In, and TI, ADVANCES IN ORGANOMETALLIC CHEMISTRY, VOL. 39, 1976.

(12). Chawla K.K. Composite Materials: Science and Engineering, 3rd ed.; Springer.

(13). Science + Business Media: New York, NY, USA, 2013; p. 542. ISBN 978-0-387-74364-6.

(14). Kumar V.M., Venkatesha C.V. Effect of ceramic reinforcement on mechanical properties of aluminum matrix composites producedby stir casting process. Mater.

(15). Today Proc. 2018, 5, 2466–2471 [crossref]. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE "VIAM" of the State Research Center of the Russian Federation on the implementation of "Strategic directions for the development of materials and technologies of their processing for the period up to 2030.Aviat. Mater. Technol. 2015, 34, 3–33.

(16). Yufeng W.; Gap-Yong K.; Alan M.R. Mechanical alloying of carbon nanotube and Al6061 powder for metal matrix composites.Mater. Sci. Eng. A 2012, 532, 558.

(17). Bakshi S.R., Lahiri D., Argaval A. Carbon nanotube reinforced metal matrix composites-a review. Int.Mater. Rev. 2013, 55,41–64. [crossref].

(18). A.P.Thompson и др., «LAMMPS - a flexible simulation tool for particle-based materials modeling at the atomic, meso, and continuum scales», Comput. Phys. Commun., 271, p. 108171, 2022, doi: 10.1016/j.cpc.2021.108171.

Mamadaliyeva Muazzamxon Abdumannon qizi (U.A.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, doktorant),
Urolov Ikrom Zayniddinovich (U.A.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, doktorant),
Yadgarov Ishmumin Djabbarovich (U.A.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, professor; e-mail: muazzamxon.zubayr@gmail.com)

FULLEREN C_{60} VA SI@C_{60} ENDOFULLERENLARNING O'ZARO TA'SIR JARAYONLARINI MODELLASHTIRISH

Annotatsiya. *Ushbu ish fulleren-fulleren, fulleren-endofulleren, endofulleren-endofullerenlarning o'zaro ta'sir jarayonlarini molekulyar dinamika (MD) usuli asosida o'rganishga bag'ishlangan. Endofulluren hosil qilishda kremniy tanlab olinganligi sababli, C-C, C-Si o'zaro ta'sirlarini ifodalashda Tersoff potensialidan foydalanilgan. LAMMPS ochiq paket dasturi yordamida modellashtirilgan. Ta'sirlashuv jarayonlaridagi bog'lanish energiyalari hisoblangan.*

Kalit so'zlar: *fulleren molekulasi, endofulleren, modellashtirish, Tersoff potensiali, atom, bog' uzunligi, potensial energiya.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФУЛЛЕРЕНА C_{60} И ЭНДОФУЛЛЕРЕНА SI@C_{60}

Аннотация. *Данная работа посвящена изучению процессов взаимодействия фуллерен–фуллерен, фуллерен–эндофуллерен и эндофуллерен–эндофуллерен на основе метода молекулярной динамики (MD). Поскольку при получении эндофуллерена был выбран кремний, для описания взаимодействий C–C и C–Si использован потенциал Терсоффа. Моделирование выполнено с помощью открытого пакетного программного обеспечения LAMMPS. Были рассчитаны энергии связей в процессах взаимодействия.*

Ключевые слова*:молекула фуллерена, эндофуллерен, моделирование, потенциал Терсоффа, атом, длина связи, потенциальная энергия*

MODELING OF THE INTERACTION PROCESSES BETWEEN FULLERENE C_{60} AND ENDOFULLERENE SI@C_{60}

Annotation. *This work is devoted to the study of the interaction processes of fullerene–fullerene, fullerene–endofullerene, and endofullerene–endofullerene based on the molecular dynamics (MD) method. Since silicon was chosen for the formation of the endofullerene, the Tersoff potential was used to describe the C–C and C–Si interactions. The modeling was carried out using the open-source LAMMPS package. The binding energies during the interaction processes were calculated.*

Key words: *Fullerene molecule, endofullerene, modeling, Tersoff potential, atom, bond length, potential energy*

Kirish (Introduction). Hozirgi kunda fulleren molekulalari zamonaviy nanotexnologiyalar va materialshunoslik sohalarida eng istiqbolli obyektlardan biri sifatida alohida o‘rin egallaydi. Uglerodning allotropik shakllaridan biri bo‘lgan fullerenlar o‘zining noyob geometrik tuzilishi, yuqori barqarorligi, o‘ziga xos elektron xossalari va kimyoviy faoliyati bilan bir necha o‘n yillardan buyon ilmiy tadqiqotchilarning diqqat markazida bo‘lib kelmoqda. Sferik va ellipsoidsimon shakllari tufayli fullerenlar organik elektronika, kataliz, supero‘tkazuvchilar va nanokompozit materiallarda keng qo‘llanish imkoniyatlariga ega. So‘nggi yillarda fullerenga asoslangan klasterli sistemalar, ya’ni, bir nechta fullerenga molekulalarining o‘zaro birikishi natijasida hosil bo‘ladigan murakkab tuzilmalar ham katta ilmiy qiziqish uyg‘otmoqda [7]. Bunday klasterlar yangi turdagi yuqori mustahkam va funksional nanomateriallarni ishlab chiqishda asosiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi . Ularning mexanik, issiqlik va elektr xossalarini nazorat qilish orqali amaliyotda qo‘llash doirasi kengayib bormoqda.

Fullerenlarning noyob shakllaridan biri endofullerenlar bo‘lib, ular fullerenga qobig‘i ichiga atom, ion yoki kichik klasterlar joylashtirilgan komplekslardan tashkil topadi. Endofulerenlarda ichki zarracha va fullerenga qobig‘i o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir energetik va dinamik jarayonlarda yaqqol namoyon bo‘ladi[20]. Bunday murakkab sistemalarni o‘rganishda molekulyar dinamika (MD) usuli muhim rol o‘ynaydi. MD hisoblashlari yordamida endofulerenlarda atomlarning vaqt bo‘yicha harakati, potensial energiyaning o‘zgarishi, strukturaning barqarorligi, diffuziya jarayonlari hamda fazaviy o‘zgarishlari haqida muhim ma’lumotlar olish mumkin. Shuningdek, ushbu usul orqali endofullerenlarning issiqlikka chidamliligi, tashqi muhit bilan o‘zaro ta’siri va optimal konfiguratsiyalari aniqlanadi.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili (Literature review). Fulleren molekulalari 1985-yilda Kroto va hamkorlari tomonidan kashf qilingan bo‘lib [1], ularning noyob sferik va ellipsoidal tuzilishi ko‘plab yangi ilmiy yo‘nalishlarning rivojlanishiga sabab bo‘ldi. Uglerodning ushbu allotropik shakli yuqori barqarorlik, simmetrik geometriya, o‘ziga xos elektron va optik xossalar bilan ajralib turadi [2]. Shu bois fullerenga asoslangan nanomateriallar hozirgi kunda elektronika, biomeditsina, kataliz, nanokompozitlar va supero‘tkazuvchilar sohalarida keng qo‘llanmoqda [3–5].

So‘nggi yillarda fullerenlarning klasterli shakllari va endofullerenlari alohida ilmiy qiziqish uyg‘otmoqda. Klasterlash jarayonida bir nechta C_{60} yoki C_{70} molekulalari o‘zaro ta’sirlashib, murakkab nanostrukturalar hosil qiladi. Bunday klasterlar yuqori mexanik mustahkamlik, issiqlikka chidamlilik va o‘ziga xos elektron o‘tishlarga ega bo‘lib, ular yangi turdagi funksional materiallar ishlab chiqishda istiqbolli obyekt hisoblanadi [6–7]. Endofullerenlar esa fullerenga qobig‘i ichiga atom, ion yoki kichik klasterlarning joylashtirilishi orqali hosil qilinadi. Masalan, metall atomlari bilan to‘ldirilgan Cu@C_{60}, Ag@C_{60} yoki Si@ C_{60} komplekslari energetik barqarorlik va elektron transport xossalari jihatidan keng o‘rganilmoqda [8–10].

Bunday murakkab sistemalarni chuqur tahlil qilish uchun molekulyar dinamika (MD) usuli keng qo‘llanmoqda. MD hisoblashlari yordamida fullerenga va endofullerenlarda atomlarning vaqt bo‘yicha harakati, potensial energiya o‘zgarishi, struktura barqarorligi, diffuziya jarayonlari va fazaviy o‘zgarishlar tahlil qilinadi [13–15]. Shu bilan birga, MD orqali endofullerenlarning tashqi muhitga nisbatan barqarorligi,

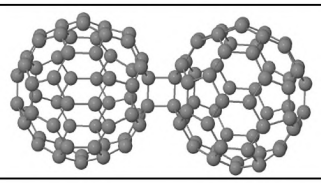
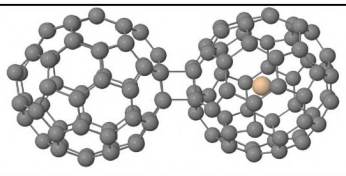
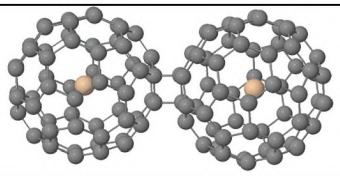
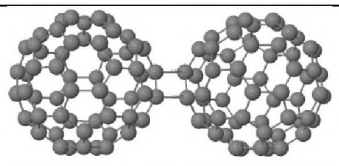
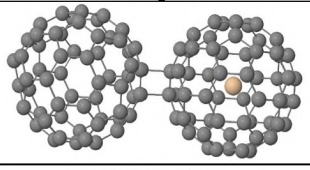
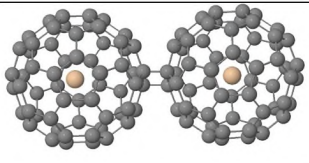
issiqlik ta'siriga chidamliligi va optimal konfiguratsiyalari aniqlanmoqda. Masalan, Tersoff potensiali asosidagi hisoblashlarda C_{60} molekulasining termal barqarorligi va klasterlash mexanizmlari aniqlangan [16], Lennard-Jones va EAM potensiallari qo'llangan tadqiqotlarda esa metall endofullerenlarning energetik holatlari baholangan [17].

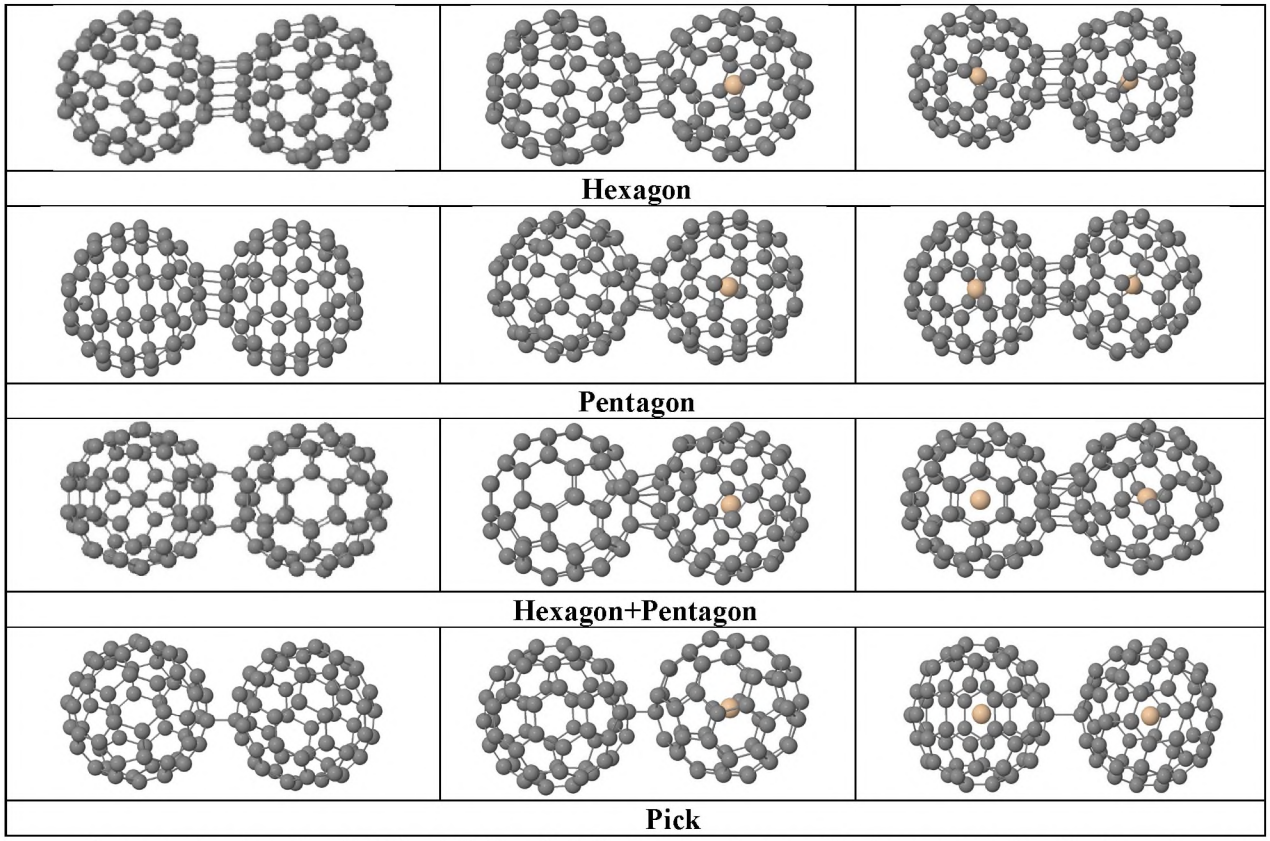
Shunday qilib, adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, fullerenga asoslangan nanostrukturalar, ayniqsa, endofullerenlar, nanotexnologiyalar va materialshunoslikda keng imkoniyatlarga ega. Molekulyar dinamika hisoblashlari esa ularning tuzilishi va xossalarini chuqur o'rganishda eng samarali usullardan biri sifatida maydonga chiqmoqda.

Tadqiqot metodologiyasi (Research Methodology). Ushbu tadqiqot ishida C_{60} fulleren molekulalari orasidagi o'zaro ta'sir jarayonlari molekulyar dinamika (MD) usuliga asoslangan ochiq manba kodli LAMMPS (Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator) dasturiy paketi yordamida modellashtirildi [18]. Molekular dinamika usuli tanlanishining sababi shundaki, u atomlar va molekulalarning vaqt bo'yicha harakatini yuqori aniqlikda hisoblash imkonini beradi. Shu orqali tizimning energetik xususiyatlari, barqarorligi, diffuziya jarayonlari hamda mikrostruktura evolyutsiyasi haqida keng qamrovli ma'lumot olish mumkin.

C_{60} fulleren molekulalari o'zaro ta'sirini aniqlashda Tersoff atomlararo potensiali qo'llanildi. Mazkur potensial uglerod va kremniy atomlari kabi kovalent bog'lanishga ega elementlarning o'zaro ta'sirini realistik tarzda tasvirlash uchun ishlab chiqilgan bo'lib, nafaqat atomlar orasidagi masofani, balki bog'lanish burchaklarini va elektron zichligining ta'sirini ham hisobga oladi. Shu jihati bilan u an'anaviy Lennard-Jones yoki boshqa empirik potensial modellardan ustunlikka ega. Tersoff potensiali ayniqsa uglerod asosidagi nanostrukturalar (grafen, nanotubalar, fullerenga molekulalari) hamda ularning yarim o'tkazgich atomlari (masalan,kremniy) bilan kombinatsiyalari uchun yuqori darajada moslashtirilgan hisoblanadi. Modellashtirish jarayonida C_{60} molekulalari uch o'qli Dekart koordinata sistemasida turli burchaklarda aylantirildi va molekulalararo konfiguratsiyalar tasodifiy va ixtiyoriy tarzda tanlab olindi. Bu yondashuv fullerenga molekulalarining o'zaro ta'sir jarayonlarini statistik jihatdan keng qamrovli tadqiq qilish imkonini berdi. Shuningdek, molekulalararo masofalar o'zgartirilib, barqaror va metastabil holatlar kuzatildi. Tadqiqotning keyingi bosqichida endofulleren tizimlari modellashtirildi. Buning uchun kremniy klasterlari (Si_n, n turli qiymatlar uchun) tanlab olinib, ular fullerenga qobig'i ichiga joylashtirildi. Shu tarzda, hosil bo'lgan $Si@C_{60}$ endofullerenlarining dinamik xatti-harakati va struktural barqarorligi MD usuli yordamida o'rganildi. Ushbu modellashtirish orqali kremniy klasterlarining fullerenga qobig'i bilan qanday turdagi o'zaro ta'sirga kirishishi, energetik konfiguratsiyalari va bog'lanish energiyalari tahlil qilindi. Barcha hisoblashlar yuqori samarali parallel dasturiy ta'minot bo'lgan LAMMPS paketida amalga oshirildi [18]. Molekular dinamik simulyatsiyalarning natijalari esa JMOL dasturida vizualizatsiya qilindi [19]. JMOL imkoniyatlari yordamida atomlarning vaqt bo'yicha joylashuvi, molekular konfiguratsiyalardagi o'zgarishlar va bog'lanishlarning shakllanishi ko'rsatildi.

Tahlil va natijalar (Analysis and results). Tadqiqod ishida olti xil konfuguratsiya bo'yicha C_{60}+ C_{60}, C_{60}+$Si@C_{60}$, $Si@C_{60}$+ $Si@C_{60}$ ning o'zaro ta;sir jarayonlari o'rganib chiqildi.

C_{60}+C_{60}	C_{60}+$Si@C_{60}$	$Si@C_{60}$+ $Si@C_{60}$
		
Bridge1		
		
Bridge2		



1-rasm. C_{60}+C_{60}, C_{60}+Si@C_{60}, Si@C_{60}+ Si@C_{60} larning o‘zaro ta’sir jarayonlarini turli xil konfugurat-siyalarda ko‘rinishlari.

1-jadvalda keltirilgan natijalardan ko‘rinib turibdiki, C_{60}+C_{60}, C_{60}+Si@C_{60} hamda Si@C_{60}+Si@C_{60} tizimlarining turli konfiguratsiyalardagi bog‘lanish energiyasi qiymatlari quyidagicha farqlanadi. Bu farq-lar molekulalararo o‘zaro ta’sir mexanizmlarida kremniy (Si) atomining kiritilishi muhim rol o‘ynashini ko‘rsatadi.

1-jadval

№	Konfiguratsiya	Bog‘lanish energiyasi (eV)		
		C_{60}+C_{60}	C_{60}+Si@C_{60}	Si@C_{60}+ Si@C_{60}
1	Bridge1	−0,004058	−0,004058	−0,004058
2	Bridge2	−0,000909	−0,000909	−0,000909
3	Hexagon	0,031992	0,031992	0,031992
4	Pentagon	0,053083	0,053083	0,053083
5	Hexagon+Pentagon	0,002817	0,002817	0,002817
6	Pick	0,011350	0,011350	0,011350

Bridge1 konfiguratsiyasi uchun barcha tizimlarda (C_{60}+C_{60}, C_{60}+Si@C_{60} va Si@C_{60}+Si@C_{60}) bog‘-lanish energiyasi −0,004058 eV ga teng. Ushbu kichik manfiy qiymat mazkur konfiguratsiyada zaif, ammo energetik jihatdan qulay o‘zaro ta’sir mavjudligini ko‘rsatadi. Barcha kombinatsiyalarda qiymatlarning teng bo‘lishi Bridge1 konfiguratsiyasida tarkibiy farq (Si atomining mavjudligi) barqarorlikka sezilarli ta’-sir ko‘rsatmasligini anglatadi. Bridge2 konfiguratsiyasida ham barcha tizimlar uchun bog‘lanish energiyasi −0,000909 eVni tashkil etadi. Bu qiymat deyarli nolga yaqin bo‘lib, o‘zaro ta’sirning juda zaif ekanini ko‘r-satadi. Mazkur konfiguratsiyada barqaror bog‘lanish shakllanishi ehtimoli past bo‘lib, tizim deyarli energe-tik neytral holatda qoladi. Hexagon konfiguratsiyasi uchun barcha kombinatsiyalarda musbat bog‘lanish energiyasi 0,031992 eVga teng. Musbat qiymat ushbu konfiguratsiyada molekulalararo o‘zaro ta’sir ener-getik jihatdan qulay emasligini bildiradi. Qiymatlarning tengligi shuni ko‘rsatadiki, Hexagon konfiguratsi-yasida kremniy atomining kiritilishi ham tizim barqarorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmaydi. Pentagon kon-figuratsiyasida bog‘lanish energiyasi barcha tizimlar uchun 0,053083 eVni tashkil etadi. Nisbatan katta musbat qiymat ikki molekulaning ushbu konfiguratsiyada yaqinlashishi energetik jihatdan noqulay ekanini ko‘rsatadi. Demak, Pentagon konfiguratsiyasi barcha ko‘rib chiqilgan tizimlar uchun beqaror hisoblanadi.

Hexagon+Pentagon konfiguratsiyasi uchun bog‘lanish energiyasi 0,002817 eVga teng bo‘lib, bu qiymat nolga juda yaqin. Ushbu holat konfiguratsiyaning deyarli energetik neytral ekanini bildiradi. Ya’ni, bu holatda kuchli barqaror bog‘lanish ham, keskin beqarorlik ham kuzatilmaydi. Pick konfiguratsiyasida barcha tizimlar uchun bog‘lanish energiyasi 0,011350 eVni tashkil etadi. Musbat qiymat Pick konfiguratsiyasida molekulalararo o‘zaro ta’sir energetik jihatdan barqaror emasligini ko‘rsatadi. Kremniy atomining mavjudligi bu konfiguratsiyada ham sezilarli barqarorlik bermaydi.

Xulosa (Conclusion). Olingan natijalarga ko‘ra, 120 ga normallashtirilgan bog‘lanish energiyalari barcha konfiguratsiyalarda C_{60}+C_{60}, C_{60}+Si@C_{60} va Si@C_{60}+Si@C_{60} tizimlari uchun bir xil qiymatlarga ega. Bu holat tanlangan masshtabda molekulalararo o‘zaro ta’sir konfiguratsiyaga ko‘proq bog‘liq bo‘lib, tarkibiy farqning (Si atomining kiritilishi) ta’siri deyarli sezilmasligini ko‘rsatadi.Bridge1 va Bridge2 konfiguratsiyalarida zaif manfiy qiymatlar kuzatilib, juda kuchsiz bog‘lanish mavjudligi aniqlanadi. Hexagon, Pentagon va Pick konfiguratsiyalarida musbat qiymatlar qayd etilib, bu holatlar energetik jihatdan barqaror emas deb baholanadi. Hexagon + Pentagon konfiguratsiyasi esa deyarli neytral bo‘lib, kuchli barqaror kompleks hosil qilmaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

[1]. Kroto H.W., et al. Nature, 1985.

[2]. Dresselhaus M.S., et al. Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes, 1996.

[3]. Hirsch A. The Chemistry of the Fullerenes, 1994.

[4]. Rao C N.R., et al. Fullerenes and Nanotubes: A Review, Acc. Chem. Res., 2002.

[5]. Iijima S. Carbon Nanostructures, Nature, 1991.

[6]. Yamaguchi T. et al. Fullerene Clusters: Structures and Properties, J Phys. Chem., 2007.

[7]. Balaban A.T. Fullerene Clusters and Nanostructures, Chem. Rev., 2006.

[8]. Shinohara H. Endohedral Metallofullerenes, Rep. Prog. Phys., 2000.

[9]. Popov A.A., et al. Endohedral Fullerenes, Chem. Rev., 2013.

[10]. Stevenson, S. et al. Endohedral Metallofullerenes: Formation and Properties, Nature, 1999.

[11]. Bohayra Mortazavi. Structural, electronic, thermal and mechanical properties of C60-based fullerene two-dimensional networks explored by first-principles and machine learning, Carbon, 2023.

[12]. Ceulemans A., et al. Electronic Properties of Endohedral Fullerenes, Chem. Phys. Lett., 2006.

[13]. Rapaport D.C. The Art of Molecular Dynamics Simulation, 2004.

[14]. Allen M.P., Tildesley D.J. Computer Simulation of Liquids, 2017.

[15]. Frenkel D., Smit B. Understanding Molecular Simulation, 2001.

[16]. Brenner D.W. Empirical Potential for Hydrocarbons for Use in Simulating Carbon Materials, Phys. Rev. 1990.

[17]. Guo T., et al. Metallofullerene Stability and Dynamics, Science, 1992.

[18]. Sandia National Laboratories, Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator (LAMMPS), 2023, https://www.lammps.org/

[19]. Java. Jmol, 2023, http://www.jmol.org/

[20]. D.J.King, P.C.Frangou, S.D.Kenny. Interaction of C60 molecules on Si(100), Surface science, Vol. 603, pp. 676-682, 2009. http://dx.doi.org/10.1016/j.susc.2008.12.035

Тешаев Мухсин Худойбердиевич (Бухарское отделение института Математики им. В.И.Романовского, Бухара, Узбекистан),

Аблокулов Шерзоджон Зокир угли, Бутунов Жахонгир Рузикулович, Юлдошева Озода Олимжоновна (Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан)

СОБСТВЕННЫЕ И ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ МНОГОМАСООВЫХ ВЯЗКОУПРУГРХ СИСТЕМ С КОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ

Аннотация. *В работе рассматриваются собственные и вынужденные колебания многомассовых вязкоупругих систем с конечным числом степеней свободы. В качестве примера рассматриваются сложные много-массовые колебательные системы "автомобиль – амортизируемое изделие". На основе уравнений Лагранжа второго рода получена системы интегро-дифференциальных уравнений. Приведена методика расчета собственных и вынужденных колебаний механических систем на основе метода Мюллера и Гаусса. Полечены численные результаты и их анализ.*

Ключевые слова: *собственные колебания, вязкоупругая система с конечным числом степеней свободы, уравнение Лагранжа, операторные жесткости.*