Xulosa va takliflar. Xulosa qilib aytish mumkinki, bu usul ishlab chiqarish hajmi o‘zgarib boradigan sharoitlarda iqtisodiy ko‘rsatkichlarni aniqroq baholash imkonini beradi. Shuningdek, tadqiqot davomida talab va taklif funksiyalariga asoslangan holda bozor muvozanatini aniqlash masalalari ham ko‘rib chiqildi. Aniq integral yordamida iste’molchi va ishlab chiqaruvchi yutug‘ini hisoblash orqali iqtisodiy samaradorlikka erishish mumkinligi isbotlandi. Mazkur tadqiqotda aniq integralning energiya sarfi va iqtisodiy masalalarga tatbiqi nazariy hamda amaliy jihatdan o‘rganildi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, aniq integral o‘zgaruvchan kattaliklar bilan bog‘liq jarayonlarni ifodalashda samarali matematik vosita hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

(1). Po‘latov B., Xurramov Y., Ibrohimov J. Murakkab funksiyalardan olingan aniq integralni taqribiy hisoblash. Zamonaviy innovatsion tadqiqotlarning dolzarb muammolari va rivojlanish tendensiyalari: yechimlar va istiqbollar. 2022, 1-jild, 1-son.

(2). Umarova N.R., Sharipova Z.Sh. Iqtisodiy masalalarni yechishda matematik usullardan foydalanish. Innovations in Science and Technologies. 2024.

(3). A.Gaziyev, I.Isroilov, M.Yaxshiboyev. “Matematik analizdan misol va masalalar”. 2-qism (o‘quv qo‘llanma). T., “Fan va texnologiya”, 2012, 384-bet.

Rahimova Gulxayo Sobirovna (Denov Tadbirkorlik va pedagogika instituti talabasi),
Muminova Shaxnozaxon Akbarxanovna (Denov Tadbirkorlik va pedagogika instituti dotsenti),
Yo‘ldoshev Azizbek Abdug‘aniyevich (Denov Tadbirkorlik va pedagogika instituti o‘qituvchisi),
O‘ljayev O‘tkir Boymamatovich (Denov Tadbirkorlik va pedagogika instituti dotsenti)

C_{60} FULLEREN QO‘SHILGAN SOVTLARDA VODOROD FIZISORBSIYASINI KUCHAYTIRISH

Annotatsiya. *Ushbu ishda C_{60} fullerenlari qo‘shilgan aromatik SOVT tizimlarida vodorod fizisorbsiyasi molekular dinamika usulida tadqiq etildi C_{60} fullerenlari sferik tuzilishi va π-elektron tizimi tufayli samarali nanoskalali adsorbsiya markazi bo‘lib, vodorodning lokal zichligini oshiradi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, SOVT tarkibiga fullerenlar kiritish gibrid tizimlarda vodorod saqlash samaradorligini oshirishning istiqbolli usulidir.*

Kalit so‘zlar: *vodorod saqlash, SOVT, C_{60} fulleren, fizisorbsiya, molekular dinamika.*

Рахимова Гулхаё Собировна (студент, Деновский институт предпринимательства и педагогики),
Муминова Шахнозахон Акбархановна (доцент, Деновский институт предпринимательства и педагогики),
Юлдашев Азизбек Абдуганиевич (преподаватель, Деновский институт предпринимательства и педагогики),
Улжаев Уткир Боймаматович (доцент, Деновский институт предпринимательства и педагогики)

УСИЛЕНИЕ ФИЗИСОРБЦИИ ВОДОРОДА В СИСТЕМАХ ЖОНВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ФУЛЛЕРЕНА C_{60}

Аннотация. *В работе методом молекулярной динамики исследована физисорбция водорода в системах ароматических ЖОНВ с добавлением фуллеренов C_{60}. Благодаря сферической геометрии и π-электронной системе, C_{60} выступают эффективными наноцентрами адсорбции, повышая локальную плотность водорода. Результаты подтверждают, что введение фуллеренов в ЖОНВ является перспективным способом повышения эффективности хранения водорода в гибридных системах.*

Ключевые слова: *хранение водорода, ЖОНВ, фуллерен C_{60}; физисорбция, молекулярная динамика.*

Gulkhayo Sobirovna Rakhimova (Student, Denov Institute of Entrepreneurship and Pedagogy),
Shakhnozakhon Akbarkhanovna Muminova (Associate Professor of Denau Institute of Entrepreneurship and Pedagogy),
Azizbek Abduganiyevich Yuldashev (Teacher, Denov Institute of Entrepreneurship and Pedagogy),
Utkir Boymamatovich Uljaev (Associate Professor of Denau Institute of Entrepreneurship and Pedagogy)

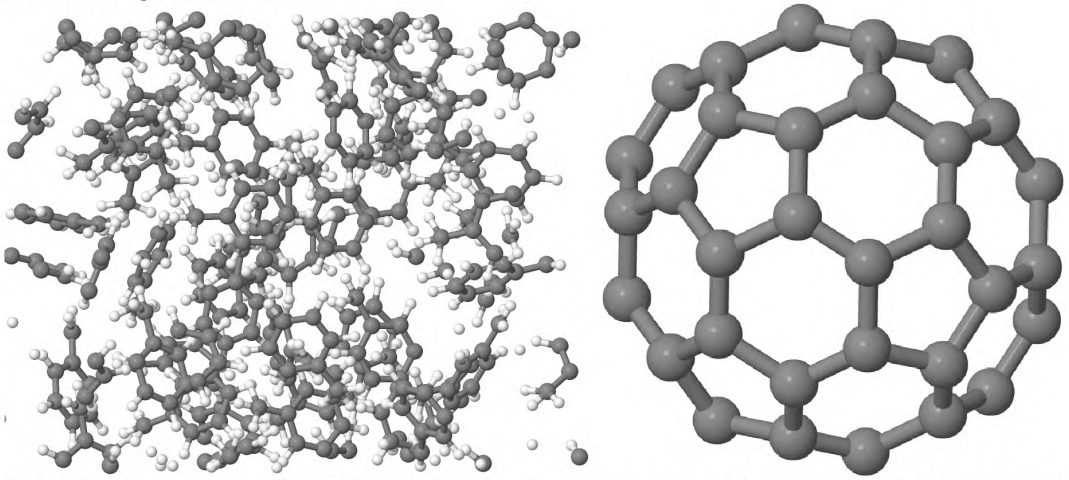
ENHANCEMENT OF HYDROGEN PHYSISORBTION IN LOHC SYSTEMS DOPED WITH C_{60} FULLERENE

Annotation. *This study uses molecular dynamics to investigate hydrogen physisorption in aromatic LOHC systems enriched with C_{60} fullerenes. Due to their spherical geometry and π-electron system, C_{60} fullerenes act as effective nanoscale adsorption centers, increasing local hydrogen density. The results demonstrate that incorporating fullerenes into LOHCs is a promising strategy for enhancing hydrogen storage efficiency in hybrid systems.*

Key words: *hydrogen storage, LOHC, C_{60} fullerene, physisorption, molecular dynamics.*

Kirish. Barqaror energiya tizimiga o‘tishda vodorod yuqori energiya zichligi va ekologik tozaligi bilan muhim o‘rin tutadi [1]. Biroq vodorod iqtisodiyotining rivojlanishi uni xavfsiz va samarali saqlash muammolari bilan cheklanmoqda [2]. Hozirgi usullar orasida fizisorbsion saqlash o‘zining tezkor kinetikasi va qaytariluvchanligi tufayli eng istiqbolli yo‘nalishlardan biri hisoblanadi [3]. Zaif van-der-Vaals kuchlariga asoslangan ushbu jarayon tizimda doimiy tarkibiy o‘zgarishlarsiz tezkor adsorbsiya va desorbsiyani ta’minlaydi [4]. Suyuq organik vodorod tashuvchilar (SOVT) an’anaviy ravishda kimyoviy saqlash materiali sifatida o‘rganilgan bo‘lsa-da, ular yuqori energiya iste’moli va katalizatorning parchalanishi kabi qator kamchiliklarga ega [5–6]. Shu sababli SOVT tizimlarida muqobil saqlash mexanizmlarini tadqiq etishga ehtiyoj tug‘ilmoqda. Ma’lum termodinamik sharoitlarda ushbu tizimlar kimyoviy gidrogenlashsiz ham vodorod fizisorbsiyasini amalga oshirishi mumkin [7]. Biroq sof aromatik suyuqliklarning adsorbsiya sig‘imi pastligi sababli ularni nanostrukturali qo‘shimchalar bilan modifikatsiyalash zarur [8]. Uglerodli nanomateriallar, xususan, C_{60} fullerenlari, o‘zining sferik geometriyasi va delokalizatsiyalangan π - tizimi tufayli vodorod adsorbsiyasi uchun noyob imkoniyatlar yaratadi [9–10]. Avvalgi ishlar fullerenlarning vodorodni dispersion kuchlar orqali bog‘lash qobiliyatini tasdiqlagan [11]. Suyuq fazali tizimlarga C60 fullerenlarini kiritish suyuqlikning ishlashining afzalliklarini nanoskalali adsorbsiyani kuchaytirish bilan birlashtirishning innovatsion strategiyasini ifodalaydi. Qattiq g‘ovakli materiallardan farqli o‘laroq, suyuq SOVT-nanomaterial gibridlari yaxshilangan issiqlik uzatishni, osonroq ishlov berishni va mavjud yoqilg‘i infratuzilmasi bilan moslikni ta’minlaydi [12]. Bunday gibrid tizimlar issiqlik almashinuvini yaxshilash bilan birga, mavjud yoqilg‘i infratuzilmasiga mos keladi. Shunga qaramay, SOVT eritmalarida fullerenlarning vodorod adsorbsiyasini o‘zgartirishdagi roli molekulyar darajada to‘liq yoritilmagan. Ushbu ishda C_{60} bilan boyitilgan SOVT tizimlarida vodorod fizisorbsiyasining tizimli molekulyar dinamikasi va termodinamik qonuniyatlari tadqiq etildi.

Tadqiqot metodi. Simulyatsiya qilingan tizim SOVT molekulalaridan tashkil topgan suyuq fazali matritsadan iborat bo‘lib, unga C_{60} fullerenlari 0, 1 va 5 wt% massa ulushlarida kiritildi. Vodorod molekulalari (H_2) adsorbsiyani o‘rganish maqsadida simulyatsiya qutisiga tasodifiy joylashtirildi. Hisoblashlarda uchala yo‘nalishda ham davriy chegara shartlari qo‘llanildi. Atomlararo o‘zaro ta’sirlar ReaxFF reaktiv potensiali asosida tavsiflandi [13,14]. Modellashtirish molekulyar dinamika usuli yordamida LAMMPS dasturiy paketida amalga oshirildi [15].

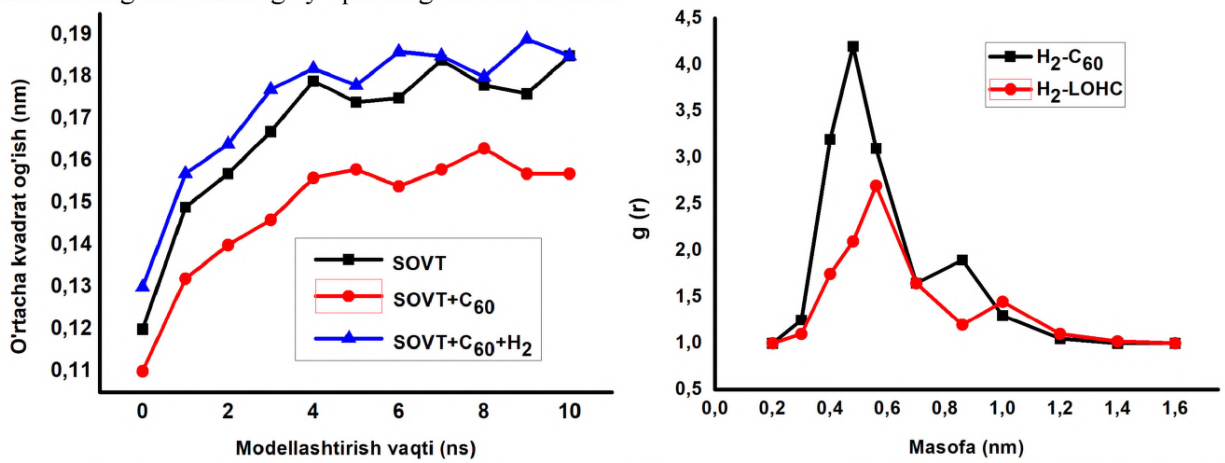


1-rasm. SOVT (Toluen) (chap) va fulleren (C_{60}) (o‘ng)ning ko‘rinishi. Uglerod (C) va vodorod (H) atomlari mos ravishda kulrang va oq rangda tasvirlangan.

Tizim, dastlab, NPT ansamblida muvozanatlashtirilib, so‘ng NVT ansamblida hisoblashlar olib borildi. Simulatsiyalar vodorod adsorbsiyasining termodinamik xatti-harakatini baholash maqsadida 250–400 K harorat va 1–10 bar bosim oralig‘ida bajarildi. Adsorbsiya samaradorligi gravimetrik sig‘im (wt.%) orqali, vodorodning C_{60} va SOVT atrofida taqsimlanishi esa radial taqsimot funksiyasi (RDF) yordamida tahlil qilindi. Bundan tashqari, o‘zaro ta’sir energiyalari hamda haroratga bog‘liq adsorbsiya–desorbsiya xatti-harakati asosida tizimning barqarorligi va qaytaruvchanligi baholandi.

Natijalar va muhokama. 2-rasm (chap)da SOVT, SOVT+C_{60} va SOVT+C_{60}+H_2 tizimlari uchun simulyatsiya vaqti davomida o‘rtacha kvadrat og‘ish (O‘KO) qiymatlarining o‘zgarishi keltirilgan. O‘KO ning vaqt bo‘yicha evolutsiyasi tizimlarning strukturaviy qayta moslashuvi va barqarorlashuv darajasini baholash imkonini beradi. Grafikdan ko‘rinadiki, barcha tizimlarda dastlabki bosqichda O‘KO qiymati tez

ortadi, bu esa boshlang‘ich konfiguratsiyaning termodinamik jihatdan qulayroq holatga relaksatsiyalanishi bilan izohlanadi. Keyingi bosqichlarda esa O‘KO o‘sishi sekinlashib, egri chiziqlarda plato kuzatiladi, bu tizimlarning muvozanatga yaqinlashganini ko‘rsatadi.



2-rasm. C_{60} va H_2 adsorbsiyasida strukturaviy barqarorlikning vaqtga bog‘liqligi (chap), C_{60}/SOVT tizimida vodorodlarning fazoviy taqsimoti (RDF) (o‘ng).

Toza SOVT tizimida O‘KO taxminan 0.12 nm.dan 0.18–0.185 nm.gacha oshadi. SOVT+C_{60} tizimida esa bu qiymat nisbatan past bo‘lib, 0.11 nm.dan 0.155–0.16 nm atrofida barqarorlashadi, bu esa C_{60} fullerenlari tizimning strukturaviy barqarorligini oshirishini bildiradi. SOVT+C_{60}+H_2 tizimida O‘KO eng yuqori bo‘lib, 0.13 nm.dan 0.185–0.19 nm.gacha yetadi. Bu vodorod molekulalari ishtirokida qo‘shimcha qayta joylashishlar va dinamik tebranishlar yuz berishini anglatadi. Shunga qaramay, barcha tizimlarda O‘KOning cheklangan diapazonda o‘zgarishi va keskin buzilishlarning kuzatilmasligi ularning umumiy strukturaviy barqarorligini tasdiqlaydi. Natijalar C_{60} qo‘shilishi SOVT muhitining mustahkamligini oshirishini, vodorod adsorbsiyasi esa tizimning harakatchanligini biroz kuchaytirishini ko‘rsatadi.

2-rasm (o‘ng) da vodorod molekulalarining C_{60} fullerenlari va SOVT muhiti bilan fazoviy taqsimotini ifodalovchi radial taqsimot funksiyasi (RDF) natijalari keltirilgan. RDF tahlili H_2 molekulalarining qaysi markazlar yaqinida afzal joylashishini aniqlash imkonini beradi. Natijalarga ko‘ra, H_2-C_{60} juftligi uchun kichik masofalarda aniq va baland birinchi maksimum kuzatiladi. Bu vodorod molekulalarining C_{60} sirtiga yaqin hududlarda yuqori ehtimollik bilan joylashishini hamda fullerenlar samarali lokal adsorbsiya markazlari ekanini ko‘rsatadi. Keyingi pasayish va ikkilamchi maksimum esa birlamchi adsorbsiya qatlami hamda undan keyingi tartiblangan fazoviy taqsimotni ifodalaydi.

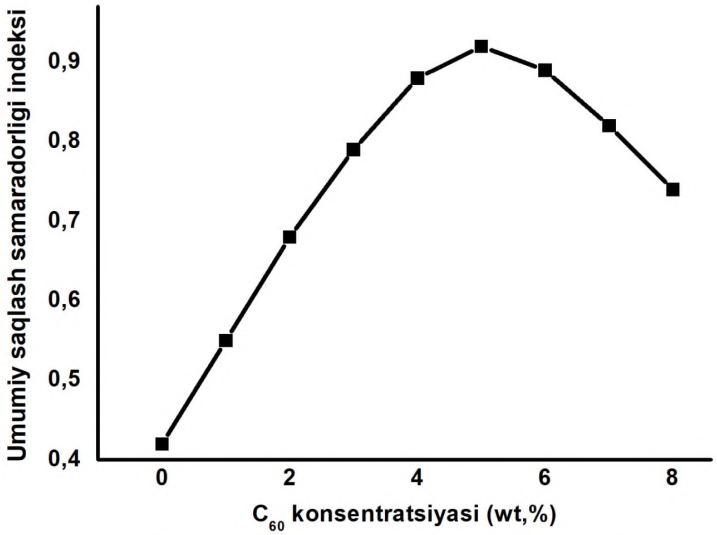
Bunga nisbatan H_2–SOVT juftligi uchun ham maksimum mavjud, biroq uning balandligi ancha past bo‘lib, vodorod molekulalarining aromatik SOVT fragmentlari yaqinida ham to‘planishini, ammo bu o‘zaro ta’sirning C_{60} ga nisbatan sustroq ekanini anglatadi. H_2–C_{60} egri chizig‘ining birinchi maksimumi taxminan 0.45-0.50 nm oralig‘ida joylashib, vodorod uchun qulay adsorbsiya masofasini ko‘rsatadi.

Shunday qilib, RDF natijalari C_{60} fullerenlari SOVT tizimida vodorod adsorbsiyasini kuchaytiruvchi asosiy nanoskalali markazlar ekanini tasdiqlaydi. Fullerenga yaqin hududlarda vodorodning yuqori lokal zichligi kuzatilishi C_{60} qo‘shimchasining gibrid saqlash muhitida vodorod qabul qilinishini oshirishdagi muhim rolini molekular darajada tushuntiradi.

SOVT-C_{60} gibrid tizimlarining umumiy saqlash samaradorligi. 3-rasmda SOVT-C_{60} gibrid tizimlari uchun umumiy vodorod saqlash samaradorligi C_{60} konsentratsiyasiga bog‘liq holda keltirilgan. Ushbu integral ko‘rsatkich vodorod yutilishi, adsorbsiya barqarorligi va tizimning umumiy ishlash xususiyatlarini birgalikda ifodalaydi. Grafikdan ko‘rinadiki, C_{60} miqdori oshishi bilan samaradorlik dastlab ortib, 5 wt% da maksimal qiymatga (0.92) erishadi, so‘ng esa pasaya boshlaydi. Toza SOVT tizimida bu ko‘rsatkich eng past bo‘lib, taxminan, 0.42 ni tashkil etadi.

C_{60} ning 1–4 wt% oralig‘ida qo‘shilishi samaradorlikni izchil oshiradi, bu fullerenga bog‘liq qo‘shimcha adsorbsiya markazlari hosil bo‘lishi bilan izohlanadi. Biroq 5 wt% dan yuqori konsentratsiyalarda samaradorlik kamayadi: 6 wt%da 0.89, 7 wt%da 0.82 va 8 wt%da 0.74 gacha tushadi. Bu holat fullerenga haddan tashqari boyitishda agregatsiya ehtimoli ortishi va samarali sirt maydonining kamayishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.

Shunday qilib, natijalar 5 wt% C_{60} SOVT–C_{60} tizimi uchun optimal kompozitsiya ekanini ko‘rsatadi. Mazkur tarkib vodorod yutilishi, o‘zaro ta’sir energiyasi va termik barqarorlik nuqtai nazaridan eng qulay holatni ta’minlaydi.



3-rasm. C_{60} konsentratsiyasiga bog‘liq holda vodorod saqlash samaradorligining o‘zgarishi.

Umumiy xulosalar. Olingan natijalar C_{60} fullerenlari bilan boyitilgan SOVT tizimlari vodorodning fizisorbsion saqlanishi uchun istiqbolli ekanini ko‘rsatdi. O‘KO va RDF tahlillari tizimning strukturaviy barqarorligini hamda vodorodning C_{60} sirtiga yaqin joylashishini tasdiqladi. C_{60} konsentratsiyasi oshishi vodorod yutilishi va adsorbsiya samaradorligini 5 wt%gacha yaxshiladi, undan keyin esa ayrim ko‘rsatkichlarda pasayish kuzatildi. Harorat ortishi saqlanishni kamaytirgan bo‘lsa-da, C_{60} qo‘shilgan tizimlar toza SOVTga nisbatan yuqori natija ko‘rsatdi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

(1). Schlapbach L., Züttel A. Nature, 2001.
(2). Crabtree G. et al. Physics Today, 2004.
(3). Züttel A. Materials Today, 2003.
(4). Dillon A. et al. Nature, 1997.
(5). Teichmann D. et al. Energy Environ. Sci., 2011.
(6). Preuster P. et al. Chem. Rev., 2017.
(7). Yang R.T. Adsorption, 2012.
(8). Zhou L. Renew. Sust. Energy Rev., 2005.
(9). Darkrim, F. et al. J. Phys. Chem. B, 2002.
(10). Kroto H.W. et al. Nature, 1985.
(11). Patchkovskii S. et al. PNAS, 2005.
(12). Lototskyy M. et al. Int. J. Hydrogen Energy, 2014.
(13). Adri C.T. van Duin Phys. Chem. A 2001, 105, 41, 9396–9409
(14). Bhatia S.K., Myers A.L. Langmuir, 2006.
(15). Plimpton S.J. Comp. Phys., 1995.

Egamberdiyeva Ozoda Shuhrat qizi (Qarshi davlat universiteti tayanch doktoranti)

BILIMLARNI UMUMLASHTIRISHDA MOSLIK TAMOYILINING O‘RNI

Annotatsiya. *Ushbu maqolada ilmiy bilishning ichki mantig‘ini ochib beruvchi, fundamental tamoyillardan biri moslik tamoyilining umumlashtiruvchi xarakteri ochib berilgan. Zero, ta’lim jarayonida moslik tamoyili shuni anglatadiki, bilimlar tarqoq dalillar yig‘indisi emas, balki o‘zaro bog‘langan ilmiy tizim sifatida qaror topishi asoslangan.*

Kalit so‘zlar: *moslik tamoyili, fizik nazariyalar, fundamental doimiylar, nisbiylik nazariyasi, mikroolam, makroolam, kvant mexanikasi, energiya, to‘lqin optikasi, geometrik optika.*

Эгамбердиева Озода Шухратовна (докторант Каршинского государственного университета)

РОЛЬ ПРИНЦИПА СООТВЕТСТВИЯ В ОБОБЩЕНИИ ЗНАНИЙ

Аннотация. *В данной статье раскрывается обобщающий характер принципа релевантности, одного из фундаментальных принципов, определяющих внутреннюю логику научного знания. В образовательном процессе принцип релевантности означает, что знание – это не набор разрозненных фактов, а совокупность взаимосвязанных научных систем.*