



ACTA EDUCATION

ISSN:



2023
N 1



actaeducation.uz

Tashkent International University of Education

**№1
2023**

ACTA EDUCATION

Scientific journal

TA'LIM XABARLARI

Ilmiy jurnal

ВЕСТИК ОБРАЗОВАНИЯ

Научный журнал

Tashkent 2023

ACTA EDUCATION EDITORIAL BOARD

Chief editor:

Baydjanov Maksudbek Islamdjanovich – Vice-rector for Academic Affairs of the Tashkent International University of Education, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor.

Executive editor:

Bekbaev Rauf Rustamovich – Head of the Department of Education and Training Management of the Tashkent International University of Education, Doctor of Philosophy (PhD) in philosophical sciences.

Members of the Editorial Board:

David Thompson – Professor of the Tashkent International University of Education, Doctor of Physical and Mathematical Sciences.

Tymoshchuk Nina Aleksandrovna – Head of the Department of Social Sciences and Technologies of NUST MISIS of the Russian Federation, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor.

Naumenko Oleg Aleksandrovich – Associate Professor of the Department of Social Sciences and Technologies of NUST MISIS of the Russian Federation, Candidate of Philosophical Sciences.

Zakirova Feruza Makhmudovna – Director of the Branch Center for Advanced Training and Retraining of Teaching Staff at the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor.

Yusupov Maksudbek Sultanmuratovich – Chief Researcher at the U.A. Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor.

Khalilov Umedjon Boymamatovich – Chief Researcher at the U.A. Arifov Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor.

Razzokov Jamoliddin Inatullaevich – Head of the Laboratory of the Institute of Fundamental and Applied Research, National Research University TIIAME, Doctor of Chemical Sciences, Professor.

Nishanov Akhram Khasanovich – Professor of the Department of Software of Information Technologies of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Doctor of Technical Sciences.

Yusupov Jaloliddin Rasuljonovich – Vice-rector of the Turin Polytechnic University in Tashkent, Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences.

Nazarov Nasriddin Atakulovich – Professor of the Department of National Idea, Fundamentals of Spirituality and Legal Education of Chirchik State Pedagogical University, Doctor of Political, Philosophical and Historical Sciences.

Makhkamova Nadira Rakhmanovna – Professor of the Department of Humanities of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Doctor of Historical Sciences.

Agzamkhodjayeva Shakhnoza Saidovna – Head of the Department of Social Sciences and Physical Culture of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Doctor of Philosophical Sciences, Professor.

Masharipova Gularam Kamilovna – Professor of the Department of Social Sciences and Physical Culture of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Candidate of Historical Sciences, Doctor of Philosophical Sciences.

Karimov Rakhmat Rakhmanovich – Professor of the Department of Philosophy and Logic of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Candidate of Philosophical Sciences.

Saidova Kamola Uskanbaevna – Professor of the Department of Education and Training Management of the Tashkent International University of Education, Doctor of Philosophical Sciences.

Karamyan Marietta Khachaturovna - Professor of the Department of Psychology of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Doctor of Psychological Sciences.

Shamsiev Uktam Bakhriddinovich – Head of the Department of Social Psychology of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Doctor of Psychological Sciences.

Mardonova Guljakhon Amonovna – Chief educator of the National Information Agency of Uzbekistan, Doctor of Philosophy (PhD) in Pedagogical sciences.

Chay Zoya Sergeevna – Associate Professor of the Department of Higher Mathematics of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Candidate of Physical and Mathematical Sciences.

Rakhimova Yayra Makhmudovna – Associate Professor of the Department of General Physics of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Doctor of Philosophy (PhD) in Physical and Mathematical Sciences.

Rajabona Zuhra Sadullaevna – Scientific Secretary of the Urgench branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Doctor of Philosophy (PhD) in Historical Sciences, Associate Professor.

Sadritdinova Zulfiya Israilovna – Associate Professor of the Department of Information Technologies of the Tashkent International University of Education, Candidate of Physical and Mathematical Sciences.

The electronic journal «**ActaEducation**» has certificates of state registration No. 122187.

Founder: Tashkent International University of Education.

Editorial board address: Tashkent, Yashnabad district, Imam Bukhari str., 6.

Website: www.actaeducation.uz

E-mail: actaeducation@tiue.uz

MUNDARIJA / CONTENTS / ОГЛАВЛЕНИЕ

Феномен образования в контексте теории открытого общества Карла Поппера и традиционализм.....	4
The phenomenon of education in the context of Karl Popper's open society theory and traditionalism.....	4
The behavior of functionalized carbon nanotubes in water	7
Aggregation mechanisms of 1-nm diameter NiO nanoclusters	13
Внедрение алгоритмов искусственного интеллекта в образовательный процесс: современное состояние и тенденции развития.....	19
Introduction of artificial intelligence algorithms into the educational process: current state and development trends	19

ФЕНОМЕН ОБРАЗОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ТЕОРИИ ОТКРЫТОГО ОБЩЕСТВА КАРЛА ПОППЕРА И ТРАДИЦИОНАЛИЗМ

Бекбаев Рауф Рустамович

Ташкентский международный университет образования, Ташкент, Узбекистан

E-mail: rauf.r.bekbaev@gmail.com

Аннотация. в данной статье рассматривается феномен образования в контексте теории открытого общества Карла Поппера. Открытое общество, основанное на принципах демократии, свободы и критического мышления, стремится к непрерывному прогрессу и самоусовершенствованию. Образование играет центральную роль в этом процессе, развивая у людей навыки критического мышления, анализа информации и способности задавать вопросы. Оно также способствует доступности и инклюзивности, обеспечивая равные возможности для всех людей получить качественное образование, независимо от их социального статуса или характеристик. Важным аспектом является научный подход в образовании, который стимулирует исследование и проверку гипотез, а также открытость для новых идей. Феномен образования в контексте теории открытого общества имеет целью формирование активных граждан, способных к саморазвитию, принятию осознанных решений и участию в демократическом процессе. Эта статья обращает внимание на ключевые аспекты феномена образования в открытом обществе и выделяет его важность для развития прогрессивного и инклюзивного общества.

Ключевые слова: образование, общество, социальная инженерия, открытое общество, критический рационализм.

THE PHENOMENON OF EDUCATION IN THE CONTEXT OF KARL POPPER'S OPEN SOCIETY THEORY AND TRADITIONALISM

Bekbaev Rauf Rustamovich

Tashkent International University of Education, Tashkent, Uzbekistan

E-mail: rauf.r.bekbaev@gmail.com

Abstract. this article examines the phenomenon of education in the context of Karl Popper's theory of open society. Open society, based on the principles of democracy, freedom, and critical thinking, strives for continuous progress and self-improvement. Education plays a central role in this process by developing individuals' skills in critical thinking, information analysis, and questioning. It also promotes accessibility and inclusivity, ensuring equal opportunities for all individuals to receive quality education, regardless of their social status or characteristics. An important aspect is the scientific approach in education, which stimulates the exploration and testing of hypotheses, as well as openness to new ideas. The phenomenon of education within the framework of the theory of open society aims to cultivate active citizens capable of self-development, making informed decisions, and participating in the democratic process. This article highlights key aspects of the phenomenon of education in an open society and emphasizes its significance for the development of a progressive and inclusive society.

Keywords: education, society, social engineering, open society, critical rationalism.

Введение

Феномен образования является одним из ключевых аспектов развития открытого общества в контексте теории Карла Поппера. В современном мире образование играет важнейшую роль в формировании мышления, развитии личности и прогрессе общества [1, с.39]. Оно является фундаментальным инструментом, который способствует достижению критической рациональности, свободного обмена идеями и созданию условий для развития инноваций.

В данной статье мы исследуем феномен образования в рамках теории открытого общества, разработанной Карлом Поппером. Мы рассмотрим основные принципы открытого общества и его связь с образованием, а также проанализируем роль образования в формировании критического мышления, доступности и инклюзивности.

Результаты и обсуждение

Теория открытого общества Карла Поппера представляет собой концепцию социальной организации, основанную на идеях демократии, свободы и критического мышления. Поппер разработал эту теорию в ряде своих работ, включая «Открытое общество и его враги» в двух томах [2, 3].

Основной принцип теории открытого общества состоит в том, что общество должно стремиться к непрерывному самоусовершенствованию и прогрессу. В открытом обществе основное внимание уделяется защите прав и свобод индивидуума, а также обеспечению условий для разнообразия и множественности мнений.

Поппер придавал особое значение критической рациональности в открытом обществе. Он утверждал, что постоянное испытание и опровержение истинности предположений и гипотез является ключевым механизмом прогресса. Вместо стремления к истине и окончательным ответам, Поппер призывал к активному исследованию и критике идеи, аргументации и научной теории.

Важным аспектом теории открытого общества является признание ограниченности знания. Поппер утверждал, что мы не можем полностью охватить истинность и познание, и поэтому открытое общество должно быть основано на уважении разнообразия мнений и идей. Это требует свободного обмена информацией, дискуссий и открытости для новых идей.

В своих работах Поппер также подчеркивал значимость институтов и правового строительства в открытом обществе. Государство и правовые нормы должны обеспечивать защиту прав и свобод, а также создавать условия для свободного и открытого диалога в обществе.

Теория открытого общества Карла Поппера оказала значительное влияние на понимание демократии, образования и науки. Она подчеркивает важность критического мышления, свободы слова и индивидуальной свободы в развитии общества. Также она делает акцент на значимости демократических институтов и процессов, которые обеспечивают гражданское участие и управление общественными делами.

В целом, данная теория является важным вкладом в понимание и развитие современной демократии и социальной организации. Она призывает к постоянному исследованию и испытанию истинности, уважению разнообразия мнений и свободному обмену идеями. Центральные принципы этой теории, такие как критическая рациональность, свобода и защита прав и свобод, имеют важное значение для развития открытого и прогрессивного общества.

Однако, теория открытого общества также вызывает дискуссии и вызовы. Некоторые критики указывают на потенциальные проблемы, связанные с неоднозначностью и относительностью критериев истины, а также на реальные ограничения и неравенства, которые могут возникать в практической реализации открытого общества.

Несмотря на эти вызовы, теория открытого общества Карла Поппера остается важным и вдохновляющим вкладом в области политической и социальной философии. Ее принципы и идеи продолжают служить основой для дискуссий о сущности демократии, значимости образования и роли гражданского общества в современном мире.

Образование играет центральную роль в развитии и функционировании открытого общества, как представлено в теории Карла Поппера. Философ считал, что открытое общество должно стремиться к непрерывному самоусовершенствованию и прогрессу, а образование является ключевым инструментом для достижения этой цели.

Основным принципом открытого общества, связанным с образованием, является критическая рациональность. В открытом обществе люди должны быть способны мыслить критически и анализировать информацию. Образование играет решающую роль в развитии этих навыков, помогая людям учиться самостоятельно мыслить, поставить под сомнение представленные факты и идеи, а также осуществлять критическую оценку информации.

Образование в открытом обществе также должно быть свободным и равноправным. Каждый человек должен иметь равные возможности получить качественное образование, независимо от своего социального происхождения, расы, пола или социально-экономического положения. Доступность и инклюзивность образования играют важную роль в устранении неравенства и создании условий, в которых каждый может реализовать свой потенциал.

Кроме того, образование в открытом обществе должно поддерживать научный подход. Поппер придавал большое значение научному методу в процессе образования. Он подчеркивал

важность формулирования гипотез, экспериментальной проверки и открытости для рациональной дискуссии, и критики. Научный подход позволяет развить способность к критическому мышлению, основанному на фактах и доказательствах, и способствует развитию новых идей и инноваций.

Образование в открытом обществе также играет роль в формировании активных граждан, способных принимать осознанные решения и участвовать в демократическом процессе. Поппер считал, что гражданское образование должно включать обучение гражданских и политических прав и обязанностей, этики и моральных ценностей, а также способствовать развитию навыков активного участия в общественной жизни. Через образование люди приобретают знания о правах и свободах, о том, как функционирует демократическое общество, и учатся применять свои знания и навыки для решения общественных проблем и содействия общему благополучию.

Феномен образования в контексте теории открытого общества Карла Поппера также подразумевает постоянное испытание и опровержение гипотез. Образование должно поощрять и поддерживать критический диалог, дебаты и обмен идеями. Оно должно стимулировать поиск истинности и знаний, основанных на проверяемых фактах и аргументах. Поппер подчеркивал важность открытости для новых идей и готовности изменять свои убеждения на основе рационального анализа и доказательств.

Феномен образования в контексте теории открытого общества Карла Поппера является ключевым элементом для развития и функционирования открытого общества. Образование, основанное на критической рациональности, доступности и инклюзивности, научном подходе и развитии активных гражданских навыков, способствует развитию интеллектуального потенциала людей, стимулирует прогресс и содействует преодолению вызовов и проблем современного мира.

Заключение

В данной статье мы рассмотрели феномен образования в контексте теории открытого общества Карла Поппера. Образование играет ключевую роль в развитии и функционировании открытого общества, которое стремится к непрерывному прогрессу, критической рациональности и свободному обмену идеями.

Мы отметили, что образование в открытом обществе должно быть основано на принципах критического мышления, доступности и инклюзивности. Развитие у людей навыков критического мышления, анализа информации и способности задавать вопросы помогает им стать активными участниками общества и вносить конструктивный вклад в его развитие.

Также мы подчеркнули важность научного подхода в образовании. Формулирование гипотез, экспериментальная проверка и открытость для рациональной дискуссии способствуют развитию новых идей и инноваций, а также формированию общества, основанного на фактах и доказательствах.

Кроме того, мы обратили внимание на значимость доступности и инклюзивности образования. Все люди должны иметь равные возможности получить качественное образование, чтобы устранить неравенство и создать условия для полной реализации потенциала каждого индивидуума.

В целом, феномен образования в контексте теории открытого общества Карла Поппера является основой для развития и прогресса общества. Образование, основанное на критическом мышлении, научном подходе и инклюзивности, способствует формированию активных граждан, способных к саморазвитию и принятию информированных решений. Оно играет важную роль в создании открытого и прогрессивного общества, способного справиться с вызовами и проблемами нашего времени.

Использованная литература:

1. Каримов Р.Р., Бекбаев Р.Р. Значение философского образования в прогрессивном общественном развитии // Вопросы науки и образования. – 2020. – №3(87). – С.39-43.
2. Поппер К. Открытое общество и его враги. Том 1: Чары Платона. – Москва: Феникс, 1992. – 448 с.
3. Поппер К. Открытое общество и его враги. Том 2: Время лжепророков: Гегель, Маркс и другие оракулы. – Москва: Феникс, 1992. – 528 с.

THE BEHAVIOR OF FUNCTIONALIZED CARBON NANOTUBES IN WATER

Shakhrizoda Matnazarova^{1,2}, Maksudbek Baydjanov³, Maksudbek Yusupov^{1,3,4} and Umedjon Khalilov^{1,3,4}, Rakhimova Yayra²

¹Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, Uzbekistan

²National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

³Tashkent International University of Education, Tashkent, Uzbekistan

⁴National Research University TIAME, Tashkent, Uzbekistan

E-mail: shakhrizodamatnazarova300@gmail.com, m.baydjanov@tiue.uz, maksudbek.yusupov@outlook.com, umedjon.khalilov@outlook.com, yayra@yandex.ru

Abstract. Due to the cytotoxicity of carbon nanotubes (CNTs), there is an increasing need for functionalized CNTs (fCNTs) nowadays. Although a number of studies have been conducted to investigate the cytotoxic effects of fCNTs, their behavior in an aqueous medium has not been sufficiently studied. In this simulation-based research, the atomic level mechanisms of the interaction of pristine (non-functionalized) and fCNTs with water molecules were studied. The computational results showed that an increase in the number of functional groups in fCNT leads to an increase in its interaction energy with the water environment. This, in turn, results in a decrease in the cytotoxicity of fCNT. Overall, the results of the study contribute to the understanding at the molecular level of the transport and delivery of biological drugs using CNTs in the field of biomedicine.

Keywords: *single wall carbon nanotubes, functional groups, binding energy, water environment, interaction energy, molecular dynamics.*

Introduction

Carbon nanostructures are widely used in various fields as promising materials due to their unique physical, chemical and biological properties [1]. Especially, carbon nanotubes (CNTs) among them, are rapidly used in many fields due to their excellent electrical and mechanical properties [2]. In particular, they have been used in the field of biomedicine in the transport and delivery of biological drugs and as biosensors [3-7]. CNTs are used as membrane channels in cells, and they have shown excellent transport properties for DNA and other drug delivery across the cell membrane [8-11]. Especially, in cancer treatment, CNTs are considered as promising carriers [12] since they reduce harmful effects of therapy, i.e., drug toxicity [12-15], and deliver more drugs to the place where the tumor is located [16]. This, in turn, helps to reduce the damage to the healthy tissues of patients.

Pristine or non-functionalized CNTs are hydrophobic and tend to aggregate [17] in aqueous solutions due to their insolubility in water [18, 19]. The hydrophobicity of the surface of the aggregated CNTs leads them to chemically bind nutrients necessary for cell growth in a specific way and, as a result, has an indirect cytotoxic effect on cells (i.e., cell damage and death) [20]. In particular, it was observed that the cases of poisoning due to pristine CNTs in the lungs increased, as observed in experiments conducted with test animals [21, 22]. This limits the practical use of pristine CNTs in biomedicine and makes it necessary to reduce their toxicity by increasing their solubility in an aqueous environment.

An effective way to reduce the toxicity of CNTs is to add biocompatible organic materials to the surface of pristine CNTs, that is, to bind water-soluble functional radicals to them. In particular, experiments conducted using CNTs functionalized with formic acid (-CO₂H) radical (i.e., carboxylated CNTs) showed that these CNTs do not have a cytotoxic effect [23]. In addition, in many studies, it was found that the solubility of nanotubes increases significantly after their modification by functionalized groups [24-30]. In particular, quantum mechanical calculations showed that an increase in the number of functional groups on the surface of carboxylated single-walled CNT (SWNT) leads to an increase in the Gibbs free energy of solvation and dipole moment of SWNT [28], meaning that the solubility of SWNT in water increased [28].

The molecular dynamics (MD) simulation-based study showed that the diffusion coefficient of carboxylated SWNT in water was lower than that of pristine SWNT (pSWNT), indicating that the hydrophilicity of SWNT increased [31]. Note that, in the above-mentioned computational studies, SWNTs with finite lengths (≤ 11 Å) and terminated edges with hydrogen atoms were chosen as model systems, that is, their physicochemical properties differ from those of sufficiently long SWNTs obtained by experimental

observations. In addition, the molecular-level mechanisms related to the diffusion of functionalized SWNT (fSWNT) have not been studied sufficiently in these investigations.

Based on the above considerations, in this study, the atomic level mechanisms of the interaction of pristine and functionalized (with different levels of formic acid radicals) SWNTs with the water environment are studied using reactive MD simulations.

Simulation details

Reactive MD simulations are performed using the ReaxFF potential to investigate the interaction mechanisms of pSWNT and fSWNT with water at the atomic level [32]. Using ReaxFF, MD simulations have been performed on various model systems, including water [33], CNT [34], etc. In our study, the parameter set of the ReaxFF developed by Zou et al. [35] is used. It has been shown that this set of parameters can describe SWNT very well (i.e., accurately and reliably) [34]. This parameter set can also describe accurately the water environment [33].

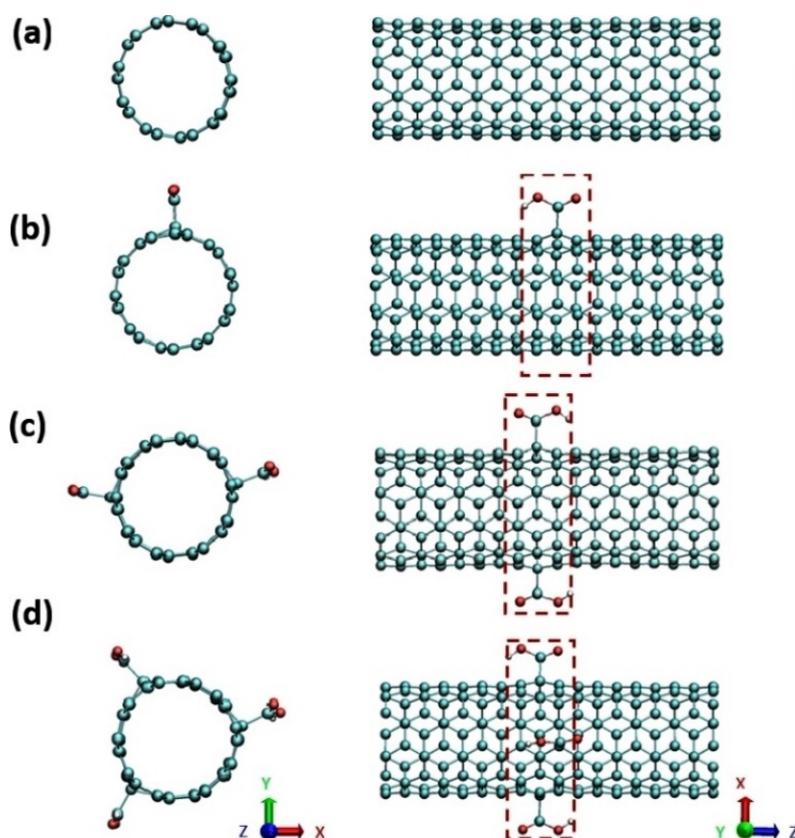


Fig. 1. Top (left) and side (right) views of pristine (a) and functionalized SWNTs with one (b), two (c) and three (d) formic acid (-CO₂H) radicals. The red dashed rectangles show the areas where the functional groups are located in SWNT.

As a model system, a pSWNT with (5,5) chirality, length of 22 Å, and diameter of 6.8 Å is created using the Nanotube Modeler software (Fig. 1(a)). To form fSWNT, one, two, and three formic acid (-CO₂H) radicals are covalently bonded to the surface of pSWNT (Fig. 1(b-d)). These functional groups are connected to the middle areas of pSWNT in the direction of the z-axis. Subsequently, these four model systems are surrounded by water molecules. Thus, pSWNT and fSWNT together with surrounding water molecules are placed in a simulation box with a size of 22 × 22 × 22.68 Å³. Periodic boundary conditions are applied along the three directions of the simulation box: this allows the SWNTs to be considered long enough to mimic the experimental studies. Initially, the energy of the model systems is minimized using the conjugate gradient method. Then, the temperature of the systems is gradually heated up to 310 K (with a heating rate of 1 K/ps) using the NpT ensemble under a pressure of 1 atm for 0.31 ns. To control the temperature and pressure of the system the Berendsen thermostat and barostat are applied with corresponding dumping constants of 0.1 and 5 ps, respectively [36]. Subsequently, the temperature of the

model systems is kept for 1 ns using the Berendsen thermostat-barostat in the NpT ensemble. A time step of 0.25 fs is chosen in all MD simulations.

Results and discussion. In order to evaluate the interaction of hydrophilic functional groups with nanotubes, the binding energy E_b of these groups to the surface of SWNT is determined as follows:

$$E_b = E_{SWNT-(CO_2H)_n} - (E_{SWNT} + E_{(CO_2H)_n}) \quad (1)$$

where, n is the number of functional groups ($n = 1 - 3$), $E_{SWNT-(CO_2H)_n}$ is the potential energy (eV) of the system consisting of SWNT and functional group(s), E_{SWNT} and $E_{(CO_2H)_n}$ are the potential energies (eV) of pSWNT and functional group(s), respectively. Using the formula (1), the binding energy of $-CO_2H$ radical(s) to the surface of SWNT is calculated for vacuum and aqueous media (see Table 1).

Table 1.
The binding energy of $-CO_2H$ radical(s) to the surface of SWNT in a vacuum and water environment. The values given in parentheses are the binding energy corresponding to one $-CO_2H$ radical.

Number of $-CO_2H$ radicals	Binding energy (eV)	
	In vacuum	In water
1	-4.56	-4.58
2	-9.12 (-4.56)	-9.16 (-4.58)
3	-13.62 (-4.54)	-13.74 (-4.58)

It can be seen from the table that in both vacuum and water cases, the binding energy corresponding to one radical is nearly unchanged with an increase in the number of radicals. Namely, the binding energy corresponding to one radical in a vacuum environment is equal to -4.56, -4.56 and -4.54 eV for SWNTs with one, two and three functional groups, respectively, while in the aqueous environment, this value is -4.58 eV for all cases. Previous quantum mechanical calculation results showed that the increase in the number of radicals on the surface of SWNT leads to a decrease in their binding energy to SWNT (i.e., weakening of the bond) [28]. The difference between the results of this work and the quantum-mechanical calculations can be explained by the size of the SWNT and the hydrogen-based termination of its edges. In other words, in quantum-mechanical studies, a model structure of SWNT with a finite length of 8.65 Å was selected, and the edges of the nanotube were completely terminated with hydrogen atoms. The interaction of these hydrogen atoms with the functional groups in SWNT through non-bonding (i.e. Van der Waals and Coulomb) forces can affect the binding energy of these groups with SWNT. In our research, the absence of hydrogen atoms in the structure of SWNT eliminates the possibility of their interaction with functional groups, and therefore, the binding energy does not change (see Table 1). In addition, the long enough length (~22 Å) of SWNT prevents them from interacting with functional groups even if there are hydrogen atoms on its edges (i.e., hydrogen atoms and functional groups are outside the cut-off radius of interactions, i.e., 10 Å). Indeed, our test simulations with long enough (~22 Å) SWNT structures terminated with hydrogen atoms fully confirmed our above hypothesis. Namely, the binding energy corresponding to a single radical in a vacuum environment is equal to -4.61, -4.62 and -4.59 eV for terminated SWNTs with one, two and three functional groups, respectively.

In order to analyse the geometrical and electronic changes that can lead to better solubility of functionalized nanotubes, one can focus on their dipole moment. Determining the dipole moment of a given molecule can estimate its solubility in a solvent. The average dipole moments of pSWNT and fSWNT with one, two and three formic acid radicals are shown in Fig. 2.

It is obvious that the average dipole moment of pSWNT is almost 0 D, and this indicates that pSWNT is insoluble in polar solvents such as water [28]. The main reason for this is that the partial charges of carbon atoms of pSWNT are almost zero. On the other hand, the average dipole moment of fSWNT significantly increases compared to that of pSWNT. In particular, the average dipole moments of pSWNT and fSWNT with one, two and three $-CO_2H$ radicals are 0.001, 3.793, 1.946 and 1.541 D, respectively. A decrease in the average dipole moment with an increase in the number of functional groups can be explained by the fact that the dipole moments of the functional groups remain in opposite directions, thereby attenuating each other. In general, the functionalization of SWNT with $-CO_2H$ radicals increases its dipole moment and this, in turn, can change its interaction with a polar solvent such as water.

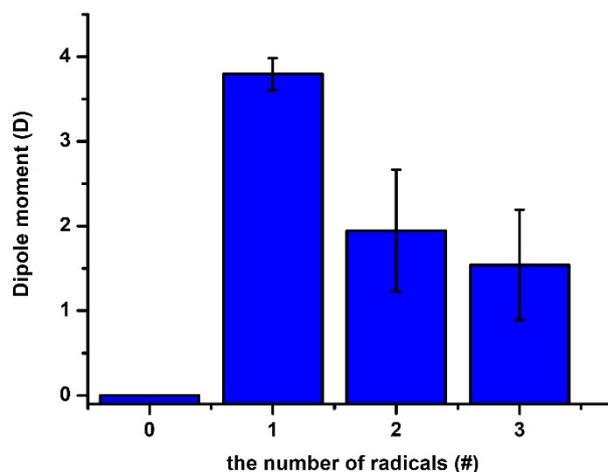


Fig. 2. The average dipole moments of pSWNT and fSWNT with one, two and three formic acid radicals.

Table 2 shows the interaction energies of pSWNT and fSWNTs with water molecules. It should be noted that these energies are calculated in the same way as the binding energy given in formula (1). In other words, the interaction energy between fSWNT and water is determined by subtracting the sum of the separately calculated potential energies of fSWNT and the water environment from the total potential energy of the aqueous system.

Table 2.

The interaction energies of pSWNT and fSWNTs with water molecules.

Nanotube	Interaction energy (eV)	Number of atoms in the system	Energy per atom of the system (eV)
SWNT	-6.13	180	-3.41×10^{-2}
SWNT-CO ₂ H	-6.46	184	-3.51×10^{-2}
SWNT-(CO ₂ H) ₂	-7.44	188	-3.96×10^{-2}
SWNT-(CO ₂ H) ₃	-8.72	192	-4.54×10^{-2}

Table 2 shows that the interaction energy between pSWNT and water molecules is equal to -6.13 eV, and this energy increases with the increase in the number of functional groups in fSWNT. In particular, this energy is -6.46 eV, -7.44 eV and -8.72 eV for fSWNTs with one, two and three radicals, respectively. Also, the table indicates that the average values of these interaction energies per atom of the system increase with the increase in the number of functional radicals in fSWNT. Namely, the interaction energies of pSWNT and fSWNT with one, two, three radicals are -3.41×10^{-2} and -3.51×10^{-2} , -3.96×10^{-2} , -4.54×10^{-2} , respectively. Due to the increase in the interaction energies, the attraction of water molecules to the surface of the SWNT may hinder the movement of fSWNT in water and cause a decrease in its diffusion coefficient. Therefore, these results are in full agreement with the previous MD results [31] obtained on the diffusion of fSWNT in water and help us to understand the behavior of fSWNT in the water environment. In general, the functionalization of a nanotube with -CO₂H radicals increases its dipole moment, thereby leading to an increase in its solubility eventually reducing its toxicity.

Conclusions

In this MD-based research work, the mechanisms of the interaction of pSWNT and fSWNT with the water environment were investigated at the atomic level. The results obtained showed that the binding energy corresponding to one functional group in SWNT in a vacuum and in an aqueous medium remained practically unchanged with an increase in the number of functional groups. This phenomenon was explained by the long length of SWNT and the termination degree of its edges. Simulation results also showed that the fSWNT dipole moment is inversely proportional to the number of functionalized groups, while in pSWNT it is almost zero. Moreover, obtained interaction energy per atom in SWNT increases with the

increase in the number of functional radicals. Hence, the increased interaction between fSWNT and water molecules improves the solubility of fSWNT, thereby leading to a decrease in its cytotoxicity.

Acknowledgment

This research work was carried out within the framework of the fundamental project F-FA-2021-512 funded by the Agency for Innovative Development of the Republic of Uzbekistan. Simulations were carried out using the FISTUZ supercomputer cluster of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of the Academy of Sciences of Uzbekistan.

References

1. N.S. Kasálková et al., Carbon nanostructures, nanolayers, and their composites, *J. Nanomater.* 11, 2021, 9, 2368.
2. G. Rahman et al., An Overview Of The Recent Progress In The Synthesis And Applications Of Carbon Nanotubes, *C–Journal of Carbon Research* 5, 2019, 1, 3.
3. X. Liu et al., Understanding the interaction of single-walled carbon nanotube (SWCNT) on estrogen receptor: A combined molecular dynamics and experimental study, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 172, 2019, 373.
4. F. Zamani et al., In “Nanostructures for Drug Delivery”, Elsevier 2017, 239.
5. M. Kamel et al., Assessment of the adsorption mechanism of Flutamide anticancer drug on the functionalized single-walled carbon nanotube surface as a drug delivery vehicle: An alternative theoretical approach based on DFT and MD, *Appl. Surf. Sci.* 434, (2018), 492.
6. M. Sheikhi et al., Adsorption properties of the molecule resveratrol on CNT (8, 0–10) nanotube: geometry optimization, molecular structure, spectroscopic (NMR, UV/Vis, excited state), FMO, MEP and HOMO-LUMO investigations, *J. Mol. Struct.* 1160, 2018, 479.
7. M. Lotfi et al., Comprehensive quantum chemical insight into the mechanistic understanding of the surface functionalization of carbon nanotube as a nanocarrier with cladribine anticancer drug, *Appl. Surf. Sci.* 462, 2018, 720.
8. H. Liu et al., Translocation of Single-Stranded DNA Through Single-Walled Carbon Nanotubes, *Science* 327, 2010, 5961, 64.
9. Ch.Y. Lee et al., Coherence resonance in a single-walled carbon nanotube ion channel, *Science* 329, 2010, 5997, 1320.
10. J. Geng et al., Stochastic transport through carbon nanotubes in lipid bilayers and live cell membranes, *Nature* 514, 2014, 612.
11. L. Liang et al., DNA fragment translocation through the lipid membrane assisted by carbon nanotube, *Int. J. Pharm.* 574, 2020, 118921.
12. X. Yang et al., Multi-functionalized single-walled carbon nanotubes as tumor cell targeting biological transporters, *J Nanopart Res* 10, 2008, 815.
13. A. De La Zerda et al., Carbon nanotubes as photoacoustic molecular imaging agents in living mice, *Nature Nanotech* 3, 2008, 557.
14. N.W. Shi Kam et al., Nanotube molecular transporters: internalization of carbon nanotube– protein conjugates into mammalian cells, *J. Am. Chem. Soc.* 126, 2004, 22, 6850.
15. D.B. Warheit et al., Comparative Pulmonary Toxicity Assessment of Single-wall Carbon Nanotubes in Rats, *J. Toxicol. Sci.* 77, 2004, 1, 117.
16. K.R. Karnati et al., Understanding the co-loading and releasing of doxorubicin and paclitaxel using chitosan functionalized single-walled carbon nanotubes by molecular dynamics simulations, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 20, 2018, 14, 9389.
17. B. Koh et al., Mechanisms of Carbon Nanotube Aggregation and the Reversion of Carbon Nanotube Aggregates in Aqueous Medium, *J. Am. Chem. Soc.* 30, 2014, 36, 10899.
18. W.A. Scrivens et al., Potent solvents for C60 and their utility for the rapid acquisition of ¹³C NMR data for fullerenes, *Chem. Commun.* 15, 1993, 1207.
19. R.S. Ruoff et al., Solubility of fullerene (C60) in a variety of solvents, *J. Phys. Chem.* 97, 1993, 3379.
20. A. Casey, Single walled carbon nanotubes induce indirect cytotoxicity by medium depletion in A549 lung cells, *Toxicol. Lett.* 179, 2008, 2, 78.
21. A.A. Shvedova et al., Mechanisms of pulmonary toxicity and medical applications of carbon nanotubes: Two faces of Janus?, *Pharmacol. Ther.* 121, 2009, 192.

22. C.W. Lam et al., Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90days after intratracheal instillation, *J. Toxicol. Sci.* 77, 2004, 126.
23. R. Wang et al., Cytotoxicity screening of single-walled carbon nanotubes: detection and removal of cytotoxic contaminants from carboxylated carbon nanotubes, *Mol. Pharm.* 8, 2011, 4, 1351.
24. R. Singh et al., Binding and condensation of plasmid DNA onto functionalized carbon nanotubes: toward the construction of nanotube-based gene delivery vectors, *JACS* 127, 2005, 12, 4388.
25. A. Bianco et al., Biomedical applications of functionalised carbon nanotubes, *Chem. Commun* 5, 2005, 571.
26. M. Prato et al., Functionalized carbon nanotubes in drug design and discovery, *Acc. Chem. Res.* 41, 2008, 1, 60.
27. N.W.S. Kam et al., Carbon nanotubes as intracellular protein transporters: generality and biological functionality, *JACS* 127, 2005, 16, 6021.
28. M. Mananghaya et al., Theoretical investigation of the solubilization of COOH-functionalized single wall carbon nanotubes in water, *J. Mol. Liq.* 215, 2016, 780.
29. K.K. Jain, Advances in use of functionalized carbon nano-tubes for drug design and discovery, *Expert Opin Drug Discov.* 7, 2012, 11, 1029.
30. A.R. Kiran et al., Carbon nanotubes in drug delivery: Focus on anticancer therapies, *J. Drug Deliv. Sci Technol.* 59, 2020, 101892.
31. S. Lokavee et al., Molecular Dynamics Simulation of Bi-Carboxyl Sidewall Functionalized Single-wall Carbon Nanotubes in Water, *Adv. Mat. Res.* 1131, 2016, 106.
32. A. C. T. van Duin et al., ReaxFF: a reactive force field for hydrocarbons, *J. Phys. Chem. A* 105, 2001, 9396.
33. M. Yusupov et al., Reactive molecular dynamics simulations of oxygen species in a liquid water layer of interest for plasma medicine, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 47, 2014, 025205.
34. U. Khalilov et al., Molecular evidence for feedstock-dependent nucleation mechanisms of CNTs, *Nanoscale Horiz.* 4, 2019, 674.
35. C. Zou et al., Molecular Dynamics Simulations of the Effects of Vacancies on Nickel Self-Diffusion, Oxygen Diffusion and Oxidation Initiation in Nickel, Using the ReaxFF Reactive Force Field, *Acta Mater.* 83, 2015, 102.
36. H.J.C. Berendsen et al., Molecular dynamics with coupling to an external bath, *J. Chem. Phys.* 81, 1984, 8, 3684.
37. R.A. Bell et al., Does water dope carbon nanotubes?, *J. Chem. Phys.* 141, 2014, 16, 164703.

AGGREGATION MECHANISMS OF 1-NM DIAMETER NiO NANOCCLUSERS

Ibrat Urunov^{1,2}, Fakhridin Safarov¹, Feruz Khaydarov¹, Islomjon Juraev¹, Kamoliddin Egamberdiev¹, Maksudbek Yusupov^{1,3,4} and Umedjon Khalilov^{1,3,4}

¹Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Tashkent, Uzbekistan

²National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

³Tashkent International University of Education, Tashkent, Uzbekistan

⁴National Research University TIAME, Tashkent, Uzbekistan

E-mail: ibraturunov@gmail.com, fakhmsafarov@gmail.com, maksudbek.yusupov@outlook.com, umedjon.khalilov@outlook.com

Abstract. The aggregation processes of NiO nanoparticles have been studied to some extent in ideal environments, i.e., gas and aqueous solutions, but their interaction mechanisms between aqueous media and nanoclusters are still not fully understood. In this work, the environmental effect on the aggregation process of NiO nanoclusters with a size of about 1 nm has been studied using molecular dynamics simulations. Obtained results show that (1) nanoclusters are located at a longer distance from each other in aqueous media in comparison to vacuum due to the hydrodynamic shell (with a thickness of 0.08 nm) formed around the NiO nanoaggregates affected by the aqueous environment, and (2) the stability of NiO nanoclusters in the water environment decreases as a result of the formation of the hydrodynamic shell. Overall, these results suggest that a better understanding of the tuning of nanocatalyst size will lead to the selective synthesis of nanomaterials with unique properties, which are the basis of nanotechnology.

Keywords: *nickel oxide nanocluster, aggregation, stability, reactive molecular dynamics, hydrodynamic shell.*

Introduction

Currently, nanomaterials, especially, nanoparticles with unique mechanical, optical and electronic properties, which are fundamentally different from the properties of micro-sized particles, are of great importance in modern nanotechnology [1-3]. In particular, in current nanotechnology, one of the priority tasks is to obtain nanoparticles that can replace expensive metal (such as Au, Ag, and Pt) nanoparticles and their industrial application [4].

One such nanoparticle is nickel oxide (NiO) nanoparticles, which are widely used nowadays in creating catalysts [7, 8], solar panels [9], gas sensors [10, 11], and high-thermal-conductivity nanofluids [12] due to their wide bandgap (3.6–4.0 eV) [5, 6] and photocatalytic properties [13], as well as their low cost [14]. In this respect, their homogeneity and monodispersity are key factors for the aforementioned applications [15].

Several experimental studies reported that the aggregation of NiO nanoparticles, followed by their synthesis, significantly affects the surface-related properties of the nanoparticles, thereby leading to a considerable reduction of their catalytic activity [16,17]. In particular, in the sol-gel method, a high calcination temperature of 1073 K is generally required for the synthesis of homogeneous NiO nanoparticles [18,19]. However, temperatures higher than the optimum result in a drastic increase in the rate of nanoparticle aggregation, causing the formation of large-sized NiO nanoparticles [16-20]. In addition, controlling the size of nanoparticles in different environments [10], interpreting the mechanisms of diffusion phenomena [21] that occur due to the interaction of nanoparticles with the molecules of the environment, as well as increasing the heat transfer efficiency of nanofluids [22], the study of processes of nanoparticle aggregation is of fundamental importance [23].

Although the aggregation processes of NiO nanoparticles have been partially studied in ideal environments (i.e., in gas and liquid media) [24-27], their characteristics in the liquid environment have not been sufficiently studied at the molecular level [28,29]. In particular, while the heat transfer property of nanofluid is improved due to the increase in the concentrations of NiO nanoparticles [12], the increase in the concentration of nanoparticles above the limit (e.g., 0.6% mass fraction [30]) leads to the formation of nano-aggregates in a nanofluid. As a result, the sedimentation of nanoparticles (i.e., a layer) occurs, and "solid-liquid" phases emerge in the nanoparticle solution [31]. This leads to a change in the state of the nanoparticle solution and a deterioration in the heat dissipation properties of the nanoparticle solution [32,33]. To determine the size of nano-aggregates using transmission electron microscopy (TEM) in a liquid

environment, the sample needs to be kept at a very low temperature. Because such experimental conditions affect the processes of interaction between the environment and nanoparticles, it remains difficult to create a complete scientific picture of the basic mechanisms of the interaction of nano-aggregates in the environment [34,35]. Therefore, in this study, the influence of the water environment on the process of aggregation of NiO nanoclusters at room temperature is investigated by computer simulations.

Simulation details

Reactive molecular dynamics (MD) simulations are performed to study the aggregation processes of NiO nanoparticles. In the MD simulations, the position and velocity of each atom in the thermodynamic system are determined by solving Newton's equations of motion. In the simulations, the interaction between Ni and O atoms in the system is described using the ReaxFF potential, which is based on the parameters developed by Zou and others [36].

As model systems, Ni₅₅O₅₅ nanoclusters with a diameter of about 1.15 nm are used. The size of these nanoclusters is close to the experimentally reported size of 1.48 nm [37] and other MD results, i.e., 1.30 nm [38]. To study the effect of the medium on the aggregation of Ni and NiO nanoclusters, simulations are carried out in a vacuum and water. The structural, static and dynamic parameters of the water model selected as the environment in the simulations are consistent with the theoretical and experimental values [39]. In particular, the length of the chemical bond between hydrogen and oxygen atoms in the water environment is 0.098 nm and the H-O-H bond angle is 104.50, which correspond to the experimentally [40] and theoretically [41, 42] obtained results. In a vacuum, the thermodynamic system consists of two Ni₅₅O₅₅ nanoclusters (220 atoms in total), and in a water environment, the system contains two Ni₅₅O₅₅ nanoclusters and 2055 water molecules (6385 atoms in total) (Fig. 1). Before the simulations, two NiO nanoclusters are placed at the same distance (1.56 nm) from each other in both environments.

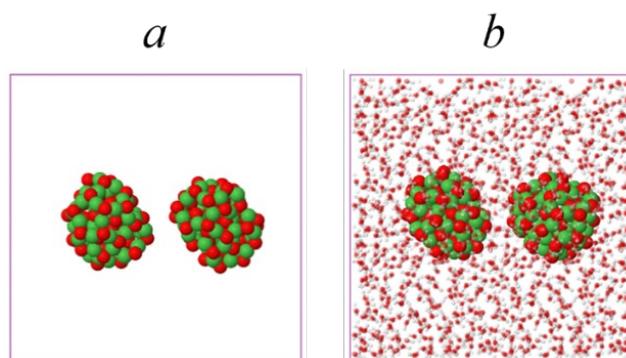


Fig. 1. NiO nanoclusters in vacuum (a) and water (b) environments. Here, Ni, O, and H atoms are shown in green, red, and white colors, respectively.

The size of the simulation box is $4 \times 4 \times 4 \text{ nm}^3$. Taking into account the interaction radius of atoms with each other, $r_{\text{cut}} = 1 \text{ nm}$ [35], the dimensions of the simulation box are chosen sufficiently large ($>2r_{\text{cut}}$). Periodic boundary conditions are applied along all directions of the simulation space. The energy of the model system is initially minimized using the steepest descent and conjugate gradient methods. Then, the system is heated up to 300 K with a heating rate of 1 K/ps employing the Nose-Hoover thermostat [43] in the NVT ensemble and kept at this temperature for 2 ns. In all simulations, a time step of 0.5 fs is chosen. The stability of NiO nanoparticles is estimated by the molar Gibbs free energy (δG) [44]:

$$\delta G = E_{\text{coh}} - \sum \chi_i \mu_i \quad (1)$$

where E_{coh} is the cohesive energy per atom of the system, χ_i and μ_i are the ratio of the concentration of type i atoms in the system to the concentration of total atoms in the system, and chemical potential of type i atom, which is equal to -4.45 eV and -2.8 eV for Ni and O atoms, respectively [44].

Results and discussion

The approach of NiO nanoclusters in vacuum and aqueous media is evaluated by the distance between the surfaces of the nanoclusters. Fig. 2a demonstrates a dependence of the distance between the surfaces of nanoclusters as a function of simulation time.

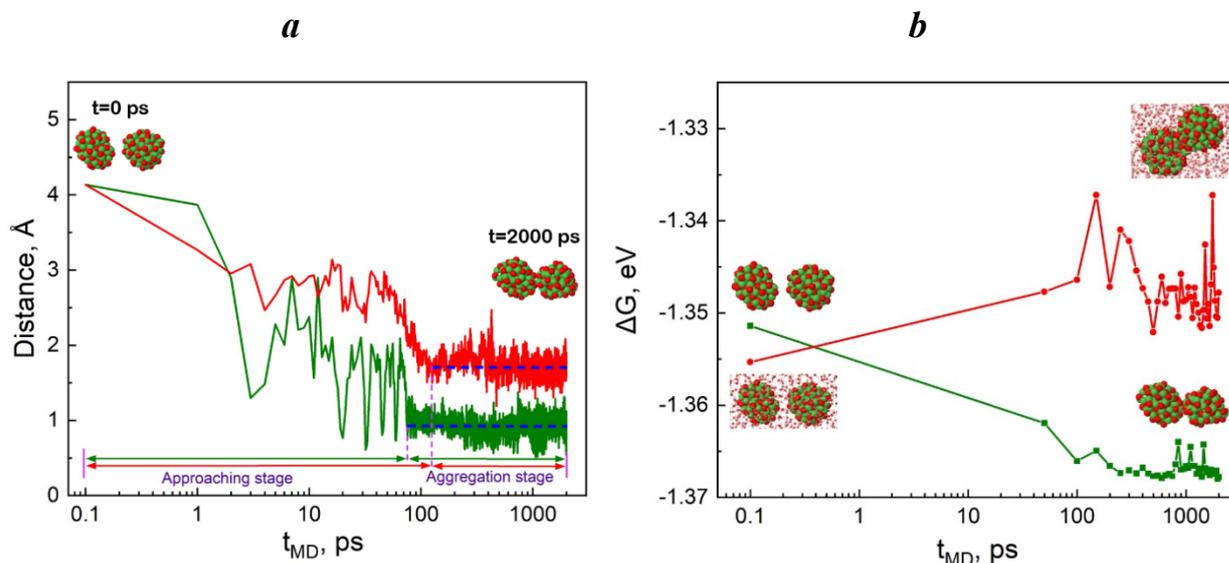


Fig. 2. (a) Time dependence of the average distance between the surfaces of NiO nanoclusters in vacuum (green) and water (red), and (b) molar Gibbs free energy of the system.

The aggregation process of NiO nanoclusters can be analyzed by dividing it into two stages: (i) “the approach” and (ii) “aggregation” stages. In the first stage, the average distance between nanocluster surfaces continues to decrease over time. However, in the second stage, the average distance between nanocluster borders remains constant throughout the simulation time. In a vacuum, the first and second stages proceed for 74 ps (0–74 ps) and 1926 ps (74–2000 ps), whereas in a water environment, these stages last for 125 ps (0–125 ps) and 1875 ps (125–2000 ps), respectively. As is clear, the process of nanocluster aggregation occurs with a delay of 51 ps in water compared to vacuum. This phenomenon can be explained by a decrease in the diffusion coefficient of NiO nanoclusters in an aqueous medium, according to the Stokes-Einstein rule [46], due to an increase in the viscosity of the “nanocluster-aqueous medium” system [45]. The average distance between nanocluster borders is initially ($t = 0$ ps) equal to 0.41 nm in both vacuum and aqueous environments. In the first stage, this distance decreases sharply to approximately 0.09 nm in a vacuum and 0.17 nm in a water environment, which indicates that NiO nanoclusters are located a little far from each other in an aqueous environment compared to a vacuum.

The results also show that the thickness of the layer formed between the surface of NiO nanoclusters and the liquid phase is about 0.08 nm. Experimental studies conducted by Yu and others [47, 48] reported the formation of a hydrodynamic shell around the nanoclusters in an aqueous solution, with a maximum size of 0.1 nm. Hence, the simulation results are consistent with these experimental outcomes.

The molar Gibbs free energy (see formula (1)) is used to evaluate the stability of the nanoaggregates [26]. In particular, Fig. 2b shows the molar Gibbs free energies over time for NiO nanoclusters in vacuum and water. The results indicate that in a vacuum, the initial value of the molar Gibbs free energy of NiO nanoclusters (-1.351 eV) decreases slowly during the approaching stage, while during the aggregation stage, the energy remains almost constant at around -1.367 eV. In the case of a water environment, different results are obtained compared to the case of a vacuum. In particular, the molar Gibbs free energy of the nanoclusters in water initially starts at the smallest value of -1.355 eV and gradually increases up to a constant value of -1.35 eV. The obtained results suggest that the interaction between the nanoaggregate and water leads to a decrease in its stability compared to that in a vacuum. Although Y. Zang et al. reported that the aggregation of various metal oxide nanoparticles in an aqueous medium is more stable than in a vacuum [49], data on the aggregation of exactly NiO nanoparticles are not found in the literature. The fact that our results on NiO nanoparticles do not correspond to the results of experimental studies on the stability of other nanoclusters in aqueous media can be explained by the fact that the nanoclusters have a relatively

small size. Specifically, the size of the NiO nanoclusters in this study is relatively small (approximately 10–20 times smaller) than the size of the nanoparticles studied in experimental measurements [47], which suggests that their stability may also be reduced due to a decrease in the size of the cluster in a water environment, by the results reported in other studies [50]. Based on the abovementioned considerations, our results suggest that the stability of the nanoaggregates formed as a result of the aggregation of small (1.15 nm in size) NiO nanoclusters in an aqueous environment is decreased due to the formation of a hydrodynamic shell [45, 46].

Conclusions

In this work, the mechanisms of the aggregation process of NiO nanoclusters were studied by the reactive molecular dynamics (MD) method. The results showed that due to the formation of a hydrodynamic shell between NiO nanoclusters with a thickness of about 0.08 nm in the aqueous environment, the nanoclusters are located at a greater distance from each other than in a vacuum. This distance is consistent with the experimental thickness, and the obtained results help to better understand the formation mechanisms of the hydrodynamic shell on the aggregation process. In addition, the decrease in the stability of NiO nanoclusters in the water environment as a result of the formation of a hydrodynamic shell was evaluated by the molar Gibbs free energy. Also, this phenomenon does not correspond to experimental evidence, the results of the simulations can be interpreted as a decrease in the size of the nanoclusters, which has not been experimentally studied. Overall, this study helps to understand the nature of the aggregation of NiO nanoclusters with a diameter of around 1 nm at the atomic level and gives suggestions about the control of the monodispersity of nanocatalysts.

Acknowledgment

This research work was carried out within the framework of the fundamental project F-FA-2021-512 funded by the Agency for Innovative Development of the Republic of Uzbekistan. Simulations were carried out using the FISTUz supercomputer cluster of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of the Academy of Sciences of Uzbekistan.

References

- Z. Lu and Y. Yin, Colloidal Nanoparticle Clusters: Functional Materials by Design, *Chem. Soc. Rev.* 2012, 41, 6874.
- Huang, He, et al. Colloidal Lead Halide Perovskite Nanocrystals: Synthesis, Optical Properties and Applications, *NPG Asia Mater.* 2016, 8, e328.
- Hu, Jiangtao, et al. Controlled Growth and Electrical Properties of Heterojunctions of Carbon Nanotubes and Silicon Nanowires, *Nature* 1999, 399, 48.
- Jin, Rongchao, et al. Atomically Precise Colloidal Metal Nanoclusters and Nanoparticles: Fundamentals and Opportunities, *Chem. Rev.* 2016, 116, 10346.
- Swagten, H. J. M., et al. Enhanced Giant Magnetoresistance in Spin-Valves Sandwiched between Insulating NiO, *Phys. Rev.* 1996, B 53, 9108.
- Yang, Huaming, et al. Solid-State Synthesis and Electrochemical Property of SnO₂/NiO Nanomaterials, *J. Alloys Compd.* 2008, 459, 98.
- Harraz, F. A., et al. Composition and Phase Control of Ni/NiO Nanoparticles for Photocatalytic Degradation of EDTA, *J. Alloys Compd.* 2010, 508, 133.
- Hayat, Khizar, et al. Effect of Operational Key Parameters on Photocatalytic Degradation of Phenol Using Nano Nickel Oxide Synthesized by Sol–Gel Method, *J. Mol. Catal. Chem.* 2011, 336, 64.
- J. Bandara and J. P. Yasomane, P-Type Oxide Semiconductors as Hole Collectors in Dye-Sensitized Solid-State Solar Cells, *Semicond. Sci. Technol.* 2006, 22, 20.
- A. Aslani, V. Oroojpour, and M. Fallahi, Sonochemical Synthesis, Size Controlling and Gas Sensing Properties of NiO Nanoparticles, *Appl. Surf. Sci.* 2011, 257, 4056.
- Liu, Bin, et al. Synthesis and Enhanced Gas-Sensing Properties of Ultralong NiO Nanowires Assembled with NiO Nanocrystals, *Sens. Actuators B Chem.* 2011, 156, 251.
- Chen, Zhixiong, et al. Evaluation of Thermal Conductivity of Deionized Water Containing SDS-Coated NiO Nanoparticles under the Influences of Constant and Alternative Varied Magnetic Fields, *Powder Technol.* 2020, 367, 143.

- Akbari, A. et al. Effect of nickel oxide nanoparticles as a photocatalyst in dyes degradation and evaluation of effective parameters in their removal from aqueous environments, *Inorg. Chem. Commun.* 2020, 115, 107867.
- Dey, S. and Mehta, N. S. Oxidation of carbon monoxide over various nickel oxide catalysts in different conditions, A review. *Chem. Eng. J. Adv.* 2020, 1, 100008.
- Lang, Fengpei, et al. Improved Size-Tunable Synthesis of Monodisperse NiO Nanoparticles, *Mater. Lett.* 2016, 181, 328.
- Han, D. Y., et al. Synthesis and Size Control of NiO Nanoparticles by Water-in-Oil Microemulsion, *Powder Technol.* 2004, 147, 113.
- Du, Yu, et al. Preparation of NiO Nanoparticles in Microemulsion and Its Gas Sensing Performance, *Mater. Lett.* 2012, 68, 168.
- Mateos, D., et al. Synthesis of High Purity Nickel Oxide by a Modified Sol-Gel Method, *Ceram. Int.* 2019, 45, 11403.
- K. P. Raj, V. Thangaraj, and A. P. Uthirakumar, Synthetic Routes to Nickel Oxide Nanoparticles-an Overview, *Chemistry* 1990, 1980, 6.
- N. N. M. Zorkipli, N. H. M. Kaus, and A. A. Mohamad, Synthesis of NiO Nanoparticles through Sol-Gel Method, *Procedia Chem.* 2016, 19, 626.
- Jose-Yacamán, M., et al. Surface Diffusion and Coalescence of Mobile Metal Nanoparticles, *J. Phys. Chem. B* 2005, 109, 9703.
- W. Yu and S. U. S. Choi, The Role of Interfacial Layers in the Enhanced Thermal Conductivity of Nanofluids: A Renovated Maxwell Model, *J. Nanoparticle Res.* 2003, 5, 167.
- Jiang, Di, et al. Determining the Aggregation Kinetics of Nanoparticles by Single Nanoparticle Counting, *ACS EST Water* 2020, 1, 672.
- J. A. Medford, A. C. Johnston-Peck, and J. B. Tracy, Nanostructural Transformations during the Reduction of Hollow and Porous Nickel Oxide Nanoparticles, *Nanoscale* 2013, 5, 155.
- Siddiqui, Maqsood A., et al. Nickel Oxide Nanoparticles Induce Cytotoxicity, Oxidative Stress and Apoptosis in Cultured Human Cells That Is Abrogated by the Dietary Antioxidant Curcumin, *Food Chem. Toxicol.* 2012, 50, 641.
- Sun, Jing, et al. UV Irradiation Induced Transformation of TiO₂ Nanoparticles in Water: Aggregation and Photoreactivity, *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48, 11962.
- S. Shrestha, B. Wang, and P. Dutta, Nanoparticle Processing: Understanding and Controlling Aggregation, *Adv. Colloid Interface Sci.* 2020, 279, 102162.
- D. Spagnoli, J. F. Banfield, and S. C. Parker, Free Energy Change of Aggregation of Nanoparticles, *J. Phys. Chem. C* 2008, 112, 14731.
- M. Alimohammadi and K. A. Fichthorn, Molecular Dynamics Simulation of the Aggregation of Titanium Dioxide Nanocrystals: Preferential Alignment, *Nano Lett.* 2009, 9, 4198.
- Gupta, V., et al. Investigations on Acoustical and Thermal Properties of Ethylene Glycol Based Nickel Oxide Nanofluids: Concentration and Temperature, *Russ. J. Phys. Chem. A* 2020, 94, 2312.
- Jiang, Weiting, et al. Modeling of Nanoparticles' Aggregation and Sedimentation in Nanofluid, *Curr. Appl. Phys.* 2010, 10, 934.
- N. R. Karthikeyan, J. Philip, and B. Raj, Effect of Clustering on the Thermal Conductivity of Nanofluids, *Mater. Chem. Phys.* 2008, 109, 50.
- K. S. Hong, T.-K. Hong, and H.-S. Yang, Thermal Conductivity of Fe Nanofluids Depending on the Cluster Size of Nanoparticles, *Appl. Phys. Lett.* 2006, 88, 031901.
- P. Grammatikopoulos, M. Sowwan, and J. Kioseoglou, Computational Modeling of Nanoparticle Coalescence, *Adv. Theory Simul.* 2019, 2, 1900013.
- Lizunova, A. A., et al. Comparison of the Results of Measurements of the Sizes of Nanoparticles in Stable Colloidal Solutions by the Methods of Acoustic Spectroscopy, Dynamic Light Scattering, and Transmission Electron Microscopy, *Meas. Tech.* 2017, 59, 1151.
- Zou, Chenyu, et al. Molecular Dynamics Simulations of the Effects of Vacancies on Nickel Self-Diffusion, Oxygen Diffusion and Oxidation Initiation in Nickel, Using the ReaxFF Reactive Force Field, *Acta Mater.* 2015, 83, 102.
- Lu, Yulan, et al. A Combined DFT and Experimental Study on the Nucleation Mechanism of NiO Nanodots on Graphene, *J. Mater. Chem. A* 2018, 6, 13717.
- P. Van de Sompel, U. Khalilov, and E. C. Neyts, Contrasting H-Etching to OH-Etching in Plasma-Assisted Nucleation of Carbon Nanotubes, *J. Phys. Chem. C* 2021, 125, 7849.

- Yusupov, M., et al. Reactive Molecular Dynamics Simulations of Oxygen Species in a Liquid Water Layer of Interest for Plasma Medicine, *J. Phys. Appl. Phys.* 2014, 47, 025205.
- F. Franks, *Water A Comprehensive Treatise: Aqueous Solutions of Amphiphiles and Macromolecules* 1975 (Springer US, Boston, MA).
- S. W. Rick, S. J. Stuart, and B. J. Berne, Dynamical Fluctuating Charge Force Fields: Application to Liquid Water, *J. Chem. Phys.* 1994, 101, 6141.
- Fogarty, Joseph C., et al. A Reactive Molecular Dynamics Simulation of the Silica-Water Interface, *J. Chem. Phys.* 2010, 132, 174704.
- D. J. Evans and B. L. Holian, The Nose–Hoover Thermostat, *J. Chem. Phys.* 1985, 83, 4069.
- U. Khalilov and E. C. Neyts, Mechanisms of Selective Nanocarbon Synthesis inside Carbon Nanotubes, *Carbon* 2021, 171, 72.
- Huminc, Angel, et al. Thermal Conductivity, Viscosity and Surface Tension of Nanofluids Based on FeC Nanoparticles, *Powder Technol.* 2015, 284, 78.
- G. Lu, Y.-Y. Duan, and X.-D. Wang, Surface Tension, Viscosity, and Rheology of Water-Based Nanofluids: A Microscopic Interpretation on the Molecular Level, *J. Nanoparticle Res.* 2014, 16, 2564.
- Yu, C.-J., et al. Molecular Layering in a Liquid on a Solid Substrate: An X-Ray Reflectivity Study, *Phys. B Condens. Matter* 2000, 283, 27.
- Li, Ling, et al. An Investigation of Molecular Layering at the Liquid-Solid Interface in Nanofluids by Molecular Dynamics Simulation, *Phys. Lett. A* 2008, 372, 4541.
- Zhang, Yang, et al. Stability of Commercial Metal Oxide Nanoparticles in Water, *Water Res.* 2008, 42, 2204.
- Nithiyanantham, Udayashankar, et al. Effect of Silica Nanoparticle Size on the Stability and Thermophysical Properties of Molten Salts Based Nanofluids for Thermal Energy Storage Applications at Concentrated Solar Power Plants, *J. Energy Storage* 2022, 51, 104276.

ВНЕДРЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Султанов Руслан Рустамович¹, Бабаходжаева Виктория Артыковна²

¹Ташкентский международный университет образования, Ташкент, Узбекистан

²Всемирный банк в Узбекистане

E-mail: r.sultanov@tiue.uz, vbabakhodjaeva@worldbank.org

Аннотация. в данной статье рассматриваются вопросы применения искусственного интеллекта в образовании. Авторы описывают современное состояние и перспективы развития данного направления. В статье анализируются основные проблемы и перспективы применения искусственного интеллекта в учебном процессе, а также описываются возможности использования AI для индивидуализации обучения и оценки знаний студентов. В заключение авторы подчеркивают необходимость развития исследований в области AI в образовании, чтобы улучшить качество образования и повысить эффективность учебного процесса. Описание современных и будущих возможностей использования AI в образовании делает статью актуальной и интересной для всех, кто интересуется современными технологиями в образовании.

Ключевые слова: адаптивное обучение, персонализированное обучение, дифференцированное обучение, обучение на основе компетенции, искусственный интеллект, нейронные сети, машинное обучение, образовательные платформы, learning management system, eContent.

INTRODUCTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS INTO THE EDUCATIONAL PROCESS: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS

Sultanov Ruslan Rustamovich¹, Babakhodjaeva Victroiya Artikovna²

¹Tashkent International University of Education, Tashkent, Uzbekistan

²World Bank in Uzbekistan

E-mail: r.sultanov@tiue.uz, vbabakhodjaeva@worldbank.org

Abstract. this article discusses the use of artificial intelligence in education. The authors describe the current state and prospects for the development of this direction. The article analyzes the main problems and prospects of using artificial intelligence in the educational process, and also describes the possibilities of using AI to individualize learning and evaluate students' knowledge. In conclusion, the authors emphasize the need to develop research in the field of AI in education in order to improve the quality of education and increase the efficiency of the educational process. Description of the current and future possibilities of using AI in education makes the article relevant and interesting for everyone who is interested in modern technologies in education.

Keywords: adaptive learning, personalized learning, differentiated learning, competence-based learning, artificial intelligence, neural networks, machine learning, educational platforms, learning management system, eContent.

Образование является одним из ключевых факторов развития общества. От уровня и качество образования зависит судьба любой отрасли экономики. Как нам уже известно сегодня технология не стоит на месте и день за днем появляются новые и инновационные технологические решения для того, чтобы повысить эффективность, скорость производства и качество предоставления товаров и услуг. Соответственно, как и другие отрасли экономики образовательный процесс также требует применения инновационных решений, новых алгоритмов, а также различных методов для того, чтобы качественно и эффективно дать соответствующие знания обучающимся. При этом необходимо отметить, что ключевым фактором в развитии сферы образования является качество и своевременность.

Современные вызовы, стоящие перед образованием сегодня: пандемия коронавирусной инфекции, связанная с этим проблема самоизоляции, дистанционного обучения требуют интегрирование новейших IT разработок в образовательный процесс.

С появлением таких технологий как искусственный интеллект, нейронные сети, машинное обучение и анализ больших данных, открывается ряд возможностей по цифровой трансформации

сферы образования. При этом применения алгоритмов искусственного интеллекта кардинально меняет парадигму и концептуальную основу образовательной системы, поднимая качество образования на новый уровень.

На сегодняшний день на первый уровень выходит персонализация образовательного процесса с учетом потребностей и возможностей обучающегося человека. Существует несколько основных подходов к персонализированному обучению:

- *Адаптивное обучение*: технология, используемая для распределения человеческих или цифровых ресурсов между учащимися в зависимости от их уникальных потребностей.
- *Индивидуализированное обучение*: темп обучения корректируется в соответствии с потребностями отдельных учащихся.
- *Дифференцированное обучение*: подход к обучению корректируется в соответствии с потребностями отдельных учащихся.
- *Обучение на основе компетенций*: учащиеся продвигаются по пути обучения на основе их способности продемонстрировать компетентность, включая применение и создание знаний, а также навыков и предрасположенностей.

Последние годы исследования в области применения элементов искусственного интеллекта в образовании показывают свою эффективность и дают положительный результат. В частности, в работе [1] приводится сравнительный анализ образовательных систем США, Индии и Китая с применением элементов искусственного интеллекта. Авторами приводится систематический обзор процесса обучения с использованием модели *Human-In-The-Loop (HITL)*, результаты применения генетического алгоритма в процессе отбора учебно-методических материалов с источника *IEEE xplore publications* на основе образовательной программы (на англ. - *Course Curriculum*) обучающегося.

Авторами [2] также приводятся результаты исследования по персонализации образовательного процесса, а также применения рекомендательных систем на основе алгоритмов искусственного интеллекта. Целью и задачей работы является на основе ключевых слов, и результатов обучения подобрать соответствующие мультимедийные образовательные контенты. В частности, предлагать студентам различные видеоматериалы с доверительных источников. Авторы используют алгоритм коллаборативной фильтрации основанный на элементах машинного обучения, и используют метод коэффициента корреляции Пирсона для поиска очень похожих видеоматериалов, а затем рекомендуют интересующие их учебные материалы.

В работе [3, 4] авторы делают акцент на применение генетического алгоритма для построения последовательной логической цепочки изучения образовательных материалов. Также, приведены результаты сравнительного анализа традиционного подхода формирования последовательности образовательного процесса с применением генетического алгоритма. После применения алгоритма процент усвояемости материала увеличился на 8.34 %.

В статье [5] автор приводит результаты исследования по использованию генетического алгоритма в автоматизации процесса формирования и оценки образовательного контента. В работе приводится примерная структура формирования образовательной программы курса (*Course Curriculum*):

- блок-схема работы генетического алгоритма;
- создание учебных программ на основе веб-обучения;
- системные шаблоны и результаты применения.

В работе [6] автор затрагивает проблему определения направления, в котором перспективнее развивать студента. При этом автор отмечает непригодность механизма тестирования студента и предлагает решить вопрос с применением нейронной сети от Yandex – Catboost. Данный метод позволяет учитывать категориальные признаки и обладает достаточно большой точностью.

Тестирование знания студентов с применением алгоритмов искусственного интеллекта позволяет точно оценить уровень и качество освоения материала. Автор [7] в своих исследованиях предлагает автоматизировать процесс тестирования знаний студентов с применением таких методологий как визуализация и геймификация процесса оценки студента.

С развитием исследовательских работ такие крупные компании как Amazon, Microsoft, Google, Apple, IBM активно начали инвестировать искусственный интеллект и развивать собственные образовательные платформы на базе этих технологий.

Например, проект Google AI Education собирает библиотеку работ и экспериментов по ИИ и предоставляет курсы, учебные материалы и руководства по ИИ. Microsoft AI School также предлагает учебные курсы для людей, заинтересованных в изучении искусственного интеллекта для образования или карьеры.

Ниже перечислим несколько примеров о том, как применяется искусственный интеллект в образовательном процессе и какие платформы сегодня активно функционируют. [8-13]:

Ведущая LMS-система, используемая по всему миру как большими, так и малыми учебными заведениями **EdApp**. Это первоклассная образовательная платформа, отмеченная наградами, которая доступна бесплатно для всех пользователей, как частных, так и корпоративных. Она предлагает простые дизайнерские решения и шаблоны, чтобы сделать создание и обмен курсами максимально простым и эффективным. EdApp также предлагает готовые к обучению курсы, разработанные лучшими мировыми специалистами, которые вы можете просто добавить в свою учебную программу. Приоритетом EdApp является микрообучение – они разработали свое программное обеспечение таким образом, чтобы оно лучше всего работало с мобильными устройствами, позволяя учиться в любое время и в любом месте [14].

Образовательный инструмент **Google Classroom**, предложенный гигантом программного обеспечения, является более чем достойным решением для школ, которым внезапно пришлось перейти на онлайн обучение. Google Classroom использует хорошо известные инструменты G Suite, такие, как Google Docs, листы для расчетов, инструменты для онлайн презентаций и инструмент для видеозвонков (Google Hangouts). Простой и известный дизайн, базовые функции, доступные бесплатно, и высокий уровень доступности – все это делает Google Classroom оптимальным выбором для школьных и университетских курсов, где нет необходимости в дополнительных опциях и инструментах высокого класса [15].

Udemy – одна из самых известных образовательных платформ, предлагающая множество рецензируемых курсов, преподаваемых инструкторами со всего мира. Udemy предлагает множество стандартных инструментов проектирования для создателей курсов: видео, расчетные листы, документы, презентации [16].

Coursera – это образовательная платформа, которая, направлена на предоставление образования университетского уровня и качественного обучения по всему миру. Она предлагает онлайн курсы, специализированные курсы и разовые мероприятия, проводимые известными университетами партнерами со всего мира. Большинство курсов на Coursera требуют активного участия, обратной связи, написания заданий и посещения лекций. Усилия окупаются, поскольку после окончания курса можно подать заявку на получение сертификата с соответствующей печатью. Coursera бесплатна для студентов университетов (за исключением курсов для получения степени), но требует вступительного взноса от всех остальных [17].

Наряду с **Coursera**, **edX** – это два самых популярных образовательных платформ, ориентированных на предоставление образования университетского качества. Созданная выпускниками Гарварда и Массачусетского технологического института, edX – это платформа, ориентированная на высшее образование, на которой размещаются онлайн курсы различных университетов. Хотя она не совсем подходит для профессионального обучения на рабочем месте, вы можете бесплатно посещать бизнес-программы Йельского университета или курсы физики Гарварда. Интерес EdX заключается в улучшении глобальной доступности первоклассных ресурсов и преподавателей. Однако выбор, предлагаемый edX, гораздо меньше, чем на других платформах, и ограничен очень специализированными областями. EdX также не поддерживает микрообучение, а его политика по-прежнему пропагандирует традиционные методы обучения – прослушивание лекций и написание эссе. Он сосредоточен в основном на естественных науках, оставляя гуманитарные науки и искусство на последнем месте [18].

BlackBoard learn предназначен для преподавателей и студентов высших учебных заведений, которым необходимо иметь возможность хранить и обмениваться материалами в облаке. Помимо преподавания, ее можно использовать для корпоративных и государственных программ обучения, хотя есть и другие LMS, которые предлагают больше встроенных функций за меньшие деньги. Она

удобна для мобильных устройств, что отвечает привычкам молодых пользователей, поскольку позволяет посещать занятия в любом месте. Blackboard предоставляет контент без лишних хлопот, но при этом лишает другие LMS некоторых развлечений, которые они предоставляют наряду с большой функциональностью [19].

Skillshare относится к числу известных образовательных платформ, ориентированных на предоставление практических курсов для динамичного круга студентов. Она в первую очередь ограничена как образовательная видеоплатформа, где учителя и преподаватели объясняют тему в серии роликов. Skillshare – это платформа, основанная на сообществе, то есть каждый потенциально может стать преподавателем, и на форуме сообщества легко получить обратную связь и поддержку. В отличие от EdX или Coursera, Skillshare фокусируется на обучении прагматичным навыкам, помогающим создать онлайн присутствие (полезно в эпоху маркетинга в социальных сетях), поддержать малый бизнес или просто развлечься [20].

Thinkific. Будучи хорошо продуманной платформенной системой LMS, которая делает создание учебных курсов осуществимым и простым, Thinkific предлагает множество шаблонов и графических элементов для облегчения разработки собственного курса. В основном она ориентирована на предпринимателей, преподавателей онлайн, тренеров и инструкторов, которые хотят расширить свой охват и, возможно, обновить свои образовательные инструменты. К сожалению, Thinkific не является бесплатным, и для доступа к полному набору инструментов дизайна и маркетинга требуется ежемесячная подписка [21].

LinkedIn Learning – это образовательная платформа, ориентированная в основном на бизнес и технологические области. Курсы на платформе предоставляются в видео формате на семи различных языках, что делает ее достаточно доступной, в зависимости от вашего географического положения. LinkedIn Learning является премиум функцией для пользователей LinkedIn с обновленными профилями и нацелена на предоставление новых, более высоких квалификаций для тех, кто ищет новые возможности на рынке труда. LinkedIn Learning – это хорошее место для обучения, но более сложное для преподавания, поскольку для того, чтобы стать тренером, требуется приложить немало усилий. Качество курсов не всегда легко оценить заранее, и для этого необходимо провести исследование [22].

Система Moodle - среда дистанционного обучения с открытым исходным кодом. Преимуществами этой системы являются возможность произвольно выбирать время, место, длительность процесса обучения, преподаватель может своевременно изменять курсы в соответствии с потребностями учащихся, поддерживать связь с учащимися. Существует возможность преобразования текстовых значений в мультимедиа и гипертекстовое представление.

Система ориентируется больше на вузы, колледжи и другие образовательные учреждения. Большинство плагинов создаются именно под образование. Для коммерческой сферы у Moodle не хватает гибкости и масштабируемости. Чтобы интегрировать систему с нужными бизнесу решениями, придется приложить немало усилий и привлечь опытных специалистов [23].

В Узбекистане также активно начали внедрять различные образовательные платформы, которые позволяют эффективно управлять образовательным процессом. Как например, ГУП «Центр инноваций, технологий и стратегии» при МНО разработал дополнительный электронный контент для полезных онлайн ресурсов, платформ и порталов [24].

В частности, на платформе дистанционного образования **Maktab.uz** разработанной для телеканалов «Онлайн мактаб», размещены более 7500 видеоуроков по школьной программе 1-11 классов, и более 2400 презентаций к ним.

Kitob.uz является бесплатной онлайн библиотекой, включающей в себя около 4000 электронных и аудиокниг. Количество посетителей портала составляет 16 000 человек.

В рамках проекта **EduKids** созданы и размещены на странице в Telegram свыше 100 научно-популярных анимационных дайджестов.

EduKids — это сборник, состоящий из более чем 100 научно-популярных анимационных дайджестов, направленных на достижение успеха в будущем и работе над собой.

Проект **Smartland** является интерактивной виртуальной образовательной платформой, включающей в себя 136 игр на русском и узбекском языках по 15 предметам и 2008 упражнений. Также разработано его мобильное приложение для операционных систем iOS и Android.

Uzbekcoders.uz - веб-платформа предоставляет возможность бесплатно на узбекском и английском языках освоить профессии по 4 направлениям в области информационных технологий. Курсы проекта представлены одной из ведущих компаний IT-образования в мире — Udacity (США).

MorEng.uz - онлайн-школа английского языка с интерактивными лекциями и тестами, которые работают на любом устройстве. Доступны также дискуссии с куратором курса, который в любое время сможет разъяснить спорные моменты и ответить на все вопросы.

Prep.uz - онлайн видео-уроки и тесты на русском и узбекском языках. Языковые курсы, а также уроки по точным и гуманитарным наукам от квалифицированных преподавателей. Во время карантина все занятия бесплатны.

Xanakademiya.uz - портал Khan Academy Uzbek создан на базе крупнейшей бесплатной международной образовательной платформы и переведен на узбекский язык. Проект дает возможность получить дополнительное бесплатное дистанционное образование на уровне мировых стандартов.

Tutorials.uz - Бесплатные видеоматериалы по программированию на узбекском языке. На портале представлены курсы от азов информатики до глубоких знаний в области программирования.

Учитывая вышеизложенное, хотелось бы выделить основные ключевые направления развития образования, которые требуют тщательного анализа и применения инновационных решений.

Прежде всего это адаптивное обучение. Адаптивное обучение (на англ. adaptive learning) – это технология обучения, основанная на построении индивидуальной учебной траектории для обучающегося с учетом его текущих знаний, способностей, мотивации и других характеристик [25].

В данном случае сложность, последовательность и темп обучения учебного курса и предметов подбираются на основе сильных и слабых сторон обучающегося. На выходе мы получаем персональный план обучения для каждого студента.

Про адаптивное обучение первым заговорил американский психолог, изобретатель, писатель, профессор Гарвардского университета - Беррес Фредерик Скиннер в 1954 году. В ходе своего эксперимента он разработал механическое приспособление, напоминающего коробку, которое «скармливало» бы студентам вопросы. Правильные ответы вознаграждались новым академическим материалом, неправильные — приводили к повторению старого вопроса. Это мотивировало студента быстро адаптироваться и учиться отвечать правильно.

Основными преимуществами адаптивного обучения являются сокращение времени на обучение разнородной группы, повышение вовлеченности обучаемых и более тщательный автоматический контроль усвоения.

Алгоритм разработки образовательной программы с технологией адаптивного обучения состоит из четырех шагов.

Шаг 1 - Определить цели обучения. Необходимо определить знания и умения, которые программа нацелена сформировать. Это можно сделать, используя Таксономию Блума.

Справочно: Таксономия Блума — это теория, которая поможет проверить глубину знаний сотрудников по учебным материалам из электронных курсов, вебинаров и тренингов. Оценка по таксономии Блума показывает, какие темы даются ученику с трудом, и готов ли он применить полученные знания на практике.

Шаг 2. Структурировать предметную область. Необходимо создать карту знаний. Для этого важно детально описать темы обучения, выделяя несколько уровней сложности и связи между ними. Для подробного структурирования предметной области требуется выделить минимум 3 уровня.

Шаг 3. Создать контент для достижения целей обучения. Карту знаний из шага 2 нужно наполнить единицами микро знаний контента, которые образуют логическую структуру.

Шаг 4. Разработать банк контрольных вопросов. Для каждого уровня знаний необходимо разработать от 3 до 10 вопросов, сформулированных строго на основании целей обучающей программы. Работа адаптивного алгоритма зависит от корректной оценки уровня сложности вопросов. Можно диагностировать не только ожидаемый уровень компетентности, но и оценивать степень уверенности в правильности своего ответа. Тесты должны обеспечивать контроль знаний для достижения целевого уровня слушателей.

Персонализированное обучение – На основе этой технологии лежит индивидуализация учебного процесса и направленность образовательных ресурсов на одного человека исходя из компетенции, уровня знания студента, а также других когнитивных показателей. Персонализированное обучение «в чистом виде» применяется очень редко. Так как человек — это часть общества, и он должен взаимодействовать с другими участниками общества. Поэтому такой подход применяется в исключительных случаях, а также при проектировании онлайн и дистанционных учебных курсов.

Важно отметить, что последние годы с появлением онлайн платформ и виртуальных университетов персонализация образовательного процесса часто применяется разработчиками и проектировщиками учебно образовательного контента. Также стали применять элементы искусственного интеллекта и нейронных сетей для того, чтобы подстроить программу учебного процесса под потребности индивидуального человека.

Под дифференциацией понимается способ организации учебного процесса, при котором учитываются индивидуально типологические особенности личности. К ним относятся способности, интересы, склонности, особенности интеллектуальной деятельности и др. Данный подход предполагает создание групп, где такие свойства как цели, содержание, методы, формы и результаты различаются друг от друга [26].

Обучение на основе компетенций начинается с определения конкретных компетенций или навыков и позволяет учащимся развивать мастерство в каждой компетенции или навыке в своем собственном темпе, обычно работая с наставником. Учащиеся могут развивать только те компетенции или навыки, которые они считают необходимыми (за это они могут получить "значок" или какую-либо форму подтвержденного признания), или объединить весь набор компетенций в полную квалификацию, такую как сертификат, диплом или, все чаще, полная степень [27].

Применение элементов искусственного интеллекта и нейронных сетей позволит повысить качество образования, ускорить процесс освоения новых технологий, адаптировать сложные процессы под нужды каждого человека и эффективно управлять процессом. Конвергенция искусственного интеллекта в образовательный открывает безграничные возможности обучающимся эффективно и качественно освоить учебный материал и стать высококвалифицированным специалистом.

Использованная литература:

1. A. Bhutoria, «Personalized education and Artificial Intelligence in the United States, China, and India: A systematic review using a Human-In-The-Loop model,» *Computers and Education: Artificial Intelligence*, т. 3, № 3, p. online, 2022.
2. H. D. Xiaojuan Chen, «Research on Personalized Recommendation Methods for Online Video Learning Resources,» *Applied Science*, т. 1, № 11, p. 804, 2021.
3. K. P. N. Lumbardh Elshani, «Constructing a personalized learning path using genetic algorithms approach,» *A PREPRINT*, т. 1, № 1, p. 15, 2021.
4. O. A. O. Oluwatoyin C. Agbonifo, «Genetic Algorithm-based Curriculum Model For Personalised E-Learning System,» *I.J. Modern Education and Computer Science*, т. 5, № 5, pp. 27-35, 2018.
5. X. Duan, «Automatic Generation and Evolution of Personalized Curriculum Based on Genetic Algorithm,» *iJET*, т. 14, № 12, pp. 1-27, 2019.
6. Н. А. С. Елтунова Инга Баировна, «Использование алгоритмов искусственного интеллекта в образовании,» *Cyberlinka*, т. 1, № 1, pp. 150-154, 2021.
7. S. S. P. D. R. S. S. N. B. S. Ravi Kokku, «Augmenting classrooms with ai for personalized education,» *IBM Research*, 2018.
8. K. Raouna, «27 Best Online Learning Platforms,» 24 01 2022. [В Интернете]. Available: <https://www.learnworlds.com/online-learning-platforms/>.
9. J. P. D. Brian Turner, «Best online learning platforms of 2022,» 8 09 2022. [В Интернете]. Available: <https://www.techradar.com/best/best-online-learning-platforms>.
10. I. Bouchrika, «50 Online Education Statistics: 2021/2022 Data on Higher Learning & Corporate Training,» 11 10 2022. [В Интернете]. Available: <https://research.com/education/online-education-statistics>.
11. A. Enfroy, «21 Best Online Course Platforms of Oct 2022 (Top 7 Picks),» 27 10 2022. [В Интернете]. Available: <https://www.adamenfroy.com/best-online-course-platforms>.

12. A. Marousis, «Educational platform vs training software vs LMS: What's the difference?,» 5 12 2019. [В Интернете]. Available: <https://www.talentlms.com/blog/educational-platform-vs-lms-vs-training-software/>.
13. Ziyoforum, «Топ 5 образовательных и полезных сервисов в Узбекистане,» 05 08 2020. [В Интернете]. Available: <https://ru.ziyoforum.uz/nauka-i-obrazovanie-24-7/post/top-5-obrazovatelnyh-i-poleznyh-servisov-v-uzbekistane>.
14. S. Foreman, The LMS Guidebook: Learning Management Systems Demystified, 9781607283096 ред., Александрия, Вирджиния: Association for Talent Development, 2017.
15. G. Page, GOOGLE CLASSROOM FOR TEACHERS: The Ultimate Guide to Digital Learning. A step-by-step approach to improve your teaching activities, enhance task management and get started with your online classroom, Independently published, 2020.
16. F. Kane, The Ultimate Online Course Creation Guide: Learn the tips and tricks of one of Udemy's million dollar instructors - create online courses that sell. (Unofficial), B07N1WJQG3, 2019.
17. Coursera, «Coursera,» 2022. [В Интернете]. Available: <https://www.coursera.org/>.
18. O. edX, «Open edX,» 2022. [В Интернете]. Available: <https://www.edx.org/>.
19. BlackBoard, «BlackBoard learn,» 2022. [В Интернете]. Available: <https://www.blackboard.com/en-eu/teaching-learning/learning-management/blackboard-learn>.
20. SkillShare, «SkillShare,» 2022. [В Интернете]. Available: <https://www.skillshare.com/>.
21. Thinkific, «Thinkific,» 2022. [В Интернете]. Available: <https://www.thinkific.com/>.
22. LinkedIn, «LinkedIn,» 2022. [В Интернете]. Available: <https://www.linkedin.com/learning/>.
23. Moodle, «Moodle,» 2022. [В Интернете]. Available: <https://moodle.org/>.
24. АИМК, «Бесплатная онлайн-библиотека, включающая в себя около 4000 электронных и аудиокниг, платформа, с более чем 7500 видеоуроками и другие важные проекты,» в Гресс-конференции в АИМК, 2022.
25. С. Университет, «Адаптивное обучение,» 11 11 2022. [В Интернете]. Available: <https://sberuniversity.ru/edutech-club/glossary/390/>. [Дата обращения: 11 11 2022].
26. О. И.М., «Дифференцированное обучение: некоторые вопросы теории и практики,» Вестник ТГПУ, т. I, № 5(14), pp. 6-12, 1999.
27. A. A.W. (Tony) Bates and Bates, Teaching in a Digital Age: Guidelines for designing teaching and learning, Ontario: <https://opentextbc.ca/>, 2019.



License No. 122187
Address:6, Imam Bukhariy street, Tuzel-2 block,
Yashnabad district, Tashkent 100207, Uzbekistan