

# ACTUAL PROBLEMS OF FUNDAMENTAL SCIENCE

Proceedings

Fifth international conference

(Lutsk – Svityaz', 01 – 05.06.2023)

Dedicated to the 380th anniversary  
of the birth of Isaac Newton

Міністерство освіти і науки України  
Волинський національний університет імені Лесі Українки

# **АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ НАУК**

**Матеріали**

**V міжнародної наукової конференції  
(Луцьк – Світязь, 01 – 05 червня 2023 року)**

**Присвяченої 380-річчю з дня народження Ісаака Ньютона**

# **ACTUAL PROBLEMS OF FUNDAMENTAL SCIENCE**

**Proceedings**

**Fifth international conference  
(Lutsk – Svityaz', 01 – 05.06.2023)**

**Dedicated to the 380th anniversary of the birth of Isaac Newton**

Луцьк  
Вежа-Друк  
2023

УДК 535+544

A36

Рекомендовано до друку вченою радою  
Волинського національного університету імені Лесі Українки  
(протокол № 6 від 27 квітня 2023 року)

**Organizer:** Shevchenko scientific Society, Ukrainian and European Physical Societies, the Ukrainian Mathematical Society, the Ukrainian Chemical Society, the Ukrainian Society «Pure and Applied Optics», the Ukrainian Society for Optical Engineering, educational and scientific institute of physics and technologies, faculty of chemistry, ecology and pharmacy and faculty of biology and forestry of Lesya Ukrayinka Volyn National University.

**International Program Committee:** P. Trokhimchuk, chair, Ukraine; D. Shvalikovskiy, scientific secretary, Ukraine; V. Adamiv, Ukraine; A. Andrushchak, Ukraine; I. Apostol, Romania; I. Baklan, Ukraine; M. Batenchuk, Germany; I. Ye. Barchiy, Ukraine; Ya. Bobytski, Ukraine; I. Bolesta, Ukraine; V. Chabanyuk, Ukraine; A.O. Fedorchuk, Ukraine; Ya. Chornodolskyi, Ukraine; P. M. Fochuk, Ukraine; R. Golovchak, USA; A. Golovin, USA; V. Gorbachuk, Ukraine; V. Holovatsky, Ukraine; Ja. Jedryka, Poland; Ya. Kalychak, Ukraine; I. Kanatchikov, Great Britain; E. Kapuscik, Poland; V. Kazukauskas, Lithuania; O. Khyzhun, Ukraine; A. Kityk, Poland; S. Kostyukevich, Ukraine; Yu. P. Kovalchuk, Ukraine-Germany; V. Krysachenko, Ukraine; O. Kushnir, Ukraine; O. Makarenko, Ukraine; V. Maslov, Ukraine; V. Melnichak, Israel; S. Mudryy, Ukraine; L. Muravskiy, Ukraine; V. Myhaylyk, Great Britain; V. S. Nedzvetsky, Ukraine; L. Nikiruy, Ukraine; B. Novosyadlyj, Ukraine; K. Ozga, Poland; B. Padlyak, Poland-Ukraine; L. Petryshyn, Ukraine; M. Piasecki, Poland; R. Plyatsko, Ukraine; I. Polovynko, Ukraine; A. Prikarpatsky, Ukraine; V. V. Pykaliuk, Ukraine; Ya. Rybicki, Poland; P. Saukh, Ukraine; A. Svidzinskiy, USA; G. U. Taneri, Northern Cyprus; I. Tiginyanu, Moldova; I. Tymbalyuk, Ukraine; S. Ubizskii, Ukraine; H. Uvarova, Ukraine; M. M. Vakiv, Ukraine; R. Vloch, Ukraine; Yu. Vysochanskiy, Ukraine; O. Yakovenko, Ukraine; Yu. Yaremko, Ukraine; V. Yuhymchuk, Ukraine; Ya. Zolotaryuk, Ukraine.

**Local Organizing Committee:** G. Myronchuk, co-chair, Ukraine; O. Zamuruyeva, co-chair, Ukraine; S. Fedosov, scientific secretary, Ukraine; S. Danyl'chuk, Ukraine; A. Fedonyuk, Ukraine; V. Halyan, Ukraine; N. Holovina, Ukraine; V. Holoviy, Ukraine; A. Kevshyn, Ukraine; T. Klymuk, Ukraine; H. Khmaruk, Ukraine; M. Khvyshchun, Ukraine; Yu. Koqut, Ukraine; Yu. Koval, Ukraine; Z. Kormosh, Ukraine; O. Marchuk, Ukraine; L. Marushko, Ukraine; T. Masitska, Ukraine; O. Novosad, Ukraine; L. Piskach, Ukraine; V. Polyakov, Ukraine; A. Poruchynskiy, Ukraine; V. Sakhnyuk, Ukraine; H. Shavarova, Ukraine; P. Shygorin, Ukraine; D. Shvalikovskiy, Ukraine; Ya. Stepanyuk, Ukraine; A. Shutovskiy, Ukraine; V. Savosh, Ukraine; A. Tretyak, Ukraine; P. Trokhimchuk, Ukraine; B. Venhryn, Ukraine; O. Viligurskii, Ukraine; T. Yatsyniuk, Ukraine; S. Yatsyuk, Ukraine; D. Zakharchuk, Ukraine; O. Zhuravlov, Ukraine

Proceedings of V-th International Conference «Actual problems of fundamental science» – APFS'2023 are represented. These results were reported on this conference.

Edition of materials are made from author texts and prepared to printing the Program Committee and Editorial Board of conference.

A36 **Актуальні** проблеми фундаментальних наук : матеріали V Міжнар. наук. конф. – (Луцьк – Світязь, 01 – 05 черв. 2023 р.) – Луцьк : Вежа-Друк, 2023. – 176 с.

ISBN 978-966-940-470-1

Подано праці V Міжнародної конференції “Актуальні проблеми фундаментальних наук” – АПФН-2023. Матеріали було заслухано на конференції.

EDITORIAL BOARD: P. Trokhimchuk, Ukraine; V. Holoviy, Ukraine; V. Sahnyuk, Ukraine; D. Shvalikovskiy, Ukraine.

УДК 535+544

ISBN 978-966-940-470-1

© Волинський національний університет імені  
Лесі Українки, 2023



**Isaac Newton**  
**Petro P. Trokhimchuck**

**Sir Isaac Newton** FRS (25 December 1642 – 20 March 1726/27) was an English mathematician, physicist, astronomer, alchemist, theologian, and author who was described in his time as a natural philosopher. He was a key figure in the Scientific Revolution and the Enlightenment that followed. His pioneering book *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (*Mathematical Principles of Natural Philosophy*), first published in 1687, consolidated many previous results and established classical mechanics. Newton also made seminal contributions to optics, and shares credit with German mathematician Gottfried Wilhelm Leibniz for developing infinitesimal calculus.’

In the *Principia*, Newton formulated the laws of motion and universal gravitation that formed the dominant scientific viewpoint for centuries until it was superseded by the theory of relativity. Newton used his mathematical description of gravity to derive Kepler's laws of planetary motion, account for tides, the trajectories of comets, the precession of the equinoxes and other phenomena, eradicating doubt about the Solar System's heliocentricity. He demonstrated that the motion of objects on Earth and celestial bodies could be accounted for by the same principles. Newton's inference that the Earth is an oblate spheroid was later confirmed by the geodetic measurements of Maupertuis, La Condamine, and others, convincing most European scientists of the superiority of Newtonian mechanics over earlier systems.

Newton built the first practical reflecting telescope and developed a sophisticated theory of colour based on the observation that a prism separates white light into the colours of the visible spectrum. His work on light was collected in his highly influential book *Opticks*, published in 1704. He also formulated an empirical law of cooling, made the first theoretical calculation of the speed of sound, and introduced the notion of a Newtonian fluid. In addition to his work on calculus, as a mathematician Newton contributed to the study of power series, generalised the binomial theorem to non-integer exponents, developed a method for approximating the roots of a function, and classified most of the cubic plane curves.

Newton built the first practical reflecting telescope and developed a sophisticated theory of colour based on the observation that a prism separates white light into the colours of the visible spectrum. His work on light was collected in his highly influential book *Opticks*, published in 1704. He also formulated an empirical law of cooling, made the first theoretical calculation of the speed of sound, and introduced the notion of a Newtonian fluid. In addition to his work on calculus, as a mathematician Newton contributed to the study of power series, generalised the binomial theorem to non-integer exponents, developed a method for approximating the roots of a function, and classified most of the cubic plane curves.

Newton was a fellow of Trinity College and the second Lucasian Professor of Mathematics at the University of Cambridge. He was a devout but unorthodox Christian who privately rejected the doctrine of the Trinity. He refused to take holy orders in the Church of England, unlike most members of the Cambridge faculty of the day. Beyond his work on the mathematical sciences, Newton dedicated much of his time to the study of alchemy and biblical chronology, but most of his work in those areas remained unpublished until long after his death. Politically and personally tied to the Whig party, Newton served two brief terms as Member of Parliament for the University of Cambridge, in 1689–1690 and 1701–1702. He was knighted by Queen Anne in 1705 and spent the last three decades of his life in London, serving as Warden (1696–1699) and Master (1699–1727) of the Royal Mint, as well as president of the Royal Society (1703–1727).

Isaac Newton was born (according to the Julian calendar in use in England at the time) on Christmas Day, 25 December 1642 (NS 4 January 1643), "an hour or two after midnight", at Woolsthorpe Manor in Woolsthorpe-by-Colsterworth, a hamlet in the county of Lincolnshire. His father, also named Isaac Newton, had died three months before. Born prematurely, Newton was a small child; his mother Hannah Ayscough reportedly said that he could have fit inside a quart mug.<sup>1</sup> When Newton was three, his mother remarried and went to live with her new husband, the Reverend Barnabas Smith, leaving her son in the care of his maternal grandmother, Margery Ayscough (née Blythe). Newton disliked his stepfather and maintained some enmity towards his mother for marrying him, as revealed by this entry in a list of sins committed up to the age of 19: "Threatening my father and mother Smith to burn them and the house over them." Newton's mother had three children (Mary, Benjamin, and Hannah) from her second marriage.

From the age of about twelve until he was seventeen, Newton was educated at The King's School in Grantham, which taught Latin and Ancient Greek and probably imparted a significant foundation of mathematics. He was removed from school and returned to Woolsthorpe-by-Colsterworth by October 1659. His mother, widowed for the second time, attempted to make him a farmer, an occupation he hated. Henry Stokes, master at The King's School, persuaded his mother to send him back to school. Motivated partly by a desire for revenge against a schoolyard bully, he became the top-ranked student, distinguishing himself mainly by building sundials and models of windmills.

In June 1661, Newton was admitted to Trinity College at the University of Cambridge. His uncle Reverend William Ayscough, who had studied at Cambridge, recommended him to the university. At Cambridge, Newton started as a subsizar, paying his way by performing valet duties until he was awarded a scholarship in 1664, which covered his university costs for four more years until the completion of his MA. At the time, Cambridge's teachings were based on those of Aristotle, whom Newton read along with then more modern philosophers, including Descartes and astronomers such as Galileo Galilei and Thomas Street. He set down in his notebook a series of "*Quaestiones*" about mechanical philosophy as he found it. In 1665, he discovered the generalised binomial theorem and began to develop a mathematical theory that later became calculus. Soon after Newton obtained his BA degree at Cambridge in August 1665, the university temporarily closed as a precaution against the Great Plague. Although he had been undistinguished as a Cambridge student, Newton's private studies at his home in Woolsthorpe over the next two years saw the development of his theories on calculus, optics, and the law of gravitation.

In April 1667, Newton returned to the University of Cambridge, and in October he was elected as a fellow of Trinity. Fellows were required to be ordained as priests, although this was not enforced in the restoration years and an assertion of conformity to the Church of England was sufficient. However, by 1675 the issue could not be avoided and by then his unconventional views stood in the way. Nevertheless, Newton managed to avoid it by means of special permission from Charles II.

His academic work impressed the Lucasian professor Isaac Barrow, who was anxious to develop his own religious and administrative potential (he became master of Trinity College two years later); in 1669, Newton succeeded him, only one year after receiving his MA. Newton was elected a Fellow of the Royal Society (FRS) in 1672.

Newton's work has been said "to distinctly advance every branch of mathematics then studied". His work on the subject, usually referred to as fluxions or calculus, seen in a manuscript of October 1666, is now published among Newton's mathematical papers.<sup>[32]</sup> His work *De analysi per aequationes numero terminorum infinitas*, sent by Isaac Barrow to John Collins in June 1669, was identified by Barrow in a letter sent to Collins that August as the work "of an extraordinary genius and proficiency in these things".<sup>[33]</sup>

Newton later became involved in a dispute with Leibniz over priority in the development of calculus (the Leibniz–Newton calculus controversy). Most modern historians believe that Newton and Leibniz developed calculus independently, although with very different mathematical notations. Occasionally it has been suggested that Newton published almost nothing about it until 1693, and did not give a full account until 1704, while Leibniz began publishing a full account of his methods in 1684. Leibniz's notation and "differential Method", nowadays recognised as much more convenient notations, were adopted by continental European mathematicians, and after 1820 or so, also by British mathematicians.

His work extensively uses calculus in geometric form based on limiting values of the ratios of vanishingly small quantities: in the *Principia* itself, Newton gave demonstration of this under the name of "the method of first and last ratios" and explained why he put his expositions in this form, remarking also that "hereby the same thing is performed as by the method of indivisibles."

Because of this, the *Principia* has been called "a book dense with the theory and application of the infinitesimal calculus" in modern times and in Newton's time "nearly all of it is of this calculus." His use of methods involving "one or more orders of the infinitesimally small" is present in his *De motu corporum in gyrum* of 1684 and in his papers on motion "during the two decades preceding 1684".

Newton had been reluctant to publish his calculus because he feared controversy and criticism. He was close to the Swiss mathematician Nicolas Fatio de Duillier. In 1691, Duillier started to write a new version of Newton's *Principia*, and corresponded with Leibniz. In 1693, the relationship between Duillier and Newton deteriorated and the book was never completed.

Starting in 1699, other members of the Royal Society accused Leibniz of plagiarism. The dispute then broke out in full force in 1711 when the Royal Society proclaimed in a study that it was Newton who was the true discoverer and labelled Leibniz a fraud; it was later found that Newton wrote the study's concluding remarks on Leibniz. Thus began the bitter controversy which marred the lives of both Newton and Leibniz until the latter's death in 1716.

Newton is generally credited with the generalised binomial theorem, valid for any exponent. He discovered Newton's identities, Newton's method, classified cubic plane curves (polynomials of degree three in two variables), made substantial contributions to the theory of finite differences, and was the first to use fractional indices and to employ coordinate geometry to derive solutions to Diophantine equations. He approximated partial sums of the harmonic series by logarithms (a precursor to Euler's summation formula) and was the first to use power series with confidence and to revert power series. Newton's work on infinite series was inspired by Simon Stevin's decimals.

When Newton received his MA and became a Fellow of the "College of the Holy and Undivided Trinity" in 1667, he made the commitment that "I will either set Theology as the object of my studies and will take holy orders when the time prescribed by these statutes [7 years] arrives, or I will resign from the college." Up until this point he had not thought much about religion and had twice signed his agreement to the thirty-nine articles, the basis of Church of England doctrine.

He was appointed Lucasian Professor of Mathematics in 1669, on Barrow's recommendation. During that time, any Fellow of a college at Cambridge or Oxford was required to take holy orders and become an ordained Anglican priest. However, the terms of the Lucasian professorship required that the holder *not* be active in the church – presumably, so as to have more time for science. Newton argued that this should exempt him from the ordination requirement, and Charles II, whose permission was needed, accepted this argument; thus, a conflict between Newton's religious views and Anglican orthodoxy was averted.

In 1666, Newton observed that the spectrum of colours exiting a prism in the position of minimum deviation is oblong, even when the light ray entering the prism is circular, which is to say, the prism refracts different colours by different angles. This led him to conclude that colour is a property intrinsic to light – a point which had, until then, been a matter of debate.

From 1670 to 1672, Newton lectured on optics. During this period he investigated the refraction of light, demonstrating that the multicoloured image produced by a prism, which he named a spectrum, could be recomposed into white light by a lens and a second prism. Modern scholarship has revealed that Newton's analysis and resynthesis of white light owes a debt to corpuscular alchemy.

He showed that coloured light does not change its properties by separating out a coloured beam and shining it on various objects, and that regardless of whether reflected, scattered, or transmitted, the light remains the same colour. Thus, he observed that colour is the result of objects interacting with already-coloured light rather than objects generating the colour themselves. This is known as Newton's theory of colour.

From this work, he concluded that the lens of any refracting telescope would suffer from the dispersion of light into colours (chromatic aberration). As a proof of the concept, he constructed a telescope using reflective mirrors instead of lenses as the objective to bypass that problem. Building the design, the first known functional reflecting telescope, today known as a Newtonian telescope, involved solving the problem of a suitable mirror material and shaping technique. Newton ground his own mirrors out of a custom composition of highly reflective speculum metal, using Newton's rings to judge the quality of the optics for his telescopes. In late 1668, he was able to produce this first reflecting telescope. It was about eight inches long and it gave a clearer and larger image. In 1671, the Royal Society asked for a demonstration of his reflecting telescope. Their interest encouraged him to publish his notes, *Of Colours*,<sup>[60]</sup> which he later expanded into the work *Opticks*. When Robert Hooke criticised some of Newton's ideas, Newton was so offended that he withdrew from public debate. Newton and Hooke had brief exchanges in 1679–80, when Hooke, appointed to manage the Royal Society's correspondence, opened up a correspondence intended to elicit contributions from Newton to Royal Society transactions, which had the effect of stimulating Newton to work out a proof that the elliptical form of planetary orbits would result from a centripetal force inversely proportional to the square of the radius vector. But the two men remained generally on poor terms until Hooke's death.

Newton argued that light is composed of particles or corpuscles, which were refracted by accelerating into a denser medium. He verged on soundlike waves to explain the repeated pattern of reflection and transmission by thin films (*Opticks* Bk.II, Props. 12), but still retained his theory of 'fits' that disposed corpuscles to be reflected or transmitted (Props.13). However, later physicists favoured a purely wavelike explanation of light to account for the interference patterns and the general phenomenon of diffraction. Today's quantum mechanics, photons, and the idea of wave-particle duality bear only a minor resemblance to Newton's understanding of light.

In his *Hypothesis of Light* of 1675, Newton posited the existence of the ether to transmit forces between particles. The contact with the Cambridge Platonist philosopher Henry More revived his interest in alchemy. He replaced the ether with occult forces based on Hermetic ideas of attraction and repulsion between particles. John Maynard Keynes, who acquired many of Newton's writings on alchemy, stated that "Newton was not the first of the age of reason: He was the last of the magicians." Newton's contributions to science cannot be isolated from his interest in alchemy. This was at a time when there was no clear distinction between alchemy and science, and had he not relied on the occult idea of action at a distance, across a vacuum, he might not have developed his theory of gravity.

In 1704, Newton published *Opticks*, in which he expounded his corpuscular theory of light. He considered light to be made up of extremely subtle corpuscles, that ordinary matter was made of grosser corpuscles and speculated that through a kind of alchemical transmutation "Are not gross Bodies and Light convertible into one another, ... and may not Bodies receive much of their Activity from the Particles of Light which enter their Composition?" Newton also constructed a primitive form of a frictional electrostatic generator, using a glass globe.



In his book *Opticks*, Newton was the first to show a diagram using a prism as a beam expander, and also the use of multiple-prism arrays. Some 278 years after Newton's discussion, multiple-prism beam expanders became central to the development of narrow-linewidth tunable lasers. Also, the use of these prismatic beam expanders led to the multiple-prism dispersion theory.

Subsequent to Newton, much has been amended. Young and Fresnel discarded Newton's particle theory in favour of Huygens' wave theory to show that colour is the visible manifestation of light's wavelength. Science also slowly came to realise the difference between perception of colour and mathematisable optics. The German poet and scientist, Goethe, could not shake the Newtonian foundation but "one hole Goethe did find in Newton's armour, ... Newton had committed himself to the doctrine that refraction without colour was impossible. He, therefore, thought that the object-glasses of telescopes must forever remain imperfect, achromatism and refraction being incompatible. This inference was proved by Dollond to be wrong.

In 1679, Newton returned to his work on celestial mechanics by considering gravitation and its effect on the orbits of planets with reference to Kepler's laws of planetary motion. This followed stimulation by a brief exchange of letters in 1679–80 with Hooke, who had been appointed to manage the Royal Society's correspondence, and who opened a correspondence intended to elicit contributions from Newton to Royal Society transactions.<sup>[61]</sup> Newton's reawakening interest in astronomical matters received further stimulus by the appearance of a comet in the winter of 1680–1681, on which he corresponded with John Flamsteed.<sup>[69]</sup> After the exchanges with Hooke, Newton worked out a proof that the elliptical form of planetary orbits would result from a centripetal force inversely proportional to the square of the radius vector. Newton communicated his results to Edmond Halley and to the Royal Society in *De motu corporum in gyrum*, a tract written on about nine sheets which was copied into the Royal Society's Register Book in December 1684. This tract contained the nucleus that Newton developed and expanded to form the *Principia*.

The *Principia* was published on 5 July 1687 with encouragement and financial help from Halley. In this work, Newton stated the three universal laws of motion. Together, these laws describe the relationship between any object, the forces acting upon it and the resulting motion, laying the foundation for classical mechanics. They contributed to many advances during the Industrial Revolution which soon followed and were not improved upon for more than 200 years. Many of these advances continue to be the underpinnings of non-relativistic technologies in the modern world. He used the Latin word *gravitas* (weight) for the effect that would become known as gravity, and defined the law of universal gravitation.

In the same work, Newton presented a calculus-like method of geometrical analysis using 'first and last ratios', gave the first analytical determination (based on Boyle's law) of the speed of sound in air, inferred the oblateness of Earth's spheroidal figure, accounted for the precession of the equinoxes as a result of the Moon's gravitational attraction on the Earth's oblateness, initiated the gravitational study of the irregularities in the motion of the Moon, provided a theory for the determination of the orbits of comets, and much more.<sup>[71]</sup> Newton's biographer David Brewster reported that the complexity of applying his theory of gravity to the motion of the moon was so great it affected Newton's health: "[H]e was deprived of his appetite and sleep" during his work on the problem in 1692-3, and told the astronomer John Machin that "his head never ached but when he was studying the subject". According to Brewster Edmund Halley also told John Conduitt that when pressed to complete his analysis Newton "always replied that it made his head ache, and kept him awake so often, that he would think of it no more".

Newton made clear his heliocentric view of the Solar System—developed in a somewhat modern way because already in the mid-1680s he recognised the "deviation of the Sun" from the centre of gravity of the Solar System. For Newton, it was not precisely the centre of the Sun or any other body that could be considered at rest, but rather "the common centre of gravity of the Earth, the Sun and all the Planets is to be esteem'd the Centre of the World", and this centre of

gravity "either is at rest or moves uniformly forward in a right line" (Newton adopted the "at rest" alternative in view of common consent that the centre, wherever it was, was at rest).

Newton's postulate of an invisible force able to act over vast distances led to him being criticised for introducing "occult agencies" into science. Later, in the second edition of the *Principia* (1713), Newton firmly rejected such criticisms in a concluding General Scholium, writing that it was enough that the phenomena implied a gravitational attraction, as they did; but they did not so far indicate its cause, and it was both unnecessary and improper to frame hypotheses of things that were not implied by the phenomena. (Here Newton used what became his famous expression "*hypotheses non-fingo*").

With the *Principia*, Newton became internationally recognised. He acquired a circle of admirers, including the Swiss-born mathematician Nicolas Fatio de Duillier.

In 1710, Newton found 72 of the 78 "species" of cubic curves and categorised them into four types. In 1717, and probably with Newton's help, James Stirling proved that every cubic was one of these four types. Newton also claimed that the four types could be obtained by plane projection from one of them, and this was proved in 1731, four years after his death.<sup>1</sup>

In the 1690s, Newton wrote a number of religious tracts dealing with the literal and symbolic interpretation of the Bible. A manuscript Newton sent to John Locke in which he disputed the fidelity of 1 John 5:7 – the Johannine Comma – and its fidelity to the original manuscripts of the New Testament, remained unpublished until 1785.

Newton was also a member of the Parliament of England for Cambridge University in 1689 and 1701, but according to some accounts his only comments were to complain about a cold draught in the chamber and request that the window be closed. He was, however, noted by Cambridge diarist Abraham de la Pryme to have rebuked students who were frightening locals by claiming that a house was haunted.

Newton moved to London to take up the post of warden of the Royal Mint in 1696, a position that he had obtained through the patronage of Charles Montagu, 1st Earl of Halifax, then Chancellor of the Exchequer. He took charge of England's great recoinage, trod on the toes of Lord Lucas, Governor of the Tower, and secured the job of deputy comptroller of the temporary Chester branch for Edmond Halley. Newton became perhaps the best-known Master of the Mint upon the death of Thomas Neale in 1699, a position Newton held for the last 30 years of his life. These appointments were intended as sinecures, but Newton took them seriously. He retired from his Cambridge duties in 1701, and exercised his authority to reform the currency and punish clippers and counterfeiters.

As Warden, and afterwards as Master, of the Royal Mint, Newton estimated that 20 percent of the coins taken in during the Great Recoinage of 1696 were counterfeit. Counterfeiting was high treason, punishable by the felon being hanged, drawn and quartered. Despite this, convicting even the most flagrant criminals could be extremely difficult, but Newton proved equal to the task.

Disguised as a habitué of bars and taverns, he gathered much of that evidence himself. For all the barriers placed to prosecution, and separating the branches of government, English law still had ancient and formidable customs of authority. Newton had himself made a justice of the peace in all the home counties. A draft letter regarding the matter is included in Newton's personal first edition of *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, which he must have been amending at the time. Then he conducted more than 100 cross-examinations of witnesses, informers, and suspects between June 1698 and Christmas 1699. Newton successfully prosecuted 28 coiners.

Coat of arms of the Newton family of Great Gonerby, Lincolnshire, afterwards used by Sir Isaac Newton was made president of the Royal Society in 1703 and an associate of the French Académie des Sciences. In his position at the Royal Society, Newton made an enemy of John Flamsteed, the Astronomer Royal, by prematurely publishing Flamsteed's *Historia Coelestis Britannica*, which Newton had used in his studies.

In April 1705, Queen Anne knighted Newton during a royal visit to Trinity College, Cambridge. The knighthood is likely to have been motivated by political considerations connected with the parliamentary election in May 1705, rather than any recognition of Newton's scientific work or services as Master of the Mint. Newton was the second scientist to be knighted, after Francis Bacon.

As a result of a report written by Newton on 21 September 1717 to the Lords Commissioners of His Majesty's Treasury, the bimetallic relationship between gold coins and silver coins was changed by royal proclamation on 22 December 1717, forbidding the exchange of gold guineas for more than 21 silver shillings. This inadvertently resulted in a silver shortage as silver coins were used to pay for imports, while exports were paid for in gold, effectively moving Britain from the silver standard to its first gold standard. It is a matter of debate as to whether he intended to do this or not. It has been argued that Newton conceived of his work at the Mint as a continuation of his alchemical work.

Newton was invested in the South Sea Company and lost some £20,000 (£4.4 million in 2020) when it collapsed in around 1720.

Toward the end of his life, Newton took up residence at Cranbury Park, near Winchester, with his niece and her husband, until his death. His half-niece, Catherine Barton, served as his hostess in social affairs at his house on Jermyn Street in London; he was her "very loving Uncle", according to his letter to her when she was recovering from smallpox.

Newton died in his sleep in London on 20 March 1727 (OS 20 March 1726; NS 31 March 1727). He was given a ceremonial funeral, attended by nobles, scientists, and philosophers, and was buried in Westminster Abbey among kings and queens. He is also the first scientist to be buried in the abbey. Voltaire may have been present at his funeral. A bachelor, he had divested much of his estate to relatives during his last years, and died intestate.<sup>[104]</sup> His papers went to John Conduitt and Catherine Barton.

After his death, Newton's hair was examined and found to contain mercury, probably resulting from his alchemical pursuits. Mercury poisoning could explain Newton's eccentricity in late life.

A different way, but also from Descartes, was used by Isaac Newton. First, he approached the problem of not building, but the calculation of tangent to the curves. So, the Newtonian version of the mathematical analysis appeared: the method of fluxes and fluent. But unlike Leibniz, who used Descartes' methodology, I. Newton (1643– 1727 years) created his own methodology, which is practically a synthesis of methodology of Descartes and F. Bacon. Most clearly it is given in his rules of reasoning in physics:

Rule 1. It is not necessary to require from nature other causes beyond those which are true and sufficient to explain phenomena.

Rule 2. Therefore, as far as possible, we must attribute the same causes to the manifestations of the nature of the same species.

Rule 3. Such properties of bodies that can neither be amplified nor weakenable and which are in all bodies over which tests can be performed must be considered to be the properties of all bodies in general.

Rule 4. In the experimental philosophy, propositions derived from phenomena by means of general induction should be considered to be accurate or approximately correct, despite the possibility of opposing hypotheses, until there are phenomena which they will either be more precise or will be recognized as invalid.

The first two rules are a practically modified deduct of Descartes; the last two rules are the inductive principle of F. Bacon. By the way, Newton introduced the last rule in the third edition of "The Mathematical Principles of Natural Philosophy," indicating how long he thought and worked

on his method. In the manuscript there was also a fifth rule in which Newton contrasts with the Cartesian deduction of Lohk's empiricism.

Later, thanks to Ch. Wolf, I. Kant, L. Euler, this methodology was associated with measurement. So the modern physics, mathematics and a number of other sciences arose. It was on the path of optimal deductive synthesis that modern electrodynamics, thermodynamics, cybernetics, and quantum theory were created.

Completed the creation of mechanics as a new synthesized science I. Newton. It was precisely in his laws that there was a clear separation between the rest and the change in the amount of motion that was caused by forces, and that they were erected into a single system of celestial and earth mechanics. Newtonian mechanics, in contrast to purely mathematical synthesis of Descartes (analytic geometry), is a natural science and applied science. Newton also belongs to the creation of a law of universal gravitation, in which he synthesized the formula Ch. Huygens (1629 – 1695 years) and Kepler's third law. This law established the mechanism (nature) of gravity.

As a rule Newton is represented as a logically sober minded genius, who created the method and style of modern science. But one of his biographers, Lord Caines, claims that Newton also interpreted nature mystically: "Newton was not the first representative of the century of rationalism. He was the last magician, the last of the Babylonians or Sumerians, the last great mind who looked at the material and intellectual world, with the same eyes as the people who began to create our intellectual wealth not less than 10,000 years ago'.

Newton said about himself the following: "If I saw farther than others, then only because I was standing on the shoulders of giants."

Newton was the first representative of wave-corpuseular dualism in optics. He explained the wave properties of light based on its corpuscular (quantum) nature. Newton correctly estimated the density of the Earth (more than 5-6 times from the water).

In addition, the United Kingdom owes him a monetary reform. As the head of the Mint of Protestant King William II, who was invited to the throne of Holland, Newton, as a beautiful chemist, invented more refractory alloys for money and added a pattern (inscription) on this side to the French side.

Due to his chemical abilities, he created the first reflection telescope according to the scheme of Gregory, through which he saw the rings of Saturn and for which he became a member of the Royal Society of Great Britain.

It should be noted that Kepler and Newton's theories are the first examples of how to build applied mathematical theories. Applied mathematics is characterized by the presence of dimensional constants. Kepler's is the sector velocity and the ratio of the squares of the rotational periods of the planets to the cubes of the large semiclasses of their orbits. In Newton, this is a universal gravitational constant – one of the three fundamental constants of modern physics, the numerical value of which was established for centuries later.

It is thanks to Halley's comet, whose appearance in the eighteenth century was predicted by Halley, in European science the philosophy era the "European philosophy"  $\frac{1}{r^2}$  ( $r$  – the distance between the two objects) has begun in European science. All phenomenological laws of electromagnetism (Coulomb, Ampere, Biot-Savar-Laplace) have a mathematical form similar to the law of universal gravitation. The same philosophy was created by the famous scientist and philosopher of the eighteenth century, Ruzher Joseph Boskowicz (1711–1787 years).

### **Main publications Sir Isaak Newton**

1. De analysi per aequationes numero terminorum infinitas (1669, published 1711)
2. Of Natures Obvious Laws & Processes in Vegetation (unpublished, c. 1671–75)
3. De motu corporum in gyrum (1684)
4. Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica (1687)
5. Scala graduum Caloris. Calorum Descriptiones & signa (1701)
6. Opticks (1704)
7. Reports as Master of the Mint (1701–1725)
8. Arithmetica Universalis (1707)
9. De mundi systemate (The System of the World) (1728)
10. Optical Lectures (1728)
11. The Chronology of Ancient Kingdoms Amended (1728)
12. Observations on Daniel and The Apocalypse of St. John (1733)
13. Method of Fluxions (1671, published 1736)
14. An Historical Account of Two Notable Corruptions of Scripture (1754)

### **References**

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton)
2. Westfall Richard S. (1983) *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*. Cambridge University Press, 928 p.
3. Chandrasekhar Subrahmanyam (1995). *Newton's Principia for the Common Reader*. Oxford: Clarendon Press, 593 p.
4. Gleick James (2004). *Isaac Newton*. Knopf Doubleday Publishing Group, 2004, 288 p.
5. Трохимчук П. П. (1992). Ньютон – мислитель та вчений: до 350-річчя з дня народження. Вісник АН України, вип. 12, с. 63-72.

## **MODULATORS FOR THz RANGE: PRINCIPLES AND MATERIALS**

**A.S. Andrushchak, A.B. Danylov, O.V. Balaban, B.Ya. Venhryn**

*Lviv Polytechnic National University, 12 Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine*

*E-mail: [anatolii.s.andrushchak@lpnu.ua](mailto:anatolii.s.andrushchak@lpnu.ua)*

The THz (THz) frequency range from 0.1 to 10 THz has attracted much attention of researchers due to its multiple uses in modern technology. The low photon energy of THz waves, which causes little damage to living cells and materials, and good propagation properties enable the use of THz waves for biomedical diagnostics and non-destructive imaging, as well as for security imaging and sensing. The high spatial and temporal resolution has led to two key technologies for THz waves, namely THz imaging and THz spectroscopy. THz waves are widely used to study the properties of semiconductor and superconducting materials. The transmission rates above 100 Gbit/s are high enough to consider the frequency range promising for wireless data transmission in wireless communication [1]. The commercial application of the waves requires the design and improvement of THz devices such as source, detector, filter, deflector, modulator, etc.

Depending on the modulation parameter, electromagnetic wave modulation can be divided into polarization, amplitude, and angular modulation. The latter can be divided into frequency and phase modulation. Depending on how it works, it can be classified into passive (the signal modulates itself) and active (the signal is modulated by another light beam) modulation. According to the principle of operation, they can be classified into all-optical, electro-optical, thermo-optical, magneto-optical, etc. Modulation depends not only on the response properties of the material, but also on the modulation scheme. For modulators above 100 GHz, an all-optical modulation scheme is preferred. All-optical modulation is a scheme in which a switching light beam is used to control a signal light beam, and light-light interaction is achieved through optical nonlinear effects in nonlinear media. All-optical modulation can be divided into fiber and free space modulation. According to the change in material properties during the light modulation, it can be classified into absorption modulation (amplitude modulation based on absorption loss) and refractive modulation, which mainly corresponds to changes in the imaginary and real parts of the refractive index, respectively. Other all-optical modulation techniques include optical doping (the electrical conductivity of materials can be tuned by modulating light), thermo-optical modulation (a type of phase modulation that changes the phase of propagating light using a thermo-optical effect, namely, the dependence of refraction index on temperature), and Kerr modulation (phase modulation based on the optical Kerr effect).

The performance of THz modulators can be evaluated by modulation depth and speed, modulation bandwidth, and insertion loss. The modulation depth is determined by the difference in signal intensity between the OFF states and ON as [2]  $MD = (I_{max}(OFF) - I_{min}(ON)) / I_{max}(OFF)$  or in dB scale:  $MD = 10 \log(I_{max}(OFF) / I_{min}(ON))$ . Modulation of THz waves with high speed and high modulation depth is a must for commercial applications. The main purpose of THz modulators is to achieve significant modulation depth. For real THz communication systems, a modulation depth greater than 7 dB is desirable, but 4-5 dB may also be acceptable for specific applications. High carrier density, short lifetime, and high mobility of illuminated materials are the main limitations for modulation depth and response speed. The parameters are interrelated and often have different effects on the key parameters of the modulators. Namely, the separation of electrons and holes can increase the modulation depth, but also leads to a decrease in the speed of modulator operation. Similar to active devices in the infrared range, while THz sources and detectors have recently seen rapid development, THz wave modulation still lacks efficient devices. It is difficult to find natural broadband material with high-speed response to THz wavebands, and traditional modulation methods are not quite applicable for THz wavebands. The

modulation speed of an all-optical modulator usually depends on the material's intrinsic properties, such as phonon relaxation and electron-phonon interaction, and physical properties such as mechanical flexibility, nonlinear optical response, tunable band gap, etc.

Over the past two decades, THz modulators based on hybrid multiquantum well structures, doped semiconductors, photonic and liquid crystals (LC), and metamaterials have been continuously developed and their performance improved. The main materials are traditional semiconductors (LT-GaAs, Si, Ge), two-dimensional solids, VO<sub>2</sub>, LC, two-dimensional electron gas metasurfaces, etc. The atomic thickness of 2D materials leads to a short light-matter interaction length. Therefore, to increase the parameter, various structures with optical cavities, capacitors and multiple reflections in resonators are proposed. One of the most promising materials for THz applications is graphene. Graphene strongly interacts with the THz wave due to the intraband transition, which makes it promising for the detection, generation, and modulation of THz waves. The strong and broadband light-matter interaction as well as the optical and electrical conductivity in graphene can be controlled by tuning the Fermi energy via electrical gating or optical pumping. In addition to the linear optical response to a THz wave, graphene exhibits strong nonlinearity in the visible and near-infrared spectral range, including saturated absorption, the Kerr effect, and optical bistability. These excellent optical properties mentioned above make graphene a promising material for optical modulation. The concentration of carriers in graphene can reach the level of 10<sup>14</sup> cm<sup>-2</sup>. Due to the symmetrical conical band structure of graphene, this carrier characteristic is appropriate for both holes and electrons.

Another type of THz electro-optical modulator can be implemented on semiconductor heterostructures containing a 2D electron gas, where electrons can be depleted by an applied voltage. A limiting factor for the material-based modulators is the low level of electron density, which is less than 10<sup>12</sup> cm<sup>-2</sup>. This results in a low modulation depth of the order of a few percent. Consequently, these devices can only modulate the THz wave with a low depth, which is typically in the range of a few percent. To increase the modulation depth to 30%, combinations of metamaterials or plasmonic structures are mandatory. LCs are good candidates for control materials due to their high birefringence in both the visible and microwave ranges of the electromagnetic spectrum, low operating voltage, short electro-optical response time, and wide operating temperature range. However, such LC modulators have a number of disadvantages, such as the need to use thick LC layers due to the long THz wavelength, which leads to high operating voltages and long response times. This problem can be overcome by using a large birefringence LC, modulation techniques, and by varying the angle of incidence of the THz radiation onto the modulator at an oblique one.

Over the past 20 years, the performance of THz wave modulators has increased significantly. The modulation speed in the amplitude modulator increased by a factor of 10<sup>6</sup> [3] and reached more than one million Kbit/s with a modulation efficiency of up to 100% (the result was obtained for GaN HEMT structures), and a phase modulation of 2.41 rad and up to 2 $\pi$  [4] was achieved for the VO<sub>2</sub>-based phase modulator. But still the search for a better material and modulator design continues.

**Acknowledgements.** This work was supported by the National Research Foundation of Ukraine (project #2021.01/0410) and European Union's Horizon 2020 research and innovation program under the Marie Skłodowska-Curie Grant Agreement #778156.

1. Sudipta Das, Anveshkumar Nella, Shobhit K. Patel THz Devices, Circuits and Systems. Materials, Methods and Applications. Springer, 2022.
2. Ziming Wang, Jie Qiao, Shugi Zhao, Shilei Wang, Chuan He, Xutang Tao, Shanpeng Wang. Recent progress in THz modulation using photonic structures based on two-dimensional materials. *InfoMat*. 2021; 3(10): 1110-1133. <https://doi.org/10.1002/inf2.12236>.
3. Lan Wang, Yaxin Zhang, Xiaoging Guo, Ting Chen, Huajie Liang, Xiaolin Hao, Xu Hou, Wei Kou, Yuncheng Zhao, Tianchi Zhou, Shixiong Liang and Ziqiang Yang. A Review of THz Modulators with Dynamic Tunable Metasurfaces. *Nanomaterials*. 2019; 9(7): 965. [doi:10.3390/nano9070965](https://doi.org/10.3390/nano9070965).
4. Hongxin Zeng, Sen Gong, Lan Wang, Tianchi Zhou, Yaxin Zhang, Feng Lan, Xuan Cong, Luyang Wang, Tianyang Song, YunCheng Zhao, Ziqiang Yang and Daniel M. Mittleman. A review of THz phase modulation from free space to guided wave integrated devices. *Nanophotonics*. 2022; 11(3):415-437. <https://doi.org/10.1515/nanoph-2021-0623>.

## SINGLE CRYSTAL INVESTIGATION OF THE $\text{GdNi}_{4.04}\text{Si}_{0.96}$ COMPOUND

Bohdana Belan<sup>1</sup>, Mariya Dzevenko<sup>2</sup>, Dorota A. Kowalska<sup>3</sup>, Roman Gladyshevskii<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Inorganic Chemistry, Ivan Franko National University of Lviv, Kyryla i Mefodiya St. 6, 79005 Lviv, Ukraine, e-mail address: bohdana.belan@lnu.edu.ua

<sup>2</sup>Krutyy Heroes Lviv Lyceum with intensive military and physical training, Pasichna Str. 68, 79038 L'viv, Ukraine, Ukraine, Tel.: +38 032 2712285, e-mail address: mashadzev@gmail.com

<sup>3</sup>Institute of Low Temperature and Structure Research, Polish Academy of Sciences, Okólna 2, 50-422 Wrocław, Poland

The rare earth ternary silicide compounds are promising both from a fundamental point of view and for their potential applications. The isothermal sections have been constructed for the ternary system with La, Ce, Nd, Gd, Y, Dy, Ho and Er [1-7]. We synthesized the  $\text{GdNi}_4\text{Si}$  phase and investigated the crystal structure using X-ray single crystal diffraction. The results of this investigation are reported in this paper.

The starting materials for the preparation of the alloys were ingots of erbium, nickel, and silicon with nominal purities  $\text{Gd} \geq 99.8$  wt.%,  $\text{Ni} \geq 99.99$  wt.%, and  $\text{Si} \geq 99.999$  wt.%. The sample was synthesized by arc-melting under a purified argon atmosphere, using Ti as a getter and a tungsten electrode. To achieve high efficiency of the interaction between the components, the sample was melted twice. The ingot was annealed at 870 K in an evacuated quartz ampoule for 720 h and subsequently quenched in cold water. The weight loss during the preparation of the sample was less than 1 % of the total mass, which was 2 g.

The single crystals were selected by mechanical fragmentation from the sample with the composition  $\text{Gd}_{16.7}\text{Ni}_{66.7}\text{Si}_{16.6}$ . The composition of the investigated single crystal was analyzed by EDS employing a scanning electron microscope (FEINovaNanoSEM 230) equipped with an EDAX Genesis XM4 spectrometer. The experimentally determined composition of the grain ( $17 \pm 2$  at.% Er:  $60 \pm 2$  at.% Ni:  $23 \pm 2$  at.% Si) is rather close to the composition calculated from the structure refinement. The photo of single crystal is shown in Fig. 1.

The crystal structure of the phase was investigated by X-ray single-crystal diffraction. X-ray diffraction was performed at room temperature on an Oxford Diffraction X'calibur four-circle diffractometer equipped with an Atlas CCD camera (graphite-monochromatized  $\text{MoK}\alpha$  radiation). Data collection and reduction were performed using CRYSDALIS CCD and CRYSDALIS RED programs taking into account a numerical absorption correction. The structure was solved by Direct Methods and refined by the SHELXL-2018/3 program package [8-9] with anisotropic atomic displacement parameters.

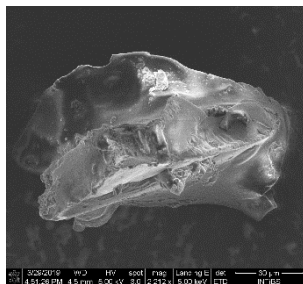


Fig. 1. SEM photograph of  $\text{GdNi}_{4.04}\text{Si}_{0.96}$  single crystal.

The structure of new phase was solved using the model of  $\text{YNi}_4\text{Si}$ -type structure [10] with one crystallographic position occupied by a mixture of the Ni and Si atoms. The crystallographic data and details on the data collection for the investigated single crystal are listed in Table 1. It should be noted, that the final residual parameters are rather high due to the low single crystal quality. The final atomic positional and displacement parameters of the compound are listed in Table 2. The crystallographic positions  $2c$ ,  $4e$  and  $4j$  are fully occupied by Gd and Ni. However, the



position 2a is occupied by the mixture of the Ni and Si atoms. Therefore, the refined composition of the compound can be described as GdNi<sub>4.04</sub>Si<sub>0.96</sub>.

**Table 1:** Crystal data and structure refinement details for GdNi<sub>4.04</sub>Si<sub>0.96</sub>

Empirical formula	GdNi <sub>4.04</sub> Si <sub>0.96</sub>
Formula weight	421.56
<i>T</i> , K	295(2)
Space group	<i>Cmmm</i> (No. 65)
Pearson code	<i>oC12</i>
Unit cell dimensions, Å	<i>a</i> = 5.057(3), <i>b</i> = 8.272(3), <i>c</i> = 3.964(2)
Volume, Å <sup>3</sup>	165.8(1)
No. formula units per unit cell	2
Calculated density, g·cm <sup>-3</sup>	8.443
Absorption coefficient, mm <sup>-1</sup>	42.313
F(000), <i>e</i>	381
Crystal size, mm	0.128×0.091×0.024
$\theta$ range for data collection	4.6640–29.5650
Index ranges	±6, ±10, ±4
Measured reflections	1997
Independent reflections / <i>R</i> <sub>int</sub>	108 / 0.1517
Reflections with <i>I</i> > 2 $\sigma$ ( <i>I</i> ) / <i>R</i> <sub><math>\sigma</math></sub>	99 / 0.0442
Data / restraints / parameters	108 / 18 / 16
Goodness-of-fit on <i>F</i> <sup>2</sup>	1.203
Final <i>R</i> 1 / <i>wR</i> 2 [ <i>I</i> > 2 $\sigma$ ( <i>I</i> )]	0.1166 / 0.2933
Final <i>R</i> 1 / <i>wR</i> 2 (all data)	0.1216 / 2992
Largest diff. peak / hole, <i>e</i> Å <sup>-3</sup>	9.579 / -3.819

**Table 2:** Atomic coordinates and thermal displacement parameters for GdNi<sub>4.04</sub>Si<sub>0.96</sub>

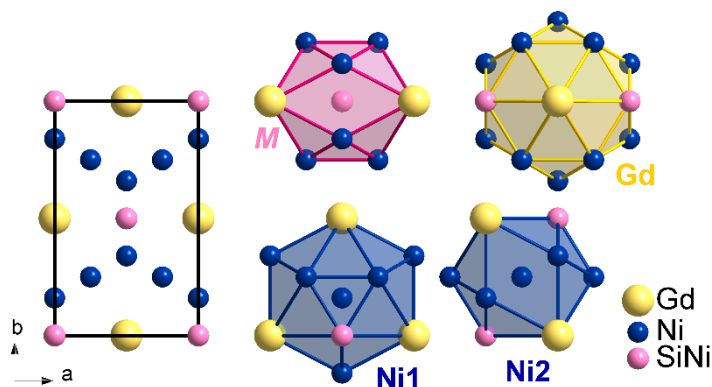
Atom	Wyckoff Site	<i>G</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>U</i> <sub>eq</sub> , Å <sup>2</sup>
Gd	2 <i>c</i>	1	0	1/2	1/2	0.026(2)
Ni1	4 <i>j</i>	1	0	0.1603(10)	1/2	0.022(3)
Ni2	4 <i>e</i>	1	1/4	1/4	0	0.022(3)
<i>M</i>	2 <i>a</i>	0.96Si + 0.04Ni	0	0	0	0.010(8)
Atom	<i>U</i> <sub>11</sub>	<i>U</i> <sub>22</sub>	<i>U</i> <sub>33</sub>	<i>U</i> <sub>12</sub> = <i>U</i> <sub>13</sub>	<i>U</i> <sub>23</sub>	
Gd	0.039(3)	0.034(3)	0.004(3)	0	0	
Ni1	0.036(5)	0.028(5)	0.002(5)	0	0	
Ni2	0.031(5)	0.031(5)	0.011(5)	-0.001(4)	0	
<i>M</i>	0.013(9)	0.017(9)	0.002(9)	0	0	

The interatomic distances ( $\delta$ ), the values of interatomic distances reductions from the sum of atomic radii and coordination numbers of atoms for GdNi<sub>4.04</sub>Si<sub>0.96</sub> are listed in Table 3 (values of the atomic radii were taken from [11]:  $r(\text{Gd}) = 1.802 \text{ \AA}$ ,  $r(\text{Ni}) = 1.240 \text{ \AA}$ ,  $r(\text{Si}) = 1.320 \text{ \AA}$ ). The majority of interatomic distances are in good agreement with the sum of atomic sizes. The projection of the crystal structure of GdNi<sub>4.04</sub>Si<sub>0.96</sub> onto the *ab*-plane and the coordination polyhedra of the atoms are shown in Fig. 2. The coordination polyhedra for the Gd atoms have 20 vertices. The coordination sphere of the rest of the atoms consists of twelve atoms of all types each. The Ni1 and mixture atoms centre the icosahedra, while the anticuboctahedron is the coordination polyhedral of the Ni2 atom. The GdNi<sub>4.04</sub>Si<sub>0.96</sub> structure can be considered as a

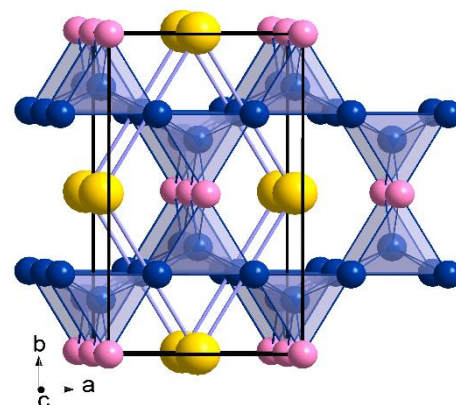
packing of trigonal bipyramids  $[\text{Ni}_2\text{Ni}_2\text{M}]$ , which are connected through nickel atoms along the  $c$  direction and mixture atoms in the  $ab$  plane. One unit cell contains two layers of such bipyramids. Six such units build up ring units, which are similar to the corresponding hexagonal units in the parent  $\text{CaCu}_5$  structure. The Er atoms fill the holes in the hexagonal rings (Fig. 2).

**Table 3:** Interatomic distances ( $\delta$ ),  $\Delta$  values ( $\Delta = 100(\delta - \sum r) / \sum r$ , where  $\sum r$  is the sum of the respective atomic radii) and coordination numbers (CN) of  $\text{GdNi}_{4.04}\text{Si}_{0.96}$  compound ( $r(\text{M}) = 0.04r_{\text{Ni}} + 0.96r_{\text{Si}}$ ).

Atoms	$\delta$ , Å	$\Delta$ , %	CN	Atoms	$\delta$ , Å	$\Delta$ , %	CN		
Gd	2 Ni1	2.810(8)	-7.6	20	Ni2	2 Si	2.424(1)	-5.2	12
	4 Ni1	2.855(4)	-6.1		4 Ni1	2.465(3)	-0.6		
	8 Ni2	3.131(1)	2.9		2 Ni2	2.529(2)	2.0		
	4 Si	3.213(1)	3.0		4 Gd	3.131(1)	3.0		
	2 Gd	3.964(2)	10.0		Si	4 Ni1	2.385(5)	-6.7	
Ni1	2 Si	2.385(5)	-6.7	12	4 Ni2	2.424(1)	-5.2	12	
	4 Ni2	2.465(3)	-0.6		4 Gd	3.213(1)	3.0		
	1 Ni1	2.652(12)	6.9						
	1 Gd	2.810(8)	-7.6						
	2 Gd	2.855(4)	-6.1						
	2 Ni1	2.932(6)	18.2						



**Fig. 2.** A projection of the  $\text{GdNi}_{4.04}\text{Si}_{0.96}$  unit cell on  $ab$ -plane and the coordination polyhedra of the atoms.



**Fig. 3.** The hexagonal rings of trigonal bipyramids  $[\text{Ni}_2\text{Ni}_2\text{M}]$  in the  $\text{GdNi}_{4.04}\text{Si}_{0.96}$  structure. The unit cell of the  $\text{CaCu}_5$  structure is indicated by blue lines.

The  $\text{GdNi}_{4.04}\text{Si}_{0.96}$  compound belongs to the  $\text{CaCu}_5$ -related structures, which are frequently observed in the ternary rare-earth systems containing transition metals and silicon.

**Acknowledgments.** This work was partly supported by the Simons Foundation (Award Number: 1037973).

- [1] Bodak O.I., Gladyshevskii E.I., *Ternary systems containing rare earth metals*; Vyscha shkola: Lvov, 1985.
- [2] Zhou H., Yao Q., Yuan S., Liu J., Deng H., *J. Alloys Compd.* 2004, 366 (1–2), 161–164.
- [3] Bodak O., Salamakha P., Sologub O., *J. Alloys Compd.* 1997, 256 (1–2), L8–L9.
- [4] Chen X., Zhuang Y., *Phase Transitions*, 2017, 90 (7), 742–750.
- [5] Chen X., Gong J., Luo J., Yang W., Qing X., *J. Rare Earths*. 2020, 38 (9), 969–975.
- [6] Xiang Chen, Chao Ni, Dang-Chao Wang, *J. Phase Equilib. Diffus.*, 2020, 41, 138–147.
- [7] Matvijishyn R.I. *Phd Thesis* Lviv State University, (2010) 22 P (in Ukrainian).
- [8] CRYSTALIS PRO Software System (version 1.171), *Intelligent Data Collection and Processing Software for Small Molecule and Protein Crystallography*. Rigaku Oxford Diffraction: Yarnton, Oxfordshire (U. K.), 2015.
- [9] Sheldrick G. M., *Acta Crystallogr.* 2015, C71, 3–8.
- [10] Senchuk O., Demchenko G., Demchenko P., Gladyshevskii R. *Visnyk Lviv Univ., Ser. Chem.*, 2013, 54, 77–83.
- [11] Emsley J., *The Elements*, 3-th edition. Oxford University Press, Oxford, 1998.

## INTERACTION OF THE COMPONENTS IN THE SYSTEM Eu-Ag-Co-Si AT 670 K AND 40% AT.% Si

B. Belan<sup>1</sup>, M. Dzevenko<sup>2</sup>, B. Kuzhel<sup>1</sup>, R. Gladyshevskii<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Inorganic Chemistry, Ivan Franko National University of L'viv, Kyryla and Mefodia Str. 6,  
79005 L'viv, Ukraine

e-mail: bohdanabelan@gmail.com

<sup>2</sup> Kruty Heroes Lviv Lyceum with intensive military and physical training,  
68 Pasichna Str., 79038 L'viv, Ukraine

Phase equilibria in the Eu-Ag-Co-Si system were investigated at  $T = 670$  K in the region 0-40 at. % of P, employing X-ray powder diffraction (Fig.1) [1, 2].

The samples were prepared by arc melting under high-purity argon on a water-cooled copper hearth. The starting materials were high-purity elements: europium 98.8%, silver 99.9%, cobalt 99.99%, silicon 99.9999%. The alloys were annealed for 2 weeks in evacuated quartz ampoules at 670 K, and subsequently quenched in water.

The phase analysis was performed by X-ray powder diffraction. The lattice parameters were determined using a powder diffractometer (DRON-2.0M, Fe  $K\alpha$  radiation or DRON-3.0, Cu  $K\alpha$ ). The crystal structures of the compounds were studied by X-ray powder diffraction (automatic diffractometer HZG-4a, Cu  $K\alpha$ ). More detail crystal structure investigation of some compounds was performed by X-ray single crystal method. The reflections intensities were measured with graphite-monochromatized Mo  $K\alpha$  radiation on an Oxford X'calibur Atlas. The structures were solved by direct methods and refined by the SHELX-2018/3 program package [3] with anisotropic atomic displacement parameters. The microstructures of some alloys were studied visually using MIM8 and Neophot-30 microscopes. Electric resistance and thermoelectric power were measured with an accuracy of not worse than 5 and 10%, respectively. Magnetic susceptibility was measured by the Faraday method with 3% accuracy.

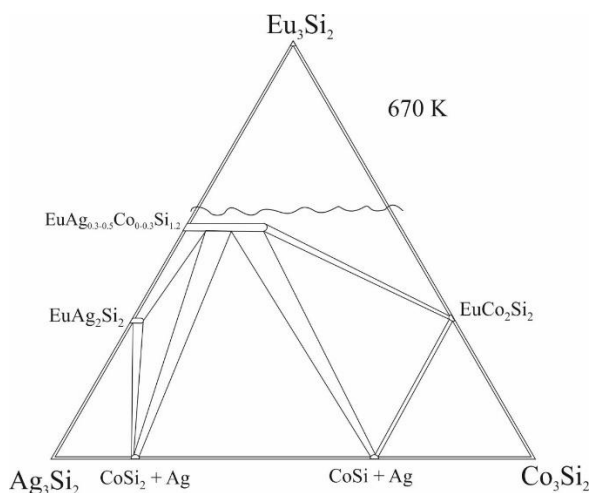


Fig. The isothermal section of the Eu-Ag-Co-Si system at  $T = 670$  K in the region 0-40 at.% Si.

It was confirmed that at 670 K the following ternary compounds exist:  $\text{EuAg}_2\text{Si}_2$  and  $\text{EuCo}_2\text{Si}_2$ , both are isotypical to the structure of  $\text{CeGa}_2\text{Al}_2$ -type. The lattice parameters determined for  $\text{EuAg}_2\text{Si}_2$  are  $a = 4.315(1)$   $c = 10.463(2)$  Å.

For the first time, the crystal structure of the  $\text{EuCo}_2\text{Si}_2$  compound was investigated using the single crystal X-ray method: the structural type  $\text{CeGa}_2\text{Al}_2$ , space group  $I4/mmm$ ,  $a = 3,9217(1)$   $c = 9,8378(5)$  Å; Pearsom code  $tI10$ ,  $R = 0.0139$   $Rw = 0.0323$ , 101 independent reflections; Eu  $2a$  0

$0\ 0\ U_{\text{eq}} = 0.0049(2)\ \text{\AA}^2$ ;  $\text{Co}\ 4d\ 0\ 1/2\ 1/4\ U_{\text{eq}} = 0.0047(2)\ \text{\AA}^2$ ;  $\text{Si}\ 4e\ 0\ 0\ 0.3721(1)\ U_{\text{eq}} = 0.0051(3)\ \text{\AA}^2$ . Analysis of interatomic distances (Eu-Co atoms = 3.1455(1), Eu-Si = 3.0454(6), Co-Co = 2.7731(1), Co-Si = 2.2993(7) and Si-Si = 2.518(3)  $\text{\AA}$ ) showed that the Si-Si distance is slightly smaller than the sum of the metallic radii of silicon atoms ( $r(\text{Si}) = 1.32\ \text{\AA}$ ), but larger than the sum of the covalent radii ( $r(\text{Si}) = 1.11\ \text{\AA}$ ). Considering these results, it can be stated that the covalent component is essential in the bonds between Si atoms in the structure of  $\text{EuCo}_2\text{Si}_2$  compound (Fig.2).

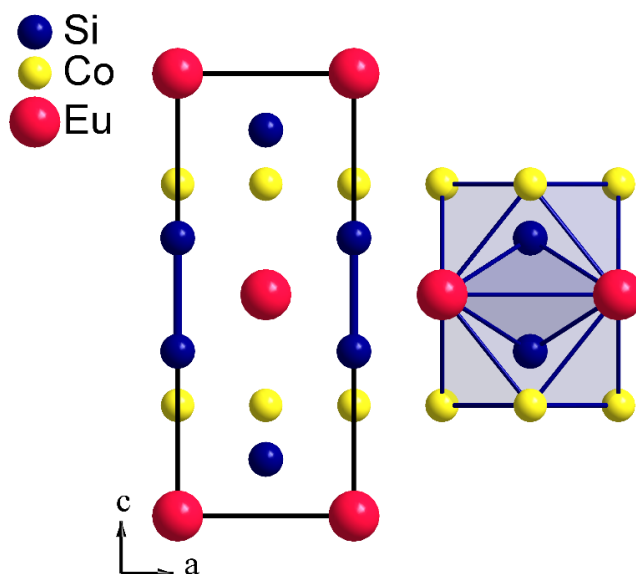


Fig.2. Coordination polyhedra of Si atoms in the  $\text{EuCo}_2\text{Si}_2$  compound structure.

The existence of intermetallic  $\text{EuAg}_{0.8}\text{Si}_{1.2}$  with  $\text{AlB}_2$  structure type was also confirmed. In the Eu-Ag-Si ternary system, this compound is characterized by the formation of the homogeneity region  $\text{EuAg}_{0.92-0.50}\text{Si}_{1.08-1.50}$  ( $a = 4.202(1)\text{--}4.150(1)$ ,  $c = 4.463(2)\text{--}4.477(3)\ \text{\AA}$ ). In the Eu-Ag-Co-Si system the composition for this compound was determined as  $\text{EuAg}_{0.8-0.5}\text{Co}_{0-0.3}\text{Si}_{1.2}$ . The lattice parameters in the homogeneity ranges of this quaternary compound are changes very slightly while silver is replaced by cobalt. A continuous series of solid solutions based on the isostructural compounds  $\text{EuAg}_2\text{Si}_2$  and  $\text{EuCo}_2\text{Si}_2$  at the research temperature has not been established. This can be explained by the immiscibility of the components in the Co-Ag system, which significantly affects the interaction of the components in the Eu-Ag-Co-Si system.

The temperature dependence of the electrical resistance of  $\text{EuAg}_2\text{Si}_2$  compound (Fig.3) shows a typically metallic behavior,  $\rho/\rho_{300\text{K}}$  increasing monotonically with increasing temperature. Temperature dependence of the thermoelectric power of  $\text{EuAg}_2\text{Si}_2$  compounds is typical for intermetallic compounds with silicon (Fig.4). The results of the magnetic susceptibility measurements are displayed in Fig. 5. The temperature range applied captures the paramagnetic state with the susceptibility following the Curie-Weiss law.

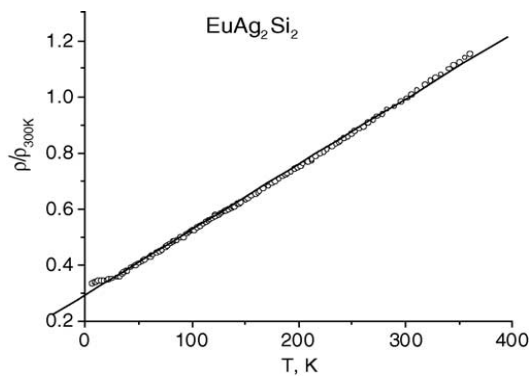


Fig. 3. Temperature dependence of the relative resistance  $\rho/\rho_{300K}$  of  $\text{EuAg}_2\text{Si}_2$

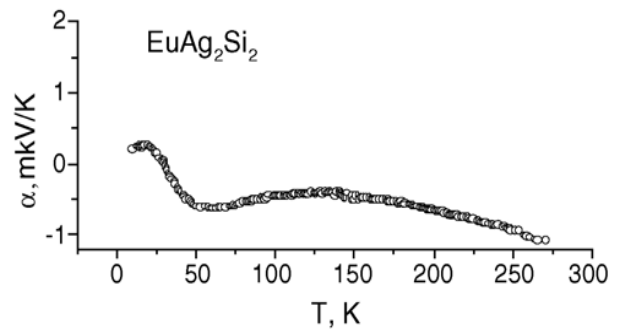


Fig. 4. Temperature dependence of the thermoelectric power of  $\text{EuAg}_2\text{Si}_2$

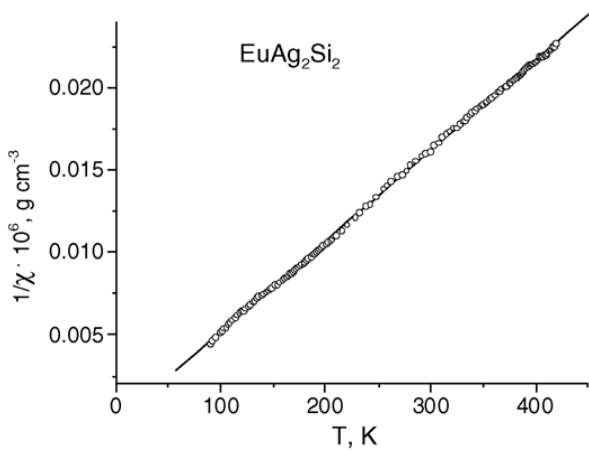


Fig. 5. Temperature dependence of the inverse magnetic susceptibility of  $\text{EuAg}_2\text{Si}_2$

**Acknowledgments.** This work was partly supported by the Simons Foundation (Award Number: 1037973).

[1] B.D. Belan, Ph.D. Thesis, University of Lvov, 1988.

[2] P. Villars, K. Cenzual, Eds. Pearson's Crystal Data: Crystal Structure Database for Inorganic Compounds (release 2018/19) (ASM International®, Materials Park, Ohio (USA), 2018).

[3] Sheldrick G. M., *Acta Crystallogr.* 2015, *C71*, 3–8.

## PIEZO-OPTIC INTERACTION OPTIMIZATION IN CRYSTALS OF LANGASITE GROUP

Oleh Buryy<sup>1</sup>, Nataliya Demyanyshyn<sup>2\*</sup>, Bohdan Mytsyk<sup>2</sup>, Yuliia Maksishko<sup>2</sup>, Dmytro Sugak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

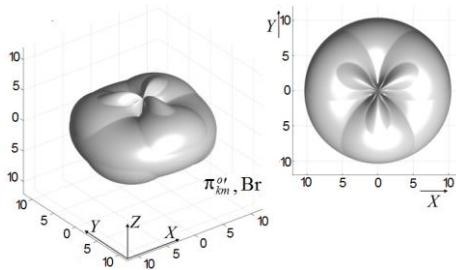
<sup>2</sup>Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAN of Ukraine, Lviv, Ukraine, [nmdem@ipm.lviv.ua](mailto:nmdem@ipm.lviv.ua)

There is enough literature information necessary for a complete study of the photo-elastic properties of crystals of the langasite group [1-4]. It allows using experimental methods to fill matrices of absolute piezo- and elasto-optic coefficients (respectively POC  $\pi_{im}$  and ELOC  $p_{im}$ ) and calculate the acousto-optical figure-of-merit  $M_2$ . In order to reveal the maximal possible values of the photoelasticity of such crystals and to assess the possibility of their practical using, it is necessary to study the anisotropy of the mentioned effects.

Using the method of extreme surfaces [5], the maximal achievable values of the piezo-optic effect were determined in selected crystals of the langasite group. At that the maximum values of changes of the path difference  $\delta\Delta_k$  were used as the studied optical parameters, reduced to unit values of mechanical stress and sample thickness  $d_k$  (POC by the path difference  $\pi^o_{km}$ ):

$$\pi^o_{km} = 2\delta\Delta_k / (\sigma_m d_k) = \pi_{im} n_i^3 - \pi_{jm} n_j^3 - 2\Delta n_k S_{km},$$

where  $n_i, n_j$  are the refraction indices for the light waves polarized in mutually perpendicular directions,  $\Delta n_k$  is the birefringence in the direction of light propagation  $k$ ,  $S_{km}$  are the elastic compliance coefficients; the angles determining the directions of light propagation  $\theta_k, \varphi_k$  and the uniaxial pressure applying  $\theta_m, \varphi_m$  were used as parameters of optimization.



**Fig. 1.** The example of wave vector extreme surface of  $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  crystal (optimization in accordance with experimental data).

The extreme surfaces are constructed according both to experimentally obtained parameters and the ones calculated by the quantum mechanical method. The results are compared with the ones for quartz crystals. The optimal geometry of the piezo-optic interaction in the studied crystals is determined and the effective cuts of the crystal samples are given.

*Funding.* The work was partially supported by the National Research Foundation of Ukraine (project No 2020.02/0211), European Union's Horizon 2020 research and innovation program under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 778156.

### REFERENCES

1. Shi X., Yuan D., Yin X., Wei A., Guo Sh., Yu F. Crystal growth and dielectric, piezoelectric and elastic properties of  $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$  single crystal // Sol. State Comm. – 2007. – V. 142. – P. 173-176.
2. Kaminskii A., Silvestrova I., Sarkisov S., Denisenko G. Investigation of trigonal  $(\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  crystals. II. Spectral laser and electromechanical properties // Phys. Stat. Sol. (a) . – 1983. – V. 80. – P. 607-620.
3. Zhang Sh., Zheng Y., Kong H., Xin J., Frantz E., Shrou T.R. Characterization of high temperature piezoelectric crystals with an ordered langasite structure // J. Appl. Phys. – 2009. – V. 105. – P. 114107/1-6.
4. Mytsyk B., Suhak Y., Demyanyshyn N., Buryy O., Syvorotka N., Sugak D., Ubizskii S., Fritze H. [Full set of piezo-optic and elasto-optic coefficients of  \$\text{Ca}\_3\text{TaGa}\_3\text{Si}\_2\text{O}\_{14}\$  crystals at room temperature](#) // Applied Optics. – 2020. – V.59, No 28. – P. 8951–8958.
5. [Buryy, O., Andrushchak, A. The global maxima of piezo-optic effect in crystalline materials determined by extreme surfaces method](#) //14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018 - Proceedings, 2018, 2018-April, pp. 449–453

## **PHYSICAL MODELING OF THE CLIMATE EARTH**

**V. Fourman**

*Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskij Str. 4, UA – 79005 Lviv*  
*e-mail: fourman@i.ua*

Forecasting the climate and the consequences of its changes is a key task of climate science, in the solution of which high technologies and, above all, physical and mathematical modeling have no alternative. Climate is a global concept, and the problem of its changes is a global problem, the solution of which requires the synthesis of diverse knowledge from various fields of the Earth Sciences and Physics and Mathematics. The natural (planetary-cosmic) nature of warming, as a destabilizing factor, excludes the effect on it, but it is extremely important that it does not reinforce it. The first impulse of cooling is expected only around 2030 [1, 2]. It is difficult to imagine how the climate of the Earth would have changed if we entered this stage of cooling, having already scattered in the atmosphere sulfur compounds to combat warming. It is fair, at the same time, to base the development of mankind on a strategy of adaptation to nature, including to a changing climate [3, 4, 5]. However, the climatic component of environmental issues contributes significantly to anthropogenic factors. It may be that the anthropological release of carbon dioxide into the atmosphere is relatively small compared with the oceanic.

is well known that the composition of the atmosphere is largely regulated by the earth's biotope and the negative effect of the disturbed eco-systems on the global carbon balance. In theory, the greenhouse effect [1, 2, 6], in particular, suggests that small concentrations of greenhouse gases practically do not affect the temperature of the air in the troposphere. This is due to the fact that after the absorption of greenhouse gases in-fractional (thermal) radiation, the radiation itself disappears, and its energy passes into the energy of the vibrational motions of air molecules. As a result, the irradiated volume of air warms up, expands and quickly rises to the upper layers of the troposphere, where it is cooled, and it changes the already cooled air down, and the air temperature in the troposphere again falls to the level of the adiabatic distribution, that is, it does not change practically.

A similar situation should be observed with the heating of air when condensation in it moisture. At significant concentrations of greenhouse gases there is developing - cold weather, not warming of the climate. Thus, with the apparent replacement of the nitrogen-oxygen atmosphere of the Earth with carbon dioxide, but with the same earth pressure of 1 atm, the average temperature of the earth's troposphere decreases by 6-7 ° C, rather than rising, as is commonly believed. This is due to the fact that due to a large guster of carbon dioxide, the carbon dioxide atmosphere appears to be more subtle than that of nitrogen-oxygen. In addition, the heat capacity of carbon dioxide is noticeably lower than the heat of nitrogen and oxygen. Therefore, the carbon dioxide atmosphere, like a thin blanket with a lower heat capacity, keeps the heat of the Earth worse, the longer the nitrogen-oxygen atmosphere, which has more and more heat capacity. This heat output from the troposphere is mainly due to convection, which provides much more efficient heat transfer than radiation. Hence it becomes apparent that with the increase in the concentration of carbon dioxide and the absorption of thermal radiation by it, the convective mass transfer of air, which carries this heat outside the troposphere, is growing even more. From the theory of the greenhouse effect [1], in particular, it follows that small concentrations of greenhouse gases practically do not affect the temperature of the air in the troposphere. This is due to the fact that after the absorption of greenhouse gases by the infrared (thermal) radiation, the radiation itself disappears, and its energy passes into the energy of the vibrational movements of air molecules. As a result, the irradiated volume of air warms up, expands and quickly rises in the upper layers of the troposphere, where it is cooled, and it changes the already cooled air down, and the temperature of the air in the troposphere. It is explained by this apparent paradox that the heat transfer from the troposphere is mainly due to convection, which provides a much more effective transfer of heat than radiation. From here it becomes clear that with the increase in the concentration of carbon dioxide and the absorption of thermal radiation, the convective mass transfer of air, which carries this heat outside the troposphere, increases even more. From this it is clear that

modern warming has a pronounced natural origin and may soon be replaced by a new phase of cooling [4-6]. Such variations of climate are clearly determined by periodic (pulsating) changes in the solar luminosity [2, 3, 6], which, in turn, are probably related to fluctuations in the size and area of the Sun depending on the intensity of nuclear reactions occurring in its bowels [2]. In this regard, it is necessary to draw attention to the fact that the Kyoto Protocol, in addition to the fact that it does not have a scientific substantiation, in its essence, also contradicts the physics of natural processes and completely incorrectly explains the influence on the climate of anthropogenic actions. Thus, in proportion to the increase of the partial pressure of carbon dioxide in the atmosphere, the efficiency of agriculture and the speed of the restoration of forests, as well as the drought-tolerance of cereal crops, including wheat, increases. The phenomena associated with various kinds of nonlinearities are far from single, and sometimes they can be global in character. In this research way it makes sense to look for a solution to the problem of how discrete structures arise when continuously changing parameters of the abiotic medium [3 - 5].

It is worth emphasizing that the main aspirations of scientific knowledge in the field of ecology and earth sciences should be oriented not only to find ways to transform and replace degenerating natural environments, but also effective means of restoring natural systems [5] and existing methods of compensation, but also adaptation to natural challenges, such as global warming, affecting all the ecosystems of our planet Earth. The climate of the planet is determined by the process of heat and mass transfer in the solar system - the atmosphere - the ocean - the cryosphere - the biosphere. The main factors influencing this process are solar activity, the albedo of the Earth, the composition of the atmosphere, the general circulation, the intensity of the processes in the biosphere. The climate change outlook is even more challenging than the weather forecast for the coming days. Millennium prediction, (in particular, the onset of a new glacial period), is an extrapolation from the past experience [1, 5]. Models still can not describe a combination of very weak but prolonged natural factors. As for hundreds of years, then models have already learned to calculate the average temperature. With their help, you can describe the course of the Earth's temperature from preindustrial epoch to our days. Somewhat worse, models can describe the regional and seasonal trends of temperature, even worse - changes in the rainfall regime. The basis of modern models of the Earth's climate is the theory of the general circulation of the atmosphere and the ocean, with the central direction of their development is an increasingly accurate description of all physical processes in the atmosphere and oceans of the Earth, involved in the formation of the climate. Such a direction of approach can guarantee the result of the correct description of the response of the climatic model to small external influences, but it is also good to reproduce not only the climate itself, but also the dynamics of the climate system. The equations of classical equilibrium thermodynamics are used to describe the models. The Navier-Stokes equation for a compressible fluid is valid for describing the dynamics of the atmosphere and the ocean.

Since the Reynolds equations are used in modern models because of the computational possibilities - averaged over some spatial and temporal scales of the Navier-Stokes equation, it is assumed that there is a fundamental possibility of their closure. The closure procedure assumes that the effects of sub-scale scales (scales smaller than the scale of averaging) can be expressed through the characteristics of processes of large scales. These processes include: - radiation transfer (short-wave and long-wave radiation), phase transitions of moisture and the process of local precipitation, convection, boundary and internal turbulent layers, small-scale orography, dissipation and diffusion, processes in the surface layer, wave resistance (interaction of small-scale gravitational waves) Thus, even within the framework of the problem of research of the response of the climate system to small disturbances it is necessary to recreate not only the internal climate variability, but also the average state. This problem is devoted to a very interesting international program AMIP- a program comparison of atmospheric models, which resulted in the discovery of many key physical mechanisms responsible for the formation of the climate.

One of the main tasks of modeling a regional climate is the development of a high degree of detail of its characteristics, the study of the features of the hydrographic cycle, the assessment of the



possibility of extreme events, the study of the effects of regional climate change for the environment. Naturally, the formulation of climate models requires conducting field experiments, the analysis of which results allows formulate more and more accurate models of specific physical processes that determine the dynamics of the climate system. However, such experiments do not solve the main task - to determine the sensitivity of the real climate system to small external influences. At the same time, the problem of constructing a real physical model of the climate can be considered as a program to study the sensitivity of the "ideal" physical model of the atmosphere to the level of description of various physical processes and the effects of climate change for the environment. Modelling for numerical simulations with a three-dimensional coupled ocean-atmosphere climate model have been performed to investigate the sensitivity of the climate system to both kinds of changes in the forcing. Indeed, if climate changes due to the Sun were large and rapid, this would make it more difficult to extract the anthropogenic effects from precise records of instrumental data over the past century.

What kind of reaction can be expected from biota in conditions of instability and catastrophes caused by a global change in temperature and circulation in the atmosphere, or, for example, by an ever-increasing artificial change in the flow of biogenes? These are only a part of the scientific problems that require its decision in determining the limits of anthropogenic interference in the natural system [2, 6]. Of great importance in understanding the truth of environmental processes is, for example, the problem of non-linear dependencies of biological processes on the abiotic parameters of the medium.

Such a forecast can be attempted to realize through the theory with consideration of the most important quantitative data on the main links of the climate system of the atmosphere - the ocean - land and the use of information about modern theoretical methods for their description. However, further development of such processes is difficult to predict because of the uncertainty of the reaction of the temperature of the surface layer to changes in the density of clouds, their height, humidity, temperature, phase state and distribution of particles in sizes in different layers of the atmosphere, as an environment where climatic modeling is implemented. This is one of the most important uncertainties of modern climate models. Currently, climatic models are intensively developing thanks to the improvement of computer technology. This "parallelism" in development is needed to understand the mechanisms responsible for the reproduction of various climatic characteristics. More detailed understanding relies on numerical models of the climate that integrate the basic dynamical and physical equations describing the complete climate system. The processing of the results of numerical experiments to create a model of the current climate in the framework of international programs showed: the main characteristics, obtained by using different models and then averaged over the whole set of models, are closer to the observer in real terms than the characteristics obtained with the help of separate, even better models . The progress in the development of computer technology makes it possible to build more accurate models of concrete physical processes [2], and thus not only improve the model of climate and technology of weather forecasting, but also formulate new tasks and new requirements for computing systems.

[1] S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

[2] Фурман В.В., Віхоть Ю.М. Аналіз проблем опису та моделювання кліматичних сценаріїв Землі. Збірник наукових праць "Електроніка та інформаційні технології", 2021, Випуск 16, с. 36-49

[3] Kaddo, Jameel R., "Climate Change: Causes, Effects, and Solutions" (2016). A with Honors Projects. 164. <http://spark.parkland.edu/ah/164>

[4] Dressler A.E. A Determination of the Cloud Feedback from Climate Variation over the Past Decade// *Science*. 2010.V. 330. P.1523—1527.

[5] Lüthi D. et al. High Resolution Carbon Dioxide Concentration Record 650.000—800.000 Years before Present // *Nature*. 2008. V.453. P.379—382..

[6] Фурман В.В., Малицький Д.В..Комп'ютерне 3D-моделювання теплового режиму геологічного і геофізичного середовища. Збірник наукових праць "Електроніка та інформаційні технології", 2021, Випуск 15, с. 63-72

## ELECTRON SPECTRUM IN THE QUANTUM DOT-QUANTUM RING SEMICONDUCTOR NANOSTRUCTURE WITH NON-CENTRAL DONOR IMPURITY

O.M. Makhanets, I.P. Koziarskyi, I.S. Hnidko, A.I. Kuchak

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Kotsyubynsky St. 2, Chernivtsi-58002, Ukraine  
[o.makhanets@chnu.edu.ua](mailto:o.makhanets@chnu.edu.ua)

Multilayer semiconductor nanostructures have been studied both theoretically and experimentally for quite a long time. The unique properties of quasiparticles in such systems make it possible to use them as basic elements in modern nanoelectronic devices: tunneling nanodiodes, nanolasers, nanodetectors [1, 2].

Semiconductor quantum rings occupy a special place among various types of nanosystems. As a rule, they have cylindrical symmetry, just like quantum wires. However, unlike quantum wires, the height of quantum rings is finite and is on the order of several nanometers. Therefore, the movement of charge carriers in such nanostructures is limited in all three dimensions. Therefore, in this aspect, they are similar to cylindrical quantum dots. Modern experimental capabilities make it possible to obtain nanoheterostructures with cylindrical quantum nanorings [3, 4] and to study the spectra of quasiparticles in them.

Obviously, the presence of impurities in nanostructures with quantum dots and rings will significantly change their physical properties. This will affect the physical characteristics of nanodevices that will be created on their basis. At the same time, the study of the binding energy of an electron with an impurity in nanostructures with cylindrical symmetry faces mathematical difficulties associated with the need to coordinate the non-spherical symmetry of a nanosystem with the spherical symmetry of the Coulomb potential energy of the interaction between the electron and the impurity.

This paper will theoretically investigate the effect of a non-central donor impurity on the energy spectrum and wave functions of an electron, as well as on the oscillator strengths of intraband quantum transitions in a quantum dot-quantum ring semiconductor nanostructure.

Therefore, we study a nanostructure of height  $L$ , consisting of a cylindrical semiconductor quantum dot (quantum well, GaAs medium), which is tunnel-linked through a finite potential barrier ( $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  medium) with a coaxial cylindrical nanoring (quantum well, GaAs medium). A donor impurity with radius vector  $\vec{r}_i$  is randomly located in the nanostructure and creates an attractive Coulomb potential for an electron with radius vector  $\vec{r}$ , which is expediently written in a cylindrical coordinate system:

$$V(|\vec{r} - \vec{r}_i|) = -\frac{e^2}{\varepsilon \sqrt{\rho^2 + \rho_i^2 - 2\rho\rho_i \cos(\varphi - \varphi_i) + (\frac{L}{2} - z)^2}}. \quad (1)$$

Here  $\varepsilon$  is the permittivity of the nanostructure.

The stationary Schrödinger equation for an electron with potential energy (1) cannot be solved analytically exactly. In order to solve it, the unknown wave functions of the electron are searched in the form of a decomposition of the full set of its wave functions in the nanostructure without impurities:

$$\Psi_n(\vec{r}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n_\rho} \sum_{n_z} \sum_m c_{n_\rho n_z}^{nm} R_{n_\rho m n_z}(\rho) f_{n_z}(z) e^{im\varphi}. \quad (2)$$

Here,  $n_\rho$  is radial,  $n_z$  is axial, and  $m$  is magnetic quantum numbers that determine the state and energy of the electron. The axial and radial wave functions have the form:

$$f_{n_z}(z) = \sqrt{\frac{2}{L}} \begin{cases} \cos\left(\frac{\pi n_z}{L} z\right), & n_z = 1, 3, 5, \dots \\ \sin\left(\frac{\pi n_z}{L} z\right), & n_z = 2, 4, 6, \dots \end{cases},$$

$$R_{n_\rho m n_z}(\rho, \varphi) = \begin{cases} A_m^{(0)} J_m(k_0 \rho), & 0 \leq \rho \leq \rho_0 \\ A_m^{(1)} I_m(k_1 \rho) + B_m^{(1)} K_m(k_1 \rho), & \rho_0 < \rho \leq \rho_1 \\ A_m^{(2)} J_m(k_0 \rho) + B_m^{(1)} N_m(k_0 \rho), & \rho_1 < \rho \leq \rho_2 \\ B_m^{(3)} K_m(k_1 \rho), & \rho > \rho_1 \end{cases}, \quad (3)$$

where  $J_m, N_m$  are Bessel functions of integer order;  $I_m, K_m$  are modified Bessel functions,  $k_0 = \sqrt{2\mu_0 E / \hbar^2 - \pi^2 n_z^2 / L^2}$ ,  $k_1 = \sqrt{2\mu_1 (U_0 - E) / \hbar^2 + \pi^2 n_z^2 / L^2}$ .

All unknown coefficients in (3), as well as the electron energy spectrum ( $E_{n_\rho m n_z}$ ) are found from the conditions of continuity of the radial wave functions and the corresponding probability density fluxes at all heteroboundaries of the nanostructure:

$$\begin{cases} R_{n_\rho m n_z}^{(i)}(\rho_i) = R_{n_\rho m n_z}^{(i+1)}(\rho_i) \\ \left. \frac{1}{\mu_i} \frac{\partial R_{n_\rho m n_z}^{(i)}(\rho)}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho_i} = \left. \frac{1}{\mu_{i+1}} \frac{\partial R_{n_\rho m n_z}^{(i+1)}(\rho)}{\partial \rho} \right|_{\rho=\rho_i} \end{cases} \quad (i = 0, 1, 2) \quad (4)$$

and rationing conditions  $\int_0^\infty |R_{n_\rho m n_z}(\rho)|^2 \rho d\rho = 1$ .

Substituting (2) into the Schrödinger equation leads to the secular equation:

$$\left| H_{n_\rho n_z m, n'_\rho n'_z m'} - E_n \delta_{n_\rho, n'_\rho} \delta_{n_z, n'_z} \delta_{m, m'} \right| = 0 \quad (5)$$

The task of finding the energy spectrum  $E_n$  and the wave function  $\Psi_n(\vec{r})$  of an electron interacting with an impurity are now reduced to the calculation of eigenvalues and eigenvectors of the obtained matrix.

The found energy spectrum and wave functions also make it possible to estimate the oscillator strengths of intraband optical quantum transitions of an electron using the well-known formula:

$$F_n^{n'} \sim (E_{n'} - E_n) |M_n^{n'}|^2, \quad (6)$$

where

$$M_n^{n'} = \langle n' | \sqrt{\mu(\rho)} e^{\rho \cos(\varphi)} | n \rangle \quad (7)$$

- transition dipole moment.

The paper analyzes the dependence of the energy spectrum of the electron and the strengths of the oscillators of its quantum transitions on the geometric parameters of the nanostructure and the location of the impurity in it.

1. Qian, F., Li, Y., Gradeak, S. et al. (2008). *Nature Materials*, 7, 701–706.
2. Zervos, M. (2014). *Nanoscale Research Letters*. 9, 509.
3. Kuroda, T. T., Mano, T., Ochiai, T. et al. (2005). *Phys. Rev. B.*, 72(20), 205301.
4. Mano, T., Kuroda, T., Sanguinetti, S. et al. (2005). *Nano Lett.*, 5(3), 425–428.

## ABOUT ELECTRODYNAMICAL ASPECTS OF NUCLEATION AND CRYSTALLIZATION MODELING

**Makovska Yulia\*\***, **Trokhimchuck Petro\***

*Lesya Ukrainka Volyn national university, Voly av. 13, Lutsk, Ukraine, 43025*

*\*e-mail: Trokhimchuck.Petro@vnu.edu.ua; [trope1650@gmail.com](mailto:trope1650@gmail.com)*

*\*\*e-mail: makovska17@gmail.com*

*Short analysis the electrodynamical aspects of nucleation and crystallization modelling is analyzed. Necessary of creation this concept is discussed. Stafeef phasons model and cascade models of saturation the excitation of proper chemical bonds are analysed. Main applications theses methods are observed.*

### Main results and discussions

The nucleation process have significant value in modern material science. Main methods and theories are thermodynamically. In whole, process nucleation have electrical chemical nature. Therefore, we must have electrodynamic models too.

Therefore, the **nucleation concept must be generalizing on other type processes**, including electromagnetic and pulses [1 – 7].

To expand the methods of obtaining nuclei of various crystallographic modifications, it is advisable to use the methods of elionic technologies [6]. The use of different types of irradiation: ion, electron, and especially laser allows forming nuclei of both structures with a smaller order of symmetry and structures with a higher order of symmetry [1-76]. At the same time, a cascade of structures can be formed as their order of symmetry decreases.

These nucleation theories and models must base on other physical and chemical aspects as thermodynamical. The main role is played by the excitation saturation mode of the corresponding radiation absorption centers and the mechanisms of their non-radiative relaxation, which lead to the required phase transformations [1-5].

V. Stafeev phason model [3, 4] is represented electrostatic theory which takes into account the existing and changing electrostatic state of the compound to form the nuclei of new phases or aggregate states of matter (phases). One of the important parameter of any phase is electrochemical potential. Therefore on its border with another phase junction difference of electrical potentials, which is stipulated of difference of electrochemical potentials, must be generated. It may be realized only in presence in each with contact phase's electrical charges with opposite signs. Cluster of bound molecules may be thermodynamically stable center of new phase after formation of proper junction difference of potentials only.

Minimal size of phason is determined from condition, that unit electrical charge  $q$  in environment with electrical constant  $\varepsilon$  on its capacity  $c$  is provided the generation of necessary junction difference of potentials  $\varphi = q/\varepsilon c$ . Center of new phase with minimal sizes was called phason [3, 4, 6]. These centers may be having various forms. For simplification of further analysis we allow that center of new phase is spherical capacitor with diameter  $d_0$ . Therefore, we analyzed this theory and its some applications. For this suggestion [200, 218, 232]:

size of phason –  $d_0 = 3,6/\varepsilon\varphi, nm$ ;

number molecules in phason –  $n_f = 10^2 \pi\rho d_0^3/M$ ;

mobility –  $\mu = \varepsilon\varphi/6\pi\eta = 5,3 \cdot 10^{-7} \varepsilon\varphi/\eta, cm^2/V \cdot s$ ;

diffusive coefficient –  $D = 4,6 \cdot 10^{-11} \varepsilon\varphi T/\eta, cm^2/s$ ,

where  $\phi$  in Volts;  $q$  in Coulomb;  $\eta$  viscosity in Poissons;  $N$  – Avogadro number;  $T$  – temperature;  $M$  – molecular weight;  $\rho$  is density of phason substrate in  $g/cm^3$ .

Diameter, mobility and diffusive coefficient of phasons are determined of electric constant of surrounding environment and difference of electrochemical potentials. Sign of difference of electrochemical potentials is determined the sign of charge of center of new phase.

Cascade model of step-on-step excitation of corresponding chemical bonds in the regime of saturation the excitation allow to explain the processes of creation surface and volume laser-induced structures in various solid: from amorphous to crystals, in both directions. At the same time, it is possible to use both schemes of two-dimensional and three-dimensional crystal lattices and their phase diagrams. Energy calculations can be carried out both for chemical bonds and for the coordination numbers of an atom in a crystal lattice. Since we are talking about structural phase changes of a substance, it is advisable to use physicochemical methods of calculation, not quantum mechanical ones. There is no sense in Brillouin zones say, since when new phases are formed, it is different for each phase.

Cascade models were creating for two-dimensional lattice of sphalerite [3] and for diamond phase diagram [3]. The first model allows explaining the generation of laser-induced changes (irradiation with ruby laser pulses with a duration of 20 ns) in indium antimonite and indium arsenide (laser implantation). The saturated rupture of the first chemical bond leads to optical pumping and laser radiation, two bonds – to the maximum formation of defects in the near-surface region, all three to the reduction of defects in the near-surface region and the displacement of their maximum distribution deep into the crystal. First model allows explaining results step-on-step generation new crystal phases with decreasing of numbers the coordination numbers. At the same time, the total energy of the coordination number 8 (diamond lattice) was equated to the Seitz energy. From this, the energy corresponding to the coordination number 1 was determined. Based on these considerations, the transition energies from one crystallographic modification to another were calculated. These data correlate with the corresponding thermodynamic energies.

In this case, cascade processes of conversion of radiation energy into matter and, conversely, matter into radiation are of great importance [3-6]. This makes it possible to control the modes of nucleation of new phases both on the surface and in the volume of the irradiated material. In contrast to continuous nucleation and crystallization, in this case we must have irradiation modes with non-radiative relaxation. For ions and electrons, these can be both continuous and pulse irradiation modes, which allow you to dial in the appropriate integral dose, and for laser irradiation, only pulse. Therefore, we must build models and theories of these processes taking these features into account.

Thus, electrodynamic methods complement thermodynamic methods of nucleation, crystallization, and recrystallization, and it is advisable to develop and use them in the development of nanotechnology.

[1] I. V. Markov. *Crystal Growth for Beginners: Fundamentals of Nucleation, Crystal Growth, and Epitaxy*. Singapore: World Scientific, 2017.

[2] E. F. Shtapenko. *Kinetics of Structure Formation and Properties of Electrodeposited Metal Films*. D. Sc. Thesis. – Dnipro: V. Lazaryan Dnipro National University of Railway transport, 2016. (In Russian)

[3] P. P. Trokhimchuck. "Some Electrodynamics Problems of Modelling the Nucleation and Crystallization." IJARPS, vol. 10, is. 3, pp. 19-34, 2023.

[4] V. I. Stafeev,. "Elementary structural units of condensed phases and its proper electrical phenomena." Applied physics, No.4, pp. 31-38, 2005. (In Russian)

[5] P. P. Trokhimchuck. *Relaxed Optics: Realities and Perspectives*. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016.

[6] P. P. Trokhimchuck, *Relaxed Optics: Modelling and Discussions* . Saarbrücken-Cisinau: Lambert Academic Publishing, 2020.

[7] G. B. Boky. *Crystal chemistry*. Moscow: Nauka, 1971. (In Russian)

## CALCULATION FROM FIRST PRINCIPLES OF THE DEFECT STRUCTURE AND KINETIC PROPERTIES OF CdSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub>(x=0.5) SOLID SOLUTION

Malyk O.P., Syrotyuk S.V.

*Semiconductor Electronics Department, Lviv Polytechnic National University, Bandera Street, 12, Lviv-79013, Ukraine. [omalyk@ukr.net](mailto:omalyk@ukr.net), [svsnpe@gmail.com](mailto:svsnpe@gmail.com).*

CdSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> solid solution possesses unique physical properties necessary for photovoltaic converters of solar energy and infrared detectors, namely, a required band gap width and needed absorption coefficient value. It is known that the structure of defects of the crystal lattice largely determines the optical and electrical properties of this material, in particular, the absorption coefficient and the transport phenomena. Therefore, the study of the CdSe<sub>x</sub>Te<sub>1-x</sub> defects structure is an actual applied problem. In the proposed study the point defects in n-CdSe<sub>0.5</sub>Te<sub>0.5</sub> are considered, namely: Cd<sub>Te</sub>, Cd<sub>Se</sub>, Te<sub>Cd</sub>, Se<sub>Cd</sub>, V<sub>Te</sub>-Cd<sub>Te</sub>, V<sub>Se</sub>-Cd<sub>Se</sub>. A connection between the defect structure and the kinetic properties of the crystal was established.

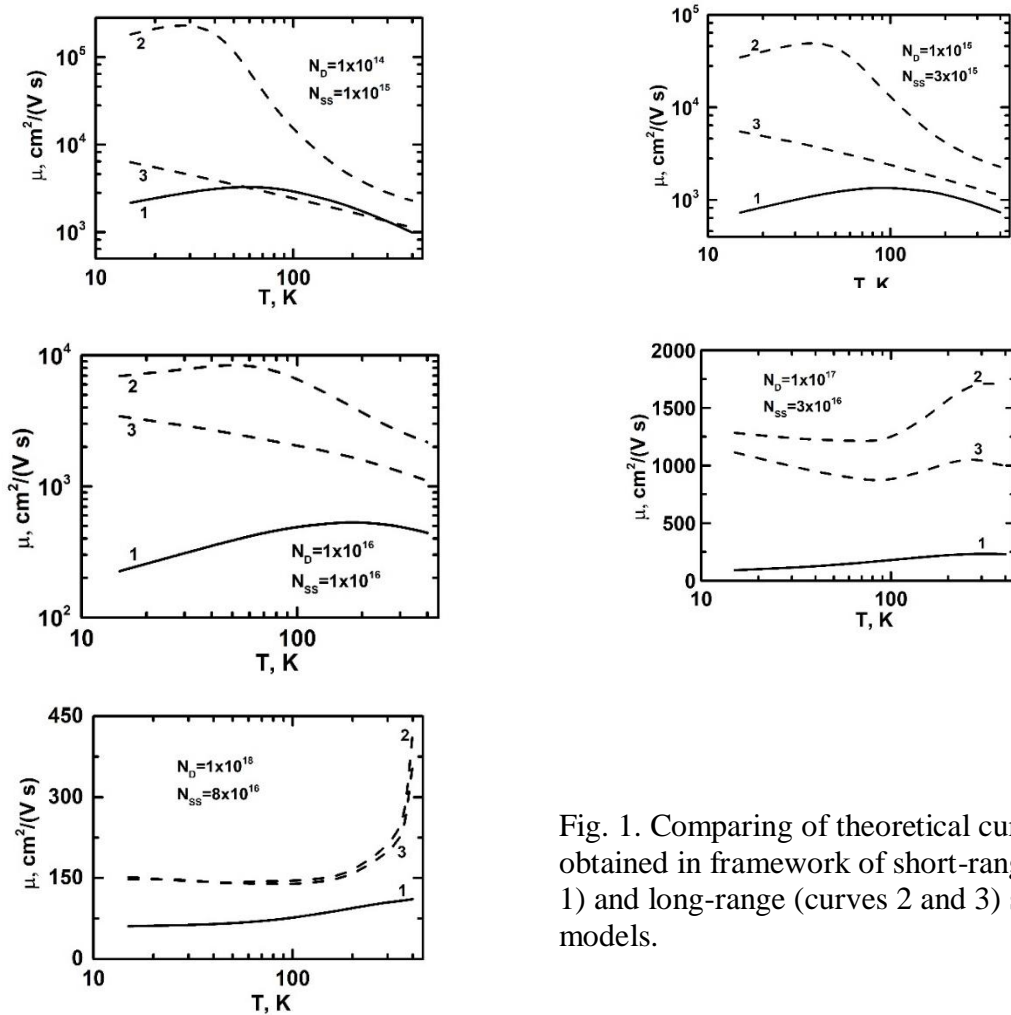


Fig. 1. Comparing of theoretical curves obtained in framework of short-range (curve 1) and long-range (curves 2 and 3) scattering models.

The energy spectra of ideal Cd<sub>8</sub>Te<sub>8</sub> and Cd<sub>8</sub>Se<sub>8</sub> supercells in corresponding sublattices were calculated based on the approach proposed in [1]. The calculation was carried out in such a way as to ensure the coincidence of the theoretical band gap with the experimental value at 0 K and

300 K. This was achieved by choosing a certain mixture of usual exchange-correlation GGA potentials of Cd, Se and Te (pseudopotentials) and the Hartree-Fock exchange potential. A similar procedure was used to calculate the energy spectra of the abovementioned defective supercells. Having the energy spectra of ideal and defective supercells at 0 K and 300 K, it was possible to determine the temperature dependences of the ionization energies of the corresponding donor defects. Defects with the lowest ionization energy make the largest contribution to transport phenomena, namely:  $Cd_{Te}-E_{D1}=0.090-2.367 \times 10^{-4}T$  eV,  $E_{D1}=0$  at  $T=380.2$  K;  $V_{Se}-Cd_{Se}-E_{D2}=0.081-8.333 \times 10^{-5}T$  eV. Using these dependencies, neutrality equations take the form:

$$T < 380.2K : n - p = (1 - x)N_D \left/ \left[ 1 + 2 \exp\left(\frac{F - E_{D1}}{kT}\right) \right] \right. + \frac{1}{2}xN_D + \frac{1}{2}xN_D \left/ \left[ 1 + 2 \exp\left(\frac{F - E_{D2}}{kT}\right) \right] \right.$$

$$T > 380.2K : n - p = (1 - x)N_D + \frac{1}{2}xN_D + \frac{1}{2}xN_D \left/ \left[ 1 + 2 \exp\left(\frac{F - E_{D2}}{kT}\right) \right] \right.$$

The calculation of the temperature dependences of the electron mobility was performed on the basis of short-range scattering models [2-4] within the framework of the exact solution of the Boltzmann's kinetic equation. Fig. 1 presents a comparison of two competing approaches: short-range scattering models and long-range scattering models (relaxation time approximation). The dashed lines 2 and 3 represent the results of calculation of the dependence  $\mu(T)$  obtained in the relaxation time approximation: curve 3 describes the high-temperature region ( $\hbar\omega \ll kT$ ), curve 2 describes the low-temperature region ( $\hbar\omega \gg kT$ ). As it can be seen, these curves demonstrate significant qualitative and quantitative differences of the temperature dependences of the carrier's mobility throughout the studied range of defect concentrations and temperatures. For  $CdSe_xTe_{1-x}$  ( $x=0.5$ ) the Debye temperature is  $\theta_D=266$  K. It means that the low-temperature region will be determined by the condition  $T < 26$  K, and the high-temperature region will be determined by the condition  $T > 2660$  K. From this point of view, the application of the relaxation time approximation (elastic scattering) in the range of  $26 \text{ K} < T < 2660 \text{ K}$  is incorrect. At the same time, the short-range scattering models allow to describe inelastic scattering. So, it can be argued that the short-range models give a more adequate description of physical reality than the long-range models.

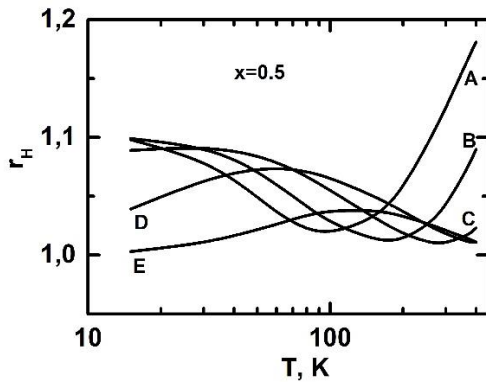


Fig. 2. Electron's Hall factor versus temperature in  $CdSe_xTe_{1-x}$  ( $x=0.3$ ) solid solution. A- $N_D=1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ; B- $N_D=1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ; C- $N_D=1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ; D- $N_D=1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ; E- $N_D=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ;

Calculated on the basis of the proposed method the dependences of Hall factor on temperature are presented on Fig. 2. It is seen that these dependencies have minimums, which are situated as follows - the higher the concentration of donor defects, the higher the temperature of minimum.

#### References

- [1] O.P. Malyk. J.Nano-Electron. Phys. 14, 05007-1 (2022).
- [2] O.P. Malyk, S.V. Syrotyuk. Comput. Mater. Sci. 139, 387 (2017).
- [3] O.P. Malyk, S.V. Syrotyuk. J. Electron. Mater. 47, 4212 (2018).
- [4] O.P. Malyk, J. Electron. Mater. 49, 3080 (2020).

## **PHOTODETECTOR BASED ON REDUCED GRAPHENE OXIDE**

**I.B. Olenych**

*Ivan Franko National University of Lviv, Ukraine, e-mail: iolenych@gmail.com*

Graphene is an exceedingly promising material in application various fields. The unique properties of graphene are due to the conical shape of the energy spectrum of its single-layer hexagonal structure [1]. The high electrical conductivity of two-dimensional carbon material and the high mobility of charge carriers are advantages to creating high-speed electronic devices [2]. In addition, the ambipolar conductivity of graphene can be easily controlled by an external electric field [3, 4]. This property makes it possible to inject both positive and negative charge carriers into graphene and can be used to create a new type of field-effect transistors that use graphene monolayer as a conductive channel material. Besides, monolayer graphene can be used as a transparent electrode in photoelectronics due to only the 2.3 % light absorption. Hybridization, i.e. the combination of a photosensitive material generating charge carriers and graphene as a charge-sensitive layer, is the basic strategy for improving the photosensitivity of graphene devices. In particular, the silicon substrate of the graphene field-effect transistor can be used as a photosensitive layer. In turn, the local electric field of the photogenerated carriers in the substrate causes a change in the electrical conductivity of the graphene channel.

One of the promising and inexpensive methods for producing graphene nanosheets is via chemical exfoliation and oxidations of graphite to obtain graphene oxide nanoparticles with a subsequent reduction [5]. Reduced graphene oxide (rGO) is usually obtained by chemical reactions with the use of hydrazine, hydrogen, or other reducing agents. The use of a film containing rGO nanoparticles instead of the graphene monolayer in field-effect transistors can simplify the technology of manufacturing graphene-based photodetectors.

In this work, the photosensitive field-effect transistor was created by depositing rGO film on the surface of the silicon oxide layer on the silicon substrate. The source and drain of the transistor were formed on the surface of the rGO film by the thermal deposition of silver contacts. The silicon substrate served as the gate of the field-effect transistor.

The electrical and photoelectric properties of the rGO-based field-effect transistor were studied in both DC and AC modes. It was established that the dependences of the drain current on the gate voltage (i.e. switching characteristics) have linear sections, the position of which depends on the bias voltage sign. In addition, a significant effect of irradiation by white light LED on the switching characteristics of the rGO-based field-effect transistor was found. In particular, the conductivity of the rGO film increased under the influence of the local field of photoinduced charges. In the AC mode, a photoinduced decrease in field-effect transistor resistance was observed for the electron branch of the ambipolar conductivity profile. Besides, irradiation of the surface of the rGO-based field-effect device with white LED caused an increase in its capacitance. The time of the photodetector response to a light pulse was about 1.5 ms. So, the rGO-based field-effect transistor demonstrates the potential for application in photoelectronic.

1. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Katsnelson M.I., Grigorieva I.V., Dubonos S.V., Firsov A.A. Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene. *Nature*. 438: 197–200 (2005).
2. Moon J.-S. Graphene Field-effect transistor for radio-frequency applications: review. *Carbon Letters*. 13: 17–22 (2012).
3. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S.V., Grigorieva I.V., Firsov A.A. Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science*. 306: 666–669 (2004).
4. Olenych I.B., Boyko Ya.V. Field-effect transistor based on graphene – porous silicon hybrid structure. *J. Phys. Studies*. 27: 1701 (2023).
5. Chua C.K., Pumera M. The reduction of graphene oxide with hydrazine: elucidating its reductive capability based on a reaction-model approach. *Chem. Commun.* 52: 72-75 (2016).



## **IMPURITY-INDUCED MODIFICATION OF REFRACTIVE PARAMETERS OF POTASSIUM SULPHATE CRYSTALS**

**Shchepanskyi Pavlo, Stadnyk Vasyl, Shtuka Orest**

*Faculty of Physics, Ivan Franko National University of Lviv, 19 Dragomanova Str., Lviv, UA-79005, Ukraine*  
*pavloshchepanskyi@gmail.com*

Potassium sulfate  $K_2SO_4$  (PS) crystals are typical representatives of dielectric crystals of  $ABSO_4$  group, which can be used in optoelectronics, crystal-optical sensor devices, for acousto-optic modulation of ultraviolet radiation, etc. The task of modern science is targeted modification of specific properties of such crystals. One of the simplest methods of changing the optical and dielectric properties of crystals is the introduction of various substitutional impurities. This makes it possible to establish the possibility of expanding the areas of practical application of crystals (for example, expanding the temperature and spectral range of existence of isotropic states) as crystal-optical sensors.

It was previously established [1, 2] that the introduction of an admixture of  $Cu^{2+}$  ions with a concentration of 1.7 and 3.0% in the PS crystal leads to a gradual decrease in the absolute values of the refractive indices without changing the nature of their dispersion, respective gradual changes in birefringence and electronic characteristics. Thus, is interesting to elucidate the way impurities of other metals affect the dielectric parameters of PS crystals. For this purpose, an admixture of another divalent metal, manganese Mn, was chosen, and its influence on the structural and refractive parameters was studied.

Samples of  $K_2SO_4$  with Mn admixture were obtained for research by growing from an aqueous solution by the method of slow evaporation of the solvent under specified conditions. In order to identify the structure and determine the concentration of impurities in PS crystals, X-ray diffraction (XRPD) analysis was carried out on previously prepared samples in the form of powder. Phase analysis of the samples using X-rays indicated their single phase and made it possible to identify the phase of the  $K_2SO_4$  compound (own structural type, the arcanite mineral,  $\beta$ -modification, stable below  $\sim 840$  K (modification at room temperature)).

The structure of the obtained crystal can be considered as the result of multiple heterovalent substitution of 2  $K^+$  ions by  $Mn^{2+}$  in the structure of the  $K_2MnSO_4$  compound and represented as stacking of columns of  $SO_4^{2-}$  tetrahedra along the  $[0\ Y\ 0]$  direction. K atoms form zigzag chains in the space between these columns. In this representation, the copper atoms are arranged in chains of the metal component.

The study of the dispersion of refractive indices, the study by Obreimov's immersion method [3] was carried out, which showed that the dispersion is normal in the spectral range of 300-700 nm and increases sharply with approaching the absorption edge. The introduction of an admixture of  $Mn^{2+}$  ions leads to a general decrease in the values of the refractive indices  $n_i$  for three crystal physical directions in the crystal. The relations for refractive indices  $n_z > n_x > n_y$ , and dispersions  $dn_z/d\lambda > dn_x/d\lambda > dn_y/d\lambda$  remain valid for impurity crystals, as for pure crystals. Based on experimental results using Sellmeier's dispersion formula and the Lorentz-Lorentz formula describing electronic polarizability  $\alpha_i$  and the molar refraction  $R_i$ , the crystal-optical parameters change in a case of  $Mn^{2+}$  ions doping is analyzed.

**Acknowledgments:** The study was performed within the framework of the project 2020.02/0211 of the National Research Foundation of Ukraine “Experimental and theoretical study and prediction of the photoelastic properties of crystalline materials for devices of electromagnetic radiation control”.

[1] R.B. Matviiv, M.Ya. Rudysh, V.Yo. Stadnyk, A.O. Fedorchuk, P.A. Shchepanskyi, R.S. Brezvin, O.Y. Khyzhun. Structure, refractive and electronic properties of  $K_2SO_4:Cu^{2+}$  (3%) crystals, *Current Applied Physics*. – vol. 21, pp. 80-88, (2021).

[2] M.O. Romanyuk. *Crystal Optics*. I. Franko LNU, Lviv (2017).

## **PROBLEM OF SIMILARITY IN NONLINEAR AND RELAXED OPTICS**

**Trokhimchuck Petro, Shevchuk Ivan**

*Lesya Ukrainka Volyn national university, Voly av. 13, Lutsk, Ukraine, 43025*

*\*e-mail: [Trokhimchuck.Petro@vnu.edu.ua](mailto:Trokhimchuck.Petro@vnu.edu.ua); [trope1650@gmail.com](mailto:trope1650@gmail.com)*

*\*\*e-mail: [iwandivan30@gmail.com](mailto:iwandivan30@gmail.com)*

*Short analysis of role similarity method in Nonlinear and Relaxed Optics is analyzed. Short historical analysis of this problem is represented. Place similarity method in creation concept of Nonlinear and Relaxed Optics is shown. Perspective of using of this method in the development of these chapters of modern physics is discussed too.*

### **Main results and discussions**

The problems and role of similarity and physical and mathematical constants in Nonlinear and Relaxed Optics in past, present and future are discussed [1 – 11]. This problem is little research in these sciences. Therefore, we represent short system analysis of this problem.

Nonlinear optics could have been developed much earlier along purely classical lines. Rayleigh was well aware of the acoustical nonlinearities and had given an extensive discussion of this in his *Theory of Sound* [1, 3, 4]. This nonlinearity was expanding on magnetic and electric processes in Nonlinear Optics [1]. If Lorentz [1] had allowed for a slight anharmonicity in his description of the electron as a harmonically-bound particle he could well have arrived at the theoretical derivation of a large variety of nonlinear optical effects. Today with guided light waves it is possible to observe nonlinear optical effects with much lower powers and perhaps in the future it will be possible even with incoherent light [1].

Electromagnetic nonlinearity as expansion of acoustic and electromagnetic nonlinearity was included in the foundation of electromagnetic concept of Relaxed Optics, which is based on Pointing tensors [6].

Problems of introduction new constants in Relaxed Optics are represented by using the method of Feynman dynamics for explanation the phenomenon of doubling the surface laser-induced structures (roughly speaking – generation of second relaxed optical harmonics) [11].

So, theory of hydrodynamic Thomson-Benard phenomenon as prevortex state was adapted and used for the electron gas in semiconductors [7]. Thus, hydrodynamical convective-gravitational Rayleigh theory may be represented as theory of transition from laminar to turbulent (vortex) fluxes, including prevortex phase, in hydrodynamics it is Thomson-Benard cells. Only this analogy allows creating theory of Thomson-Benard phenomena for electron gas in solid state [7, 9]. Thus, this concept may be used in Nonlinear and Relaxed Optics too for modeling the processes of generation prevortex states with various nature.

So, Reynolds's similarity law, according to which two stationary flows of uncompressed viscous fluid that flow around geometrically similar bodies in the absence of given forces are similar if both flows are characterized by the same Reynolds number [4].

This principle was used for the creation theory of electromagnetic laser-induced optical breakdown (modified Rayleigh theory) [6]. In whole the chain of focused pulsed laser optical breakdown is including next stages: diffraction stratification, which may be modeling with help Rayleigh rings [5]; generation conic Cherenkov radiation [7]; interference of low frequency part of this Cherenkov radiation [7] and optical breakdown, including generation of nanovoids [7].

For modeling processes of laser-induced cavitation (generation of nanovoids) we used modified Rayleigh model [2, 7, 12]. In our case it was electromagnetic model [7], in Lauterborn case – acoustic model [12].

For the estimations of maximal radius of nanovoids we must use modified Rayleigh formula [7]

$$R_{max} = \frac{2R}{0.915r} \sqrt{\frac{E_{ir}}{\pi\tau_{ir}cE}}, \quad (1)$$

where  $T_c$  – the time of creation the nanovoid (bubble),  $R$  is radius of nanovoid,  $r$  – radius of irradiated zone,  $E$  – Young module,  $E_{ir}$  – energy of one pulse;  $\tau_{ir}$  – duration of pulse;  $c$  – speed of light [7].

If we substitute value for the pulse laser irradiation of 4H-SiC  $r = 250 \text{ nm}$ ,  $R = 10 \text{ nm}$ ,  $E=600 \text{ GPa}$  [7],  $E_{ir}=300 \text{ nJ}$ ,  $\tau_{ir} = 130 \text{ ps}$ ,  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , than have  $R_{max}=11 \text{ nm}$  (experimental data 8-10 nm).

Let us now estimate the maximum bubble radii for the acoustic case. For this, in formula (1), you need to change the speed of light to the speed of sound (2).

$$R_{max}^{ac} = \frac{2R}{0.915r} \sqrt{\frac{E_{ir}}{\pi\tau_{ir}c_sE}}, \quad (2)$$

where  $c_s$  is speed of sound.

As a result, we get  $R_{maxSiC}^{ac} = 1.7 \mu\text{m}$ . The shape of the voids does not change, they just increase in size by 2-3 orders of magnitude.

The speed of shock waves for femtosecond regime of irradiation is less as speed of sound. However, we have two speeds of sound in elastic body: longitudinal  $v_{ls}$  and transversal  $v_{ts}$  [7]. Its values are determined with next formulas

$$v_{ls} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho_0(1+\nu)(1-2\nu)}}, \text{ and } v_{ts} = \sqrt{\frac{E}{\rho_0(1+\nu)}} \quad (3)$$

where  $\nu$  – Poisson's ratio [7]. The ratio between of these two speeds is equaled

$$\alpha = \frac{v_{ts}}{v_{ls}} = \sqrt{\frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)}}. \quad (4)$$

But this ratio must be true for shock waves too. Therefore, for silicon carbide for  $\nu = 0,45$  [7]  $\alpha = 0,33$ .

Thus, problem of similarity has and had decisive influence on the formation and formation of both Nonlinear and Relaxed Optics.

#### References

- [1] Bloembergen N. Nonlinear Optics: past, present and future. In: Ostrowsky, D.B., Reinisch, R. (eds) Guided Wave Nonlinear Optics. NATO ASI Series, vol. 214. Dordrecht: Springer, pp. 1-9, 1992.
- [2] Rayleigh (J. W. Strutt). On the pressure developed in a Liquid during the Collapse of a Spherical Cavity.// The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, vol. 34, pp. 94-98,1917.
- [3] Rayleigh (J. W. Strutt). *The theory of sound*. Vol. 1. London: Macmillan and co., 1894.
- [4] Rayleigh (J. W. Strutt). *The theory of sound*. Vol. 2. – London: Macmillan and co., 1896. Rayleigh (J. W. Strutt). *Wave theory of light*. – Moscow: URSO, 2009. – 136 p. (In Russian)
- [5] Rayleigh (J. W. Strutt). *Wave theory of light*. Moscow: URSO, 2009. (In Russian)
- [6] Trokhimchuck P. P. *Relaxed Optics: Realities and Perspectives*. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016.
- [7] Trokhimchuck P. P. *Relaxed Optics: Modelling and Discussions 2*. Saarbrücken-Cisinau: Lambert Academic Publishing, 2022. P. P. Trokhimchuck, *Relaxed Optics: Modelling and Discussions 2*. New Dehly: AkiNik Publishing, 2022.
- [8] Sedov L. I. *Similarity methods and dimensions in mechanics*. Moscow: Nauka, 1977.
- [9] Chandrasekar S. *Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability*. Oxford: University Press, 1961.
- [10] Trokhimchuck P. P. “[Thomson-Benard Phenomena and Relaxed Optics](#),” IJARPS, vol.8, Is. 3, pp. 1 – 15, 2021.
- [11] Makin V. S. *Peculiarities of the formation the ordered micro and nanostructures in condensed matter after laser excitation of surface polaritons modes*. D. Sc. Thesis. – Saint-Petersburg: State university of information technologies, mechanics and optics, 2013. (In Russian)
- [12] Lauteborn W., Kurz T. “Physics of bubble oscillations.” Rep. Progr. Phys., vol.77, 106501 (88 pp), 2010.

## Властивості нанометрових вуглецевих плівок, отриманих розпилюванням графітних мішеней електронним променем

**V.O. Yukhymchuk<sup>1</sup>, V.M. Dzhagan<sup>1</sup>, M.Ya. Valakh<sup>1</sup>, O.F. Isaieva<sup>1</sup>, P.M. Lytvyn<sup>1</sup>,  
T.M.Sabov<sup>1</sup>, V.O.Osokin<sup>2</sup>, Yu.A. Kurapov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, 03028, Kyiv, Prospekt Nauky, 45, Ukraine

<sup>2</sup>Paton Institute for Electric Welding, NAS of Ukraine, 03150, Kyiv, Kazimir Malevich St. 11, Ukraine

Інтерес до дослідження різних видів вуглецевих матеріалів з кожним роком постійно зростає. Це зумовлено їх широким застосуванням в електрокаталізі, електросинтезі, графеновій наноелектроніці, в створенні захисних покриттів та наданні базовим матеріалам особливих властивостей при осадженні на них вуглецевих плівок, зокрема це стосується просвітленні сонячних елементів, створення надтвердої або термостійкої поверхневої оболонки та ін. [1]. На сьогодні залишається актуальним питання отримання тонких нанометрових вуглецевих плівок на різних підкладках з наперед заданими властивостями. В залежності від методів осадження, їх технологічних параметрів та характеристик підкладок можуть формуватися вуглецеві плівки з різною структурою, зокрема плівки з аморфним вуглецем, плівки із  $sp^2$  зв'язками та плівки з високим вмістом атомів вуглецю із  $sp^3$  зв'язками, так звані алмазоподібні плівки (АПП). Останні інтенсивно використовуються як покриття різних матеріалів, оскільки для них характерне поєднання таких фізико-хімічних властивостей, як висока твердість, зносостійкість, хімічна інертність, широка заборонена зона, низький коефіцієнт тертя, біосумісність тощо [1, 2].

Після відкриття графену [3] значно зріс інтерес до отримання вуглецевих плівок із  $sp^2$  зв'язками, оскільки варіюючи кількість вуглецевих шарів можна отримати як одно- так і багатошарові графенові плівки з різними важливими для застосування властивостями. Як відомо, графен являє собою двовимірний шар, побудований із бензолних кілець, в якому атомам вуглецю притаманні  $sp^2$ -зв'язки. Графен привернув до себе великий інтерес завдяки своїм особливим та незвичним властивостям, зокрема таким як квантово-електронний транспорт [4], регульована заборонена зона [5], надзвичайно висока рухливість [5] та ін.

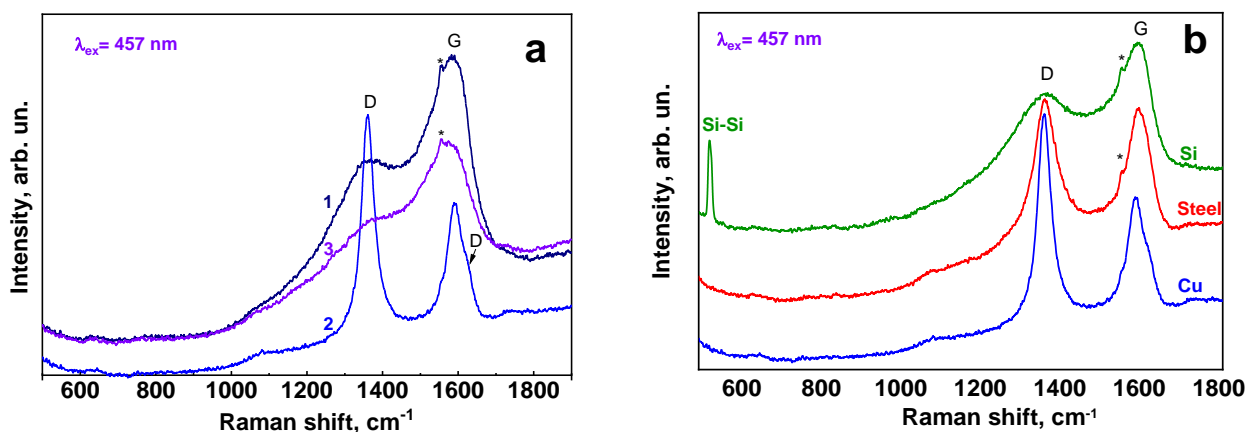


Рис. 1. Раманівські спектри вуглецевих плівок: (а) сформованих на мідних підкладках при температурах осадження: 1–350°C; 2–500°C; 3–385°C; (б) сформованих на мідній, сталевій та кремнієвій підкладках, температура яких при осадженні плівок складала 500°C. Час осадження для всіх плівок складав 10 сек. «\*» позначено смугу зумовлену модою лазерного випромінювання.

Все вищезазначене зумовлює створення нових або вдосконалення відомих технологій по отриманню вуглецевих плівок з наперед заданими властивостями. В нашій роботі для формування тонких вуглецевих плівок було використано вдосконалений метод електронного розпилення графіту. Метою цієї роботи було вивчення характеристик сформованих надтонких вуглецевих плівок в залежності від технологічних параметрів їх отримання. Вуглецеві плівки формувалися на мідних, нікелевих, сталевих та кремнієвих підкладках, температура яких варіювалася від 350 до 600°C. Сформовані вуглецеві плівки характеризувалися методами Раманівської спектроскопії, XPS, AFM та EPR.

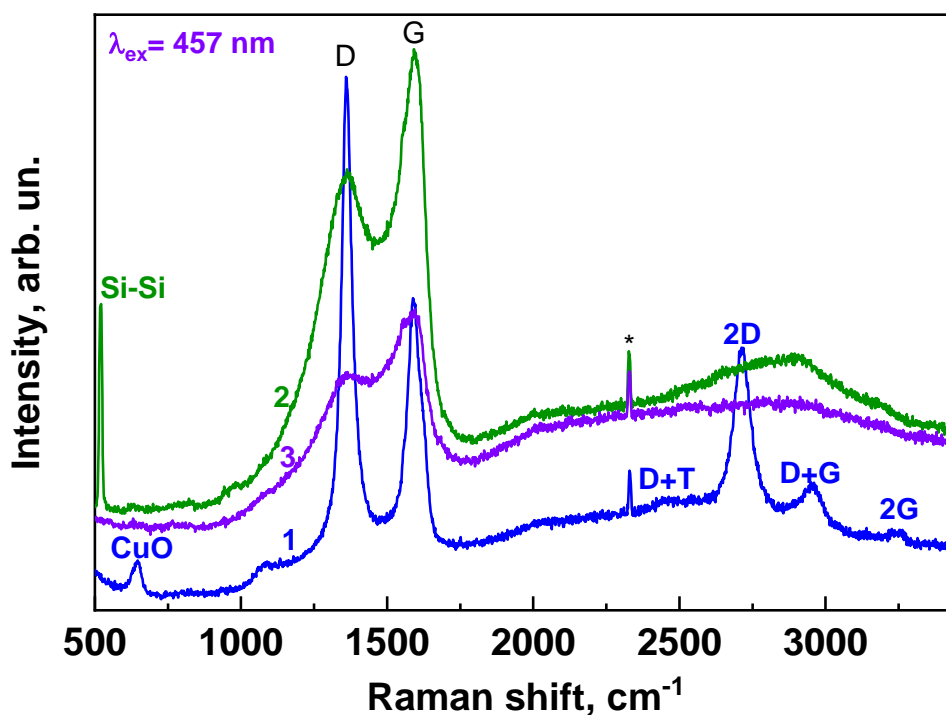


Рис. 2. Раманівські спектри вуглецевих плівок сформованих на мідній (1) та Si (2) підкладках при температурі 500°C та на мідній підкладці, сформованій при температурі 350°C (3) в області коливних мод першого та другого порядків.

На рис. 1 (а) наведено Раманівські спектри вуглецевих плівок сформованих на мідних підкладках. Зі спектрів видно, що плівки, сформовані при температурах нижче 500°C відповідають структурі, яка характерна для АПП, водночас спектр плівки, сформованої при 500°C, відповідає графітній структурі ( $sp^2$ -зв'язки). На рис. 1 (b) наведено Раманівські спектри вуглецевих плівок сформованих на мідній, сталевій та кремнієвій підкладках при температурі 500°C. Зі спектрів видно, що на структуру вуглецевих плівок впливає не тільки температура, але і сама підкладка. Дійсно, спектри плівок, що сформувалися на мідній та сталевій підкладках досить подібні і вони є характерними для графітної структури, а спектр від плівки, що сформувалася на Si підкладці, характерний для алмазоподібної структури. На рис. 2 наведено раманівські спектри вуглецевих плівок сформованих на мідній (1) та Si (2) підкладках при температурі 500°C та на мідній підкладці, сформованій при температурі 350°C (3) в області коливних мод першого та другого порядків. Видно, що тільки в спектрах від вуглецевої плівки, сформованої при 500°C на мідній підкладці чітко проявляються смуги другого порядку: 2D, D+G, 2G та D+T. Останнє свідчить, що сформувалась графітна плівка із  $sp^2$  зв'язками, проте в ній наявні структурні дефекти, оскільки D-смуга досить інтенсивна. Щоб оцінити розміри сформованих вуглецевих кластерів спектри розкладалися на окремі компоненти, як це показано на рис. 3. Для всіх випадків Раманівські спектри розкладалися на 5 окремих смуг: 1 – так звана Т-смуга, яка відповідає коливанням олеїнових ланцюжків; 2 – D-смуга, яка відповідає дихаючим коливанням бензольних кілець, за участю в коливному процесі дефектів в кристалічній структурі графіту з точки К зони Бріллюена; 3 – смуга, що відповідає аморфному вуглецю, який може складатися з неупорядкованих ланцюжків та кластерів з  $sp^1$ ,  $sp^2$  та  $sp^3$  зв'язками; 4 – G-смуга, яка відповідає розтягуючим коливанням атомів вуглецю в структурах, що відповідають центру зони Бріллюена; 5 – D'-смуга, яка відповідає коливним модам, що проявляються тільки при наявності дефектів, але з іншої точки зони Бріллюена в порівнянні з D-смугою. Використовуючи результати розкладу спектрів було визначено інтегральні інтенсивності смуг D та G для подальшого визначення середніх розмірів вуглецевих

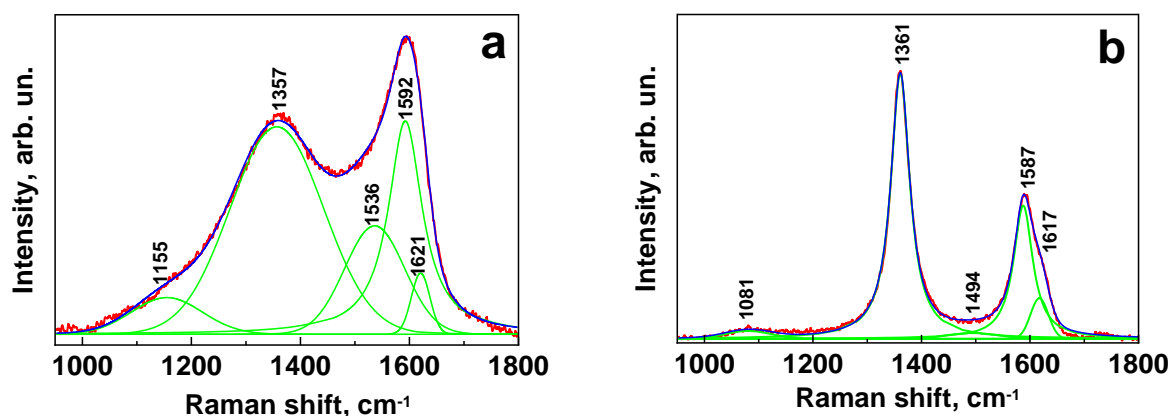


Рис. 3. Раманівські спектри вуглецевих плівок сформованих на мідних підкладках при температурах 350°C (1) та 500°C та їх розклади на окремі компоненти.

нанокластерів згідно формули [6]:  $L_a(\text{nm}) = [560/E_1 \times (I_D/I_G)^{-1}]$ , де  $L_a$  – середні розміри нанокристалів в нм,  $E_1$  – енергія збуджуючого лазерного випромінювання, яка в нашому випадку дорівнює 2.71 eV,  $I_D/I_G$  – відношення інтегральних інтенсивностей смуг D та G. В результаті проведених розрахунків для плівки АПП  $L_a$  складає 5.4 нм, а для графітоподібної

плівки  $L_a$  складає 5.2 нм. Середні розміри вуглецевих кластерів не значно відрізняються, що обумовлено не значною різницею температур підкладок, при яких формувалися ці плівки. Для визначення кількості  $sp^2$  та  $sp^3$  зв'язків було проведено вимірювання спектрів XPS в області піку C1s з високою роздільною здатністю (з енергетичним вікном 11.75 eV та кроком 0,05 eV). Отримані спектри були розкладені на п'ять компонент: основний пік, що відповідає  $sp^2$ -зв'язкам C=C (284.4 eV), пік зв'язків C-C ( $sp^3$ , 285.2 eV), пік зв'язків C-OH/C-O-C (286.2±0.1 eV) та C=O (288.5±0.1 eV) на поверхні плівки, та пік зумовлений плазмонним збудженням ( $\pi$ - $\pi^*$ -сателіт, 290.2±3 eV). Вміст фази  $sp^3$  визначений з аналізу піку склав 9 % для зразку N1 та 20 % для зразку АПП (N2), що добре корелює зі значеннями

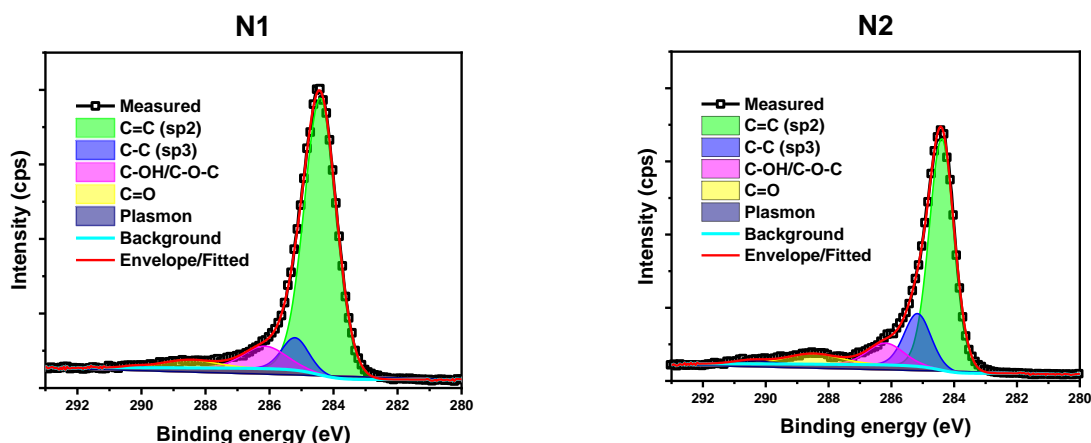


Рис. 4. XPS спектри вуглецевих плівок сформованих при температурі 500°C (N1) та плівок, сформованих при температурі 380°C (N2).

отриманими з Раманівських спектрів.

### Висновки

Таким чином встановлено, що найбільш важливим технологічним параметром, який визначає формування вуглецевих плівок з переважаючим вмістом  $sp^2$ -зв'язків є температура підкладок, яка складає 500°C та вище. Більш того показано, що на природу формування вуглецевих зв'язків впливають властивості підкладок, а саме, на металевих підкладках достатньо температури 500°C, щоб сформувалися вуглецеві плівки з переважаючим вмістом  $sp^2$ -зв'язків, а при менших температурах формуються вуглецеві плівки із переважаючим вмістом  $sp^3$ -зв'язків. Водночас було показано, на підкладках кремнію та інших напівпровідників при температурах 500°C формуються вуглецеві плівки із  $sp^3$ -зв'язками.

### Список літератури

1. Z. Seker, H. Ozdamar, M. Esen, R. Esen, H. Kavak. *Appl. Surf. Sci.* 314, 46–51 (2014).
2. N. Paik, *Surf. Coat. Technol.* 200, 2170–2174 (2005).
3. K.S. Novoselov, A.K. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.V. Dubonos, I.V. Grigorieva, A.A. Firsov. *Science* 306, 666–669 (2004).
4. Y.B. Zhang, Y.W. Tan, H.L. Stormer, P. Kim. *Nature* 438, 201–204 (2005).
5. K.I. Bolotin, K.J. Sikes, Z. Jiang, M. Klima, G. Fudenberg, J. Hone, P. Kim, H.L. Stormer. *Solid State Commun.* 146, 351–355 (2008).
6. Lee, C.; Wei, X. D.; Kysar, J. W.; Hone, J. *Science* 2008, 321, 385–388.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ПРОСТОРОВОЇ АНІЗОТРОПІЇ П'ЄЗООПТИЧНОГО ЕФЕКТУ НА ПРИКЛАДІ КРИСТАЛІВ $\text{LiNbO}_3:\text{MgO}$

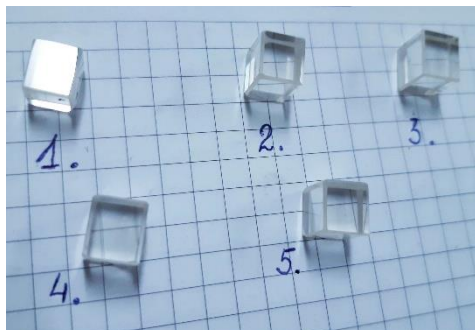
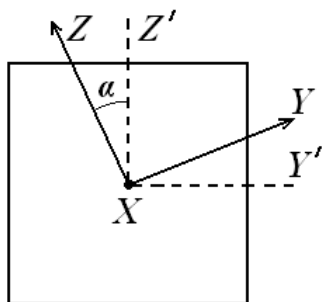
А. Андрушак<sup>1</sup>, Б. Мицик<sup>2\*</sup>, Н. Дем'янишин<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

<sup>2</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів, [mytskyk@ipm.lviv.ua](mailto:mytskyk@ipm.lviv.ua)

Досі анізотропію п'єзооптичного ефекту (ПОЕ) у різних кристалах досліджували методом побудови вказівних поверхонь (ВП) та їх аналізу щодо екстремальних значень цих поверхонь (див., наприклад, роботи [1-3]). Щоб підтвердити ефективність пошуку екстремальних значень ПОЕ методом вказівних поверхонь, слід провести експериментальну перевірку екстремумів ПОЕ. Подібна робота була проведена щодо електрооптичного ефекту (ЕОЕ) для кристалів ніобату літію  $\text{LiNbO}_3$  [4]. В цій роботі вперше експериментально підтверджено розрахований на основі ВП просторовий розподіл лінійного ЕОЕ в кристалах ніобату літію. Експериментальні результати щодо максимумів ЕОЕ отримано за допомогою установки на базі інтерферометра Майкельсона [4].

В даній роботі аналогічні результати отримано для ПОЕ кристалів ніобату літію, легovanого оксидом магнію  $\text{LiNbO}_3:\text{MgO}$ . Для цього виготовлено 9 зразків  $X/\alpha$ -зрізу, в яких вісь  $Z$  відхилена від нормалі ( $Z'$ ) до грані на різні кути  $\alpha$  (рис. 1), а саме: зразок 1 –  $\alpha = 0^\circ$  ( $90^\circ$ ); зразок 2 –  $\alpha = 25^\circ$ ; зразок 3 –  $\alpha = 37.5^\circ$ ; зразок 4 –  $\alpha = 65^\circ$ ; зразок 5 –  $\alpha = 77.5^\circ$ , зразок 6 –  $\alpha = -25^\circ$ ; зразок 7 –  $\alpha = -37.5^\circ$ ; зразок 8 –  $\alpha = -65^\circ$  і зразок 9 –  $\alpha = -77.5^\circ$ ,  $90^\circ$ . Зовнішній вигляд кількох зразків показано на рис. 2.



**Рис. 1.** Схема зразків для експериментальної перевірки анізотропії ПОЕ в кристалах  $\text{LiNbO}_3:\text{MgO}$ .

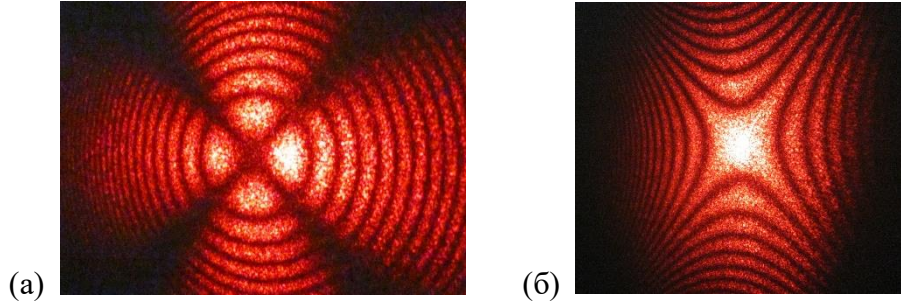
**Рис. 2.** Приклади зовнішнього вигляду зразків.

Орієнтація зразків  $X/\alpha$ -зрізів перевірена рентгенівським методом і уточнена методом поляризаційно-оптичної коноскопії. Приклади коноскопічних картин зразків  $X/\alpha$ -зрізів подано на рис. 3. Підкреслимо, що перевірка орієнтації зразків коноскопічним методом є важливою, оскільки використання рентгенівського методу для таких цілей є надто трудомістким.

Зауважимо, що під час дослідження ПОЕ на зразках (рис. 1), в яких вісь  $Z$  відхилена від напрямку  $Z'$  (нормалі до грані, на яку діятиме одновісний тиск), слід однозначно вказувати додатний напрямок кристалофізичної осі  $X$  ( $+X$ ). Це зумовлено тим, що за повороту зразка, схема якого показана на рис. 1, на  $180^\circ$  навколо напрямку  $Z'$ , кут  $\alpha$  буде мати величину  $360^\circ - \alpha$ . Це може бути причиною неоднозначного визначення компонент



одновісного тиску  $\sigma_m$  вздовж осей  $Z$  та  $Y$ . Тому як деформація зразка, так і величина ПОЕ можуть бути неоднозначними в залежності від вибору знаків осей  $X, Y, Z$  правої системи координат, в якій досліджуватимемо ПОЕ таких зразків.



**Рис. 3.** Приклади коноскопічних картин для зразка  $X/77.5^\circ$ -зрізу: світло поширюється вздовж осі  $Z$  (а) та вздовж осі  $Y$  (б).

Для усунення такої неоднозначності у випадку кристалів  $\text{LiNbO}_3:\text{MgO}$  достатньо зафіксувати додатне значення осі  $X$ . Тоді праву систему координат можна вибрати, надаючи знак (+) осі  $X$ , а додатні знаки осей  $Y$  та  $Z$  мають відповідати означенню правої системи координат. Додатній напрямок осі  $X$  можна зафіксувати на основі великого п'єзоелектричного коефіцієнта  $d_{11}$ . А саме, додатнім напрямком осі  $X$  слід вибрано напрям, перпендикулярний до грані, на якій виникає позитивний (+) електричний заряд, за дії на цю грань додатного механічного напруження (напруження розтягу).

*Аналітичний опис ПОЕ на зразках  $X/\alpha$ -зрізів.* Відповідні вирази для ПОЕ отримано методом перетину збуреної механічним напруженням  $\sigma_m$  оптичної індикатриси прямою, яка відповідає напрямку поляризації світла, з врахуванням вигляду компонент тензора механічних напружень  $[\sigma_m]$  на зразу  $X/\alpha$ -зрізу:

$$[\sigma_m] = [\sigma_4] = [\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6] = \sigma \cdot \cos^2 \alpha [0, \text{tg}^2 \alpha, 1, \text{tg} \alpha, 0, 0]. \quad (1)$$

Методи запису робочих співвідношень для дослідження ПОЕ на зразках складних зрізів з врахуванням пружної деформації зразка в напрямку поширення світла та виразу (1) детально описані в роботі [5]. Тут подамо робочі вирази для геометрії експерименту, яка описує поздовжній ПОЕ (вектор  $\mathbf{i}$  поляризації світла та вектор  $\mathbf{m}$  дії одновісного тиску є колінеарними:  $\mathbf{i} \parallel \mathbf{m}$ ). А саме:

$$\begin{aligned} \pi_{4'4'} = \cos^4 \alpha \left[ \pi_{11} \text{tg}^4 \alpha - (\pi_{14} + 2\pi_{41}) \text{tg}^3 \alpha + (\pi_{13} + \pi_{31} + 2\pi_{44}) \text{tg}^2 \alpha + \pi_{33} \right] = -\frac{\lambda}{n_{4'}^3 \cdot \sigma_{4'4'}^0} + \\ + 2 \cos^4 \alpha \left[ S_{13} (1 + \text{tg}^4 \alpha) + S_{14} (\text{tg}^3 \alpha - \text{tg} \alpha) + (S_{11} + S_{33} - S_{44}) \text{tg}^2 \alpha \right] \cdot \frac{n_{4'} - 1}{n_{4'}^3}, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\pi_{4'4'}$  – це не п'єзооптичний коефіцієнт, а величина поздовжнього ПОЕ для умов експерименту  $i = m = 4'$ , напрям  $4'$  відповідає напрямку  $Z'$  на рис. 1,  $\sigma_{4'4'}^0$  – півхвильове (керуюче) напруження  $S_{km}$  – коефіцієнти пружної податливості.

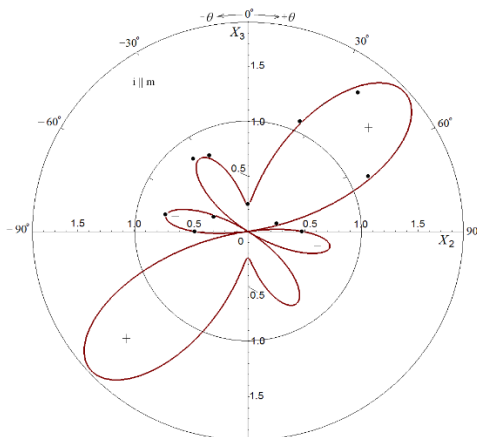
Розіб'ємо рівняння (2) на дві частини:

$$\pi_{4'4'} = \cos^4 \alpha \left[ \pi_{11} \text{tg}^4 \alpha - (\pi_{14} + 2\pi_{41}) \text{tg}^3 \alpha + (\pi_{13} + \pi_{31} + 2\pi_{44}) \text{tg}^2 \alpha + \pi_{33} \right], \quad (3)$$

$$\pi_{4'4'} = -\frac{\lambda}{n_{4'}^3 \cdot \sigma_{4'4'}^0} + 2 \cos^4 \alpha \left[ S_{13} (1 + \text{tg}^4 \alpha) + S_{14} (\text{tg}^3 \alpha - \text{tg} \alpha) + (S_{11} + S_{33} - S_{44}) \text{tg}^2 \alpha \right] \cdot \frac{n_{4'} - 1}{n_{4'}^3}, \quad (4)$$

з яких перша частина (3) дозволяє розрахувати величину ПОЕ  $\pi_{4'4'}$  на основі матриці ПОК  $[\pi_{im}]$ , а друга частина (4) дозволяє визначити величину ПОЕ  $\pi_{4'4'}$  на основі експериментальних даних (на основі керуючих напружень  $\sigma_{4'4'}^0$ ).

*Результати.* На рис. 4 подана залежність величини поздовжнього ПОЕ  $\pi_{4'4'}$  від кута  $\alpha$ , побудована на основі виразу (3) і матриці ПОК, встановленої в [6] (суцільна лінія), а також поставлено експериментальні значення (крапки  $\bullet$ ) ПОЕ  $\pi_{4'4'}$  для 9 кутів  $\alpha$ , вказаних вище (перед рис. 1). Експериментальні значення  $\pi_{4'4'}$  визначені інтерферометричним методом з допомогою установки, сформованої на основі інтерферометра Маха-Цендера.



**Рис. 4.** Головний перетин площиною  $\perp X_1$  вказівної поверхні  $\pi_{4'4'}$  поздовжнього ПОЕ (в од.  $10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}$ ); суцільна лінія – розрахунок на основі (3), крапки ( $\bullet$ ) – значення ПОЕ, отримані на основі експериментальних даних (керуючих напружень  $\sigma_{4'4'}^0$ ) і виразу (4); тут кут  $\theta$  сферичної системи координат тотожний експериментальному куту  $\alpha$  (див. рис. 1).

Бачимо, що розраховані і експериментальні значення ПОЕ для різних кутів  $\alpha$  відмінно (в межах похибок експерименту) співпадають. Це підтверджує, по-перше, правильність концепції використання вказівних поверхонь для опису анізотропії ПОЕ, а, по-друге, демонструє надійність (достовірність) інтерферометричного методу дослідження ПОЕ за складних геометрій експерименту. В подальшому заплановано також ретельне вивчення поперечного ПОЕ на основі зразків  $X/\alpha$ -зрізу.

**Подяка.** Ця робота підтримана Європейським Союзом (програма Горизонт-2020 – проєкт №778156) та Міносвіти і науки України (реєстраційний номер проєкту 0123U101695).

#### *Список літератури*

1. Mytsyk B.G., Dem'yanyshyn N.M. Piezo-optic surfaces of lithium niobate crystals // Crystallogr. Rep. – 2006. – V. 51. – P. 653-660.
2. Kaidan M.V., Tybinka B.V., Zadorozhna A.V., Schranz W., Sahraoui B., Andrushchak A.S., Kityk A.V. The indicative surfaces of photoelastic effect for  $\text{Cs}_2\text{HgCl}_4$  biaxial crystals // Opt. Mat. – 2007. – V. 29. – P. 475-480.
3. Demyanyshyn N.M., Mytsyk B.G., Kost' Ya.P., Solskii I.M., Sakharuk O.M. Elasto-optic effect anisotropy in calcium tungstate crystals // Appl. Opt. – 2015. – V. 54. – P. 2347-2355.
4. Andrushchak A.S., Yurkevych O.V., Buryy O.A. et al. Spatial anisotropy of the linear electro-optic effect in lithium niobate crystals: Analytical calculations and their experimental verification // Opt. Mat. – 2015. – V. 45. – P. 42-46.
5. Mytsyk B. Methods for the studies of the piezo-optical effect in crystals and the analysis of experimental data. Part I. Methodology for the studies of piezooptical effect // Ukr. J. Phys. Opt. – 2003. – V. 4. – P. 1-26.
6. Mytsyk B.G., Andrushchak A.S., Demyanyshyn N.M., Kost' Ya.P., Kityk A.V., Mandracci P., Schranz W. Piezo-optic coefficients of MgO-doped  $\text{LiNbO}_3$  crystals // Appl. Opt. – 2009. – V. 48. – P. 1904-1911.

## НОВІ ТЕТРАРНІ СПОЛУКИ ТА СКЛОУТВОРЕННЯ У СИСТЕМАХ $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2$

Березнюк Орія<sup>1\*</sup>, Алрікік Мохаммед<sup>1</sup>, Галян Володимир<sup>2</sup>, Іващенко Інна<sup>1</sup>, Гулай Любомир<sup>1</sup>, Піскач Людмила<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Волинський національний університет імені Лесі Українки, кафедра хімії та технологій, пр. Волі, 13, Луцьк, 43025, Україна, \* [Berezniuk.Orysia@vnu.edu.ua](mailto:Berezniuk.Orysia@vnu.edu.ua)

<sup>2</sup> Волинський національний університет імені Лесі Українки, кафедра експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, пр. Волі, 13, Луцьк, 43025, Україна

Досліджено фазові рівноваги в чотирьох системах  $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2$ , де на обмежуючих сторонах відомі сполуки  $\text{Cu}(\text{Ag})_3\text{SbS}_3$ ,  $\text{Cu}(\text{Ag})\text{SbS}_2$ ,  $\text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6$ ,  $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_3$ , які мають високу провідність та електрооптичні властивості, що дозволяє використовувати їх у виробництві електронних пристроїв, тонких плівок.

У цих системах утворюються дві нові тетраРНі сполуки  $\text{Ag}_{11}\text{Sb}_3\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_{12}$  та є значна кількість двофазних рівноваг:  $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Cu}_2\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Cu}_2\text{Sn}_4\text{S}_9$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Ag}_{11}\text{Sb}_3\text{GeS}_{12}$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Ag}_8\text{GeS}_6$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Ag}_{10}\text{Ge}_3\text{S}_{11}$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Ag}_2\text{GeS}_3$ ;  $\text{CuSbS}_2-\text{Cu}_2\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_3$ ;  $\text{Cu}_3\text{SbS}_3-\text{Cu}_8\text{GeS}_6$ ,  $\text{Cu}_3\text{SbS}_3-\text{Cu}_4\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_4$ ,  $\text{Cu}_3\text{SbS}_3-\text{Cu}_2\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_3$ ;  $\text{AgSbS}_2-\text{Sb}_2\text{SnS}_5$ ,  $\text{AgSbS}_2-\text{SnS}_2$ ,  $\text{AgSbS}_2-\text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$ ,  $\text{AgSbS}_2-\text{Ag}_2\text{SnS}_3$ ,  $\text{AgSbS}_2-\text{Ag}_{11}\text{Sb}_3(\text{Ge})\text{SnS}_{12}$ ;  $\text{Ag}_3\text{SbS}_3-\text{Ag}_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6$ ,  $\text{Ag}_3\text{SbS}_3-\text{Ag}_{11}\text{Sb}_3(\text{Ge})\text{SnS}_{12}$ . Всі квазібінарні перерізи евтектичного типу з розчинністю на основі вихідних сполук; найбільші тверді розчини є на основі  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  (в межах 10-12 мол. %).

При загартуванні від 1173 К у цих системах встановлено області склоутворення, які прилягають до сторін  $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2$  і для германійвмісних систем простягаються в усьому концентраційному інтервалі ( $\text{GeS}_2$  – склоутворювач), а в станумовмісних є переривчастими і незначними; проте отримати  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  за наведених умов нам отримати не вдалося. В системі  $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{GeS}_2$  область склоутворення найбільша, максимальний вміст  $\text{Ag}_2\text{S}$ , що входить до складу скла становить 55 мол. %, а  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  – 97 мол. %.

Вимірні спектри поглинання склоподібних зразків по ізоконцентрах 20, 50 мол.%  $\text{GeS}_2$  в області  $h\nu$  1,0–2,4 еВ. За даними спектрального розподілу коефіцієнта поглинання в області краю поглинання оцінено ширину енергетичної щілини  $E_g$  ( $\alpha=550 \text{ см}^{-1}$ ). При збільшенні концентрації  $\text{Ag}_2\text{S}$  (за сталого вмісту  $\text{GeS}_2$ )  $E_g$  зменшується.

Морфологія поверхні склоподібного зразка 50 мол. %  $\text{Ag}_2\text{S}/44$  мол. %  $\text{GeS}_2$  / 2 мол.%  $\text{Nd}_2\text{S}_3/4$  мол. %  $\text{Er}_2\text{S}_3$  представлена на рис. 1.

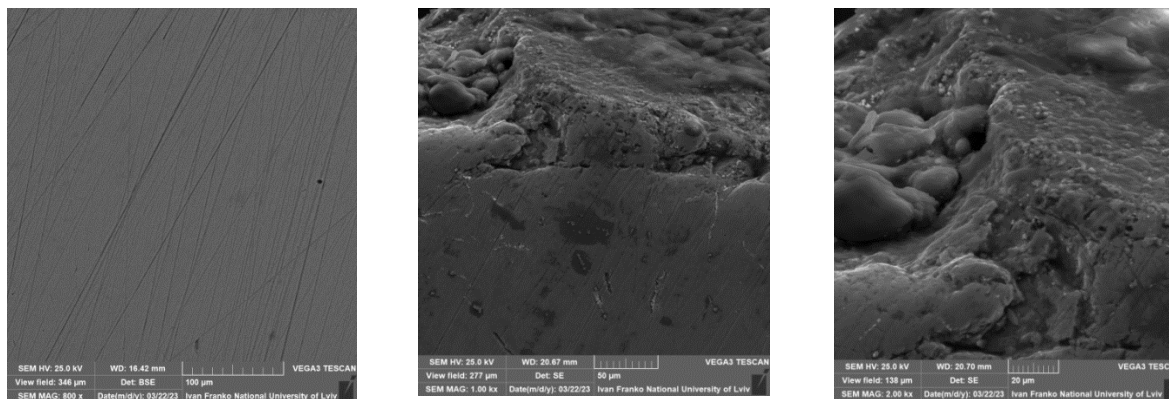


Рис. 1. СЕМ-зображення поверхні скла складу 50 мол. %  $\text{Ag}_2\text{S}$  – 44 мол. %  $\text{GeS}_2$  – 2 мол. %  $\text{Nd}_2\text{S}_3$  – 4 мол. %  $\text{Er}_2\text{S}_3$  при різному збільшенні: а –  $\times 800$ , б –  $\times 1000$ , в –  $\times 2000$ .

Якісний та кількісний склад цього зразка визначено за допомогою спектральних методів (СЕМ-ЕДРС). Результати дослідження представлено на рис. 2. Встановлено, що зразок є однофазним, якісний та кількісний склади близькі до вихідної наважки і відповідають формулі  $\text{Ag}_{2,11}\text{Ge}_{1,32}\text{Nd}_{0,11}\text{Er}_{0,13}\text{S}_3$ .

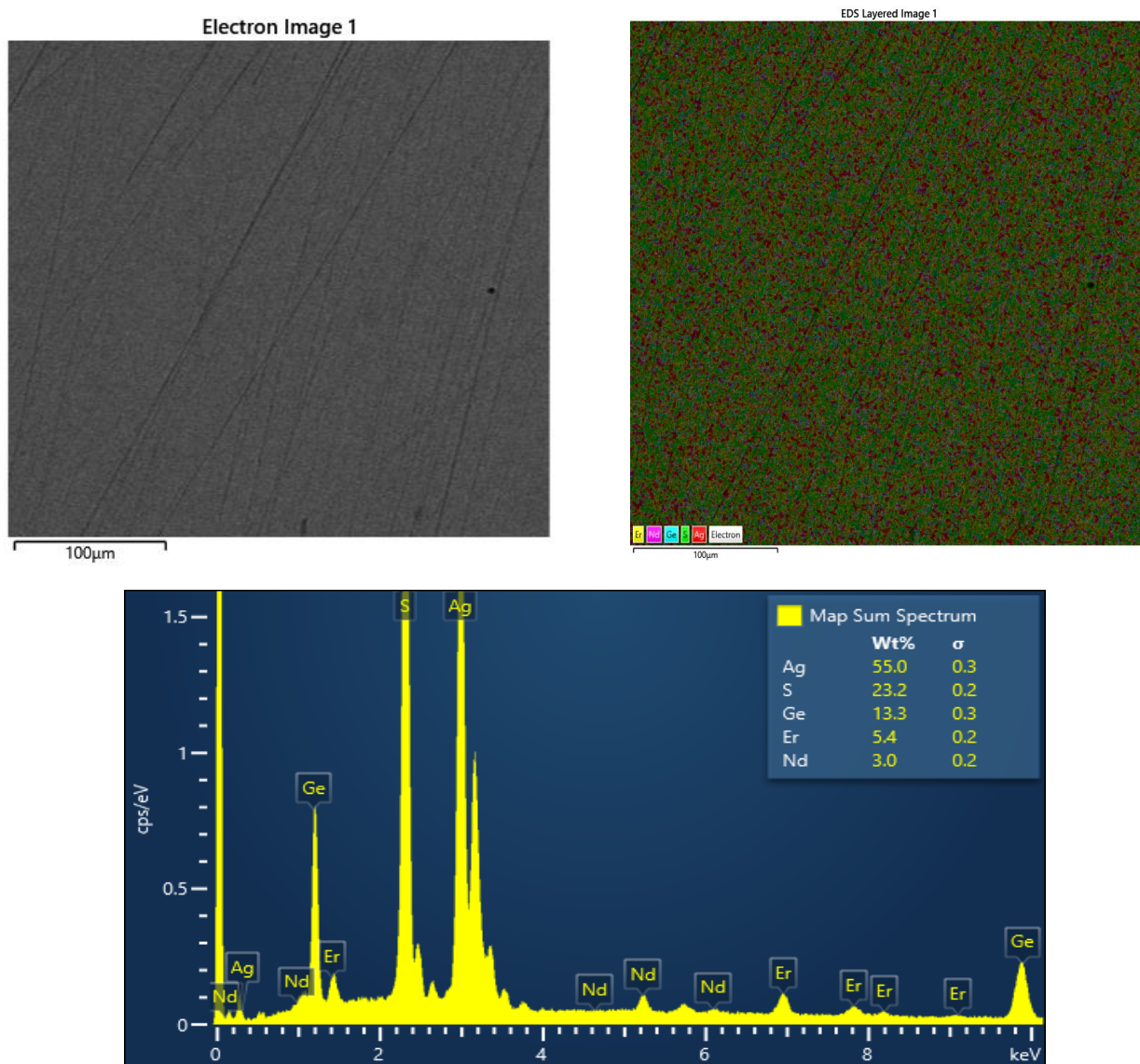


Рис. 2. Якісний та кількісний склад склоподібного зразка  
 50 мол. %  $\text{Ag}_2\text{S}$ /44 мол. %  $\text{GeS}_2$  /2 мол. %  $\text{Nd}_2\text{S}_3$ /4 мол. %  $\text{Er}_2\text{S}_3$

Для двох склоподібних зразків з додаванням РЗМ= $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$  досліджені фотолюмінесцентні (ФЛ) властивості при 300 К. Спектри характеризуються двома максимумами випромінювання – 1070 і 1350 нм для  $(\text{Ag}_2\text{S})_{50}/(\text{GeS}_2)_{48-x}/(\text{Nd}_2\text{S}_3)_2/(\text{Er}_2\text{S}_3)_x$  та 1075 і 1350 нм для  $(\text{Ag}_2\text{S})_{20}/(\text{GeS}_2)_{60}/(\text{Sb}_2\text{S}_3)_{18-x}/(\text{Nd}_2\text{S}_3)_2/(\text{Er}_2\text{S}_3)_x$ , де  $x=1-4$ , які відповідають переходам  ${}^4\text{F}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{11/2}$  та  ${}^4\text{F}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$  в іонах  $\text{Nd}^{3+}$ . Збільшення вмісту  $\text{Er}^{3+}$  призводить до зменшення інтенсивності смуг ФЛ, які пов'язані з іонами  $\text{Nd}^{3+}$ .

## ПЛАЗМОННІ ВЛАСТИВОСТІ НЕСФЕРИЧНИХ НАНОЧАСТИНОК МОНОСУЛЬФІДУ МІДІ

Булавінець Тетяна, Яремчук Ірина, Мельников Сергій, Стахіра Павло

Кафедра електронної інженерії, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С.Бандери, 12,  
79013, Львів  
e-mail: tetiana.o.bulavinets@lpnu.ua

Плазмонні явища в наночастинках благородних металів добре вивчені і широко застосовується [1], на відміну від напівпровідникових кристалів, де це відносно нова галузь досліджень [2]. Одним із перспективних напівпровідникових матеріалів, здатних до локалізованого поверхневого плазмонного резонансу є сульфід міді (CuS). Причому пік його плазмонного поглинання припадає на ближню ІЧ-область, що привертає особливу увагу дослідників до цього матеріалу і відкриває цікаві можливості застосування [3]. Як і в благородних металах, в CuS сила осцилятора та положення піку плазмонного резонансу можуть змінюватися в залежності від розміру та форми частинок, а також від діелектричних властивостей навколишнього середовища. На рис.1 представлено результати моделювання залежності перерізу екстинкції наночастинок CuS від їх геометричних параметрів. Значення показника заломлення навколишнього середовища використано 1 (повітря).

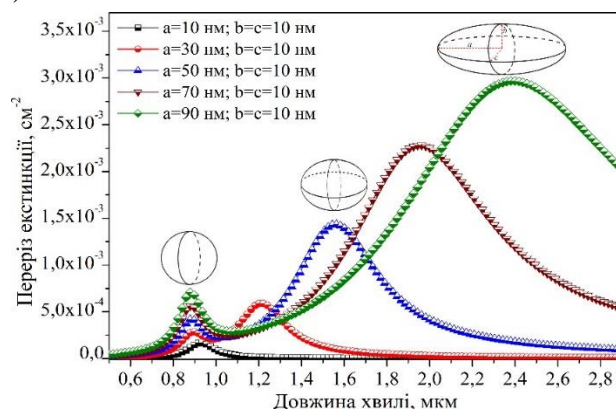


Рис.1. Залежність коефіцієнта екстинкції наночастинок CuS від довжини хвилі падаючого випромінювання при різних значеннях довжини півосі  $a$  еліпсоїда при сталих значеннях півосей  $b$  та  $c = 10$  нм.

З рис.1 видно, що відхилення від сферичної форми частинки призводить не лише до зміщення максимуму екстинкції в довгохвильову область спектру, а й до зростання максимального значення перерізу екстинкції. Отже, зміна співвідношення між півосями еліпсоїда дозволяє легко налаштувати оптичний відгук наночастинок CuS у ближній ІЧ-області без втрат у інтенсивності плазмонного поглинання. Це може бути успішно використано при вирішенні задач як електроніки чи медицини, так і при розробленні систем подвійного призначення.

### Список літератури

1. Joshi, H. (2022). Tailoring Surface Plasmons in Metal Nanoparticles. In *Advanced Functional Materials and Devices: Select Proceedings of AFMD 2021* (pp. 293-299). Springer Singapore.
2. Conti, C. R. (2022). *Localized Surface Plasmon Resonances in Semiconductor Nanocrystals*. The Florida State University.
3. Lesyuk, R., Klein, E., Yaremchuk, I., & Klinke, C. (2018). Copper sulfide nanosheets with shape-tunable plasmonic properties in the NIR region. *Nanoscale*, 10(44), 20640-20651.

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСООУТВОРЕННЯ ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПЛЕКСІВ Eu(III) З НОВИМИ 1,2,4- ТРИАЗОЛВМІСНИМИ ЛІГАНДАМИ - АНАЛОГАМИ SALEN, У РОЗЧИНАХ, ТВЕРДОМУ СТАНІ ТА ГІБРИДНИХ МАТЕРІАЛАХ НА ОСНОВІ SiO<sub>2</sub>

**Валерія Галущенко<sup>1,2</sup>, Сергій Смола<sup>1</sup>, Олександр Коровін<sup>1</sup>, Роман Дорошук<sup>3,4</sup>,  
Дмитро Хоменко<sup>3,4</sup>, Наталя Русакова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Фізико-хімічний інститут ім. О.В. Богатського НАН України, Люстдорфська дорога, 86, 65080 Одеса, Україна, e-mail: galushenko.valeriya@stud.onu.edu.ua

<sup>2</sup>Факультет хімії та фармації Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, 65026 Одеса, Україна

<sup>3</sup>Хімічний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64, Київ, Україна

<sup>4</sup>ТОВ ЄНАМІН (www.enamine.net), вул. Червоноткацька, 78, Київ 02094, Україна

Дослідження люмінесценції комплексів лантанідів (III) є актуальним з приводу їх практичного використання завдяки високим люмінесцентним характеристикам. Також слід зазначити легкість синтезу й можливість отримання гібридних композицій на основі лантанідвмісних комплексів, які мають високі оптичні й механічні характеристики й знаходять широке застосування в медицині й біохімії. Один з найпоширеніших методів отримання гібридних матеріалів є золь-гель метод. Використання діоксиду кремнія SiO<sub>2</sub> в якості матриці для створення гібридних матеріалів на основі лантанідвмісних комплексів дає ряд переваг, серед яких інертність неорганічної матриці, висока хімічна, фото- і термостабільність, можливість отримання волокон, плівок порошків тощо. Так, створення нових лантанідвмісних гібридних матеріалів дає можливість отримувати матеріали, які за характеристиками можуть перевершувати вихідні комплекси.

У роботі описано гідроксифенілтриазольні ліганди: 2,2'-(1Н,1'Н-[3,3'-бі(1,2,4-триазол)]-5,5'-дифеніл)діфенол (L<sup>1</sup>) та його похідні, що містять метоксигрупу в орто-положенні до гідроксилу. Комплексування з іонами Eu(III) досліджено методом спектрофотометричного титрування. В розчинах встановлено утворення комплексів різного складу: Eu : L = 1 : 1 та 1 : 2, але у твердому стані з розчинів виділено тільки комплекси складу 1 : 1. Ідентифікація координаційних сполук проводилась за допомогою фізико-хімічних методів дослідження (елементний аналіз, ІЧ-, ЯМР-спектроскопія). На основі комплексу EuL<sup>1</sup> було синтезовано гібридний матеріал EuL<sup>1</sup>/SiO<sub>2</sub> за методикою отримання органо-неорганічних матеріалів на основі діоксиду кремнію та комплексів лантанідів золь-гель способом. Сполуки виявляють інтенсивну 4f-люмінесценцію при збудженні УФ-світлом, досліджено люмінесцентні характеристики речовин (квантовий вихід, час життя).

## СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТІОНІВ ТЕРНАРНИХ І ТЕТРАРНИХ ХАЛЬКОГЕНІДІВ РЗМ

Гулай Любомир Дмитрович

Волинський національний університет імені Лесі Українки,  
 кафедра хімії та технологій  
 E-mail: gulay.lyubomyr@vnu.edu.ua

Структурні характеристики катіонів тернарних і тетрарних халькогенідів систем РЗМ- $\{Cu, Ag\}$ - $\{Si, Ge, Sn, Pb, In\}$ - $\{S, Se, Te\}$  можна пояснити, виходячи із правил Полінга [1]. Координаційний многогранник, який складається з катіона, оточеного аніонами, стає електростатично нестійким, якщо катіон настільки малий, що аніони торкаються один одного. Таким чином, для кожного координаційного многогранника існує критичне відношення радіусів катіона до аніона: для трикутного оточення – 0,155, для тетраедричного – 0,215, для октаедричного – 0,414, для тетрагонально-антипризматичного (чи деформованого тригонально-призматичного + 2 атоми) – 0,645, для кубічного – 0,732. Для того, щоб координаційний многогранник реалізувався в структурі, відношення радіусів катіона і аніона повинно бути більшим за критичне значення для цього многогранника [2]. На рисунку показано межі стійкості координаційних многогранників (координація катіонів) в залежності від величин  $r_{\text{катіона}}/r_{X^{2-}}$  ( $X = S, Se, Te$ ). Обраховані нами за результатами структурних досліджень значення іонних радіусів (темні фігурки) для  $Cu^{1+}$  (тетраедричне оточення),  $Ag^{1+}$  (тетраедричне оточення),  $Ag^{1+}$  (октаедричне оточення) краще корелюють із відповідними значеннями  $r_{\text{катіона}}/r_{X^{2-}}$  для відповідного оточення, ніж значення, взяті із роботи [3] (світлі фігурки).

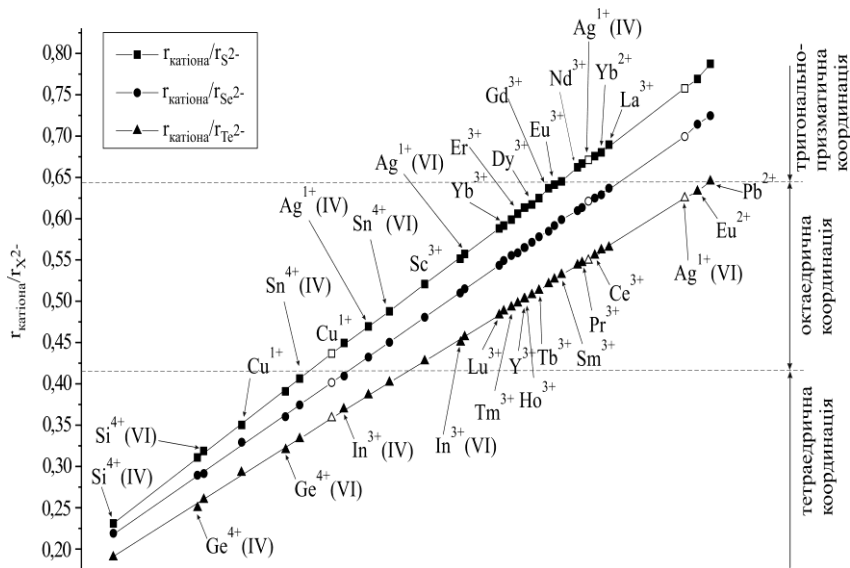


Рисунок. Межі стійкості координаційних многогранників (координація катіонів) в залежності від величин  $r_{\text{катіона}}/r_{X^{2-}}$  ( $X = S, Se, Te$ ).

На основі наведених даних можна пояснити утворення сполук з певною координацією катіонів. Як показує аналіз координаційного оточення, у халькогенідах ітрієвої підгрупи і Sc характерне, в основному, октаедричне оточення для R ( $R = \text{РЗМ}$ ), тоді як для сполук церієвої підгрупи існує тільки тригонально-призматичне оточення для R, яке, іноді, існує також для R ітрієвої підгрупи більшого розміру (Gd, Tb, Dy, Ho, Y, Er). Якщо структурний тип реалізується

тільки для R ітрієвої підгрупи, то атоми R можуть входити в тригональні призми тільки в складі статистичної суміші з атомами Pb. Розглянемо окремі випадки.

- Сполуки з октаедричним оточенням для R ітрієвої підгрупи існують в системах  $R_2X_3-Cu_2X$  ( $R = PЗМ, X = S, Se, Te$ ). В той же час, утворення сполук з тригонально-призматичною координацією атомів R церієвої підгрупи та Gd і Tb має місце лише для систем  $R_2X_3-Cu_2X$  ( $R = PЗМ, X = S, Se$ ) і відсутнє для систем  $R_2Te_3-Cu_2Te$  ( $R = PЗМ$ ). Це можна пояснити нижчими значеннями  $r_R^{3+}/r_{Te}^{2-}$ , в порівнянні із відповідними значеннями  $r_R^{3+}/r_S^{2-}$  і  $r_R^{3+}/r_{Se}^{2-}$ . Тобто тригонально-призматична координація для телуридних сполук не реалізується.
- Сполуки з октаедричним оточенням атомів R та тригонально-призматичним оточенням атомів Pb чи атомів статистичної суміші M (R+Pb) існують в системах  $R_2X_3-PbX$  та  $R_2X_3-Cu_2X-PbX$  ( $R = PЗМ$ ) із елементами ітрієвої підгрупи для  $X = S$  чи  $Se$  і відсутні у відповідних системах для  $X = Te$ . Це можна пояснити нижчими значенням  $r_{Pb}^{2+}/r_{Te}^{2-}$ , в порівнянні із відповідними значеннями  $r_{Pb}^{2+}/r_S^{2-}$  і  $r_{Pb}^{2+}/r_{Se}^{2-}$ . Значення  $r_{Pb}^{2+}/r_{Te}^{2-}$  відповідає октаедричній координації і тригонально-призматична координація не реалізується.
- Аналіз координаційного оточення катіонів у структурах складних халькогенідів систем  $PЗМ-\{Cu, Ag\}-\{Si, Ge, Sn, Pb, In\}-\{S, Se, Te\}$  вказує на чітку залежність координаційного числа від розміру катіона. При цьому існує тенденція для кожної із груп катіонів R (перша група), Cu чи Ag (друга група), Si, Ge, Sn, Pb чи In (третя група) проявляти різне, відмінне від інших груп, координаційне оточення. Так, у системах із Плюмбумом найбільшими за розмірами є катіони  $Pb^{2+}$ , які, відповідно, мають тригонально-призматичну координацію, а менші за розмірами катіони  $R^{3+}$  мають октаедричну координацію. Тому сполуки систем  $R-Pb-\{S, Se\}$  і  $R-Cu-Pb-\{S, Se\}$  існують для малих за розмірами PЗМ ітрієвої підгрупи. У випадку тетрарних сполук систем  $R-Cu-Pb-\{S, Se\}$  для  $Cu^{1+}$  характерна тетраедрична координація. В той же час, для сполук систем із Силіцієм, Германієм, Станумом та Індієм найбільшими за розмірами є катіони  $R^{3+}$ , які, відповідно, мають тригонально-призматичну координацію, а менші за розмірами катіони  $Si^{4+}, Ge^{4+}, Sn^{4+}$  та  $In^{3+}$  мають октаедричну чи тетраедричну координацію. Тому сполуки систем  $R-\{Cu, Ag\}-\{Si, Ge, Sn, In\}-\{S, Se\}$  існують для великих PЗМ церієвої підгрупи та більших за розмірами PЗМ ітрієвої підгрупи. У випадку тетрарних сполук  $R_3CuSi(Ge,Sn)S_7$  для  $Si^{4+}, Ge^{4+}, Sn^{4+}$  існує тетраедрична координація, тому для  $Cu^{1+}$  оточення близьке до трикутного. У системах  $R-Cu-In-\{S, Se\}$  для сполук  $R_2CuInS(Se)_5$  існує октаедричне оточення для більших за розміром  $In^{3+}$  і тетраедричне оточення для менших  $Cu^{1+}$ . В той же час, іони  $Ag^{1+}$  більші за іони  $In^{3+}$ , тому у структурі сполуки  $La_4Ag_2In_4S_{13}$  для Ag існує октаедричне оточення, а для In, крім октаедричного, існує також тетраедричне оточення.

Для аналізу використано літературні дані та результати власних досліджень, з якими можна ознайомитися у роботі [4]. В цій роботі також можна знайти посилання на оригінальні літературні джерела.

### Список літератури

1. Pauling L. The principles determining the structure of complex ionic crystals. *J. Amer. Chem. Soc.* 1929. Vol. 51. P. 1010–1026.
2. Парте Е. Елементи неорганічної структурної хімії. Львів: Світ, 1993. 104 с.
3. Shannon R.D. Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides. *Acta Cryst.* 1976. Vol. A32. P. 751–767.
4. Lubomir D. Gulay, Marek Daszkiewicz, Ternary and Quaternary Chalcogenides of Si, Ge, Sn, Pb, and In, Vol. 41, Ch. 250 (2011), [in] *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, Edited by: Karl A. Gschneidner, Jr., Jean-Claude G. Bünzli and Vitalij K. Pecharsky.



## ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ $Tl_2CdGe_3Se_8$

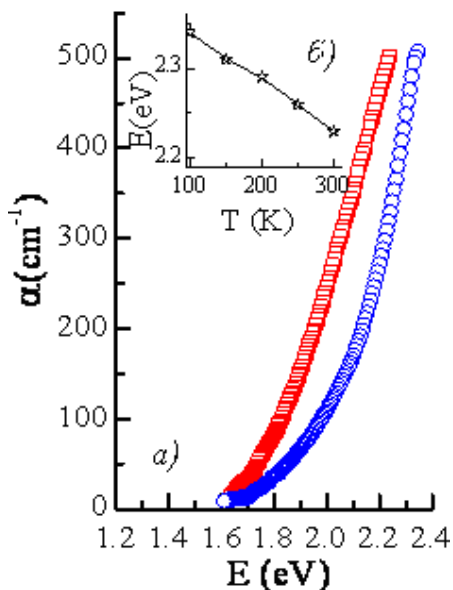
Денисюк Мар'яна<sup>1</sup>, Мирончук Галина<sup>1</sup>, Селезень Андрій<sup>2</sup>,  
Когут Юрій<sup>2\*</sup>, Піскач Людмила<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Волинський національний університет імені Лесі Українки, кафедра експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, пр. Волі, 13, Луцьк, 43025, Україна

<sup>2</sup> Волинський національний університет імені Лесі Українки, кафедра хімії та технологій, пр. Волі, 13, Луцьк, 43025, Україна, \* [Kogut.Yuri@vnu.edu.ua](mailto:Kogut.Yuri@vnu.edu.ua)

Для оцінки енергії оптичної забороненої зони досліджено спектральний розподіл коефіцієнта поглинання в області краю фундаментального поглинання. Для вимірювань були підготовлені зразки товщиною 0,06 мм з поверхнями оптичної якості. Як спектральний прилад для діапазону 360-1100 нм (спектральна роздільна здатність 0,2 нм) використано дифракційний монохроматор МДР-206 з кремнієвим фотодіодом. Температурні залежності проводили за допомогою азотного кріостата Utrex K41-3 при температурах 100 та 300 К (точність  $\pm 0,2$  К). Коефіцієнт відбиття досліджували при температурі навколишнього середовища за допомогою спектрофотометра Cary 5000 UV-Vis-NIR (Agilent Technologies) у спектральному діапазоні 400–3300 нм з точністю  $\pm 0,1$  нм.

Для сполуки  $Tl_2CdGe_3Se_8$  досліджено спектральну залежність коефіцієнта поглинання на краю області фундаментального поглинання в діапазоні температур 100-300 К (рис. 1).



**Рис. 1.** Спектральна залежність коефіцієнта поглинання для кристалів  $Tl_2CdGe_3Se_8$ :  
а) при температурах 100 К ( $\square$  – червоні квадрати) та 300 К ( $\circ$  – сині кола);  
б) зміна ширини забороненої зони  $E_g$  в діапазоні температур 100–300 К

Одним із найбільш поширених та ефективних способів оцінки оптичної ширини забороненої зони є метод Тауца [1]. У цьому випадку в області краю фундаментального поглинання при  $\alpha \geq 10^3 \text{ cm}^{-1}$  справедливий вираз з [2, 3]. Для оцінки  $E_g$  напівпровідників також використовуються інші методи, наприклад, оцінка  $E_g$  при  $\alpha < 10^3 \text{ cm}^{-1}$  здійснюється при фіксованому значенні коефіцієнта поглинання [4, 5]. Слід зазначити, що при вимірюванні спектрів нам не вдалося отримати достатньо великий для застосування методу

Тауца коефіцієнт поглинання, тому  $E_g$  була оцінена при  $\alpha=500 \text{ см}^{-1}$ . Різниця в розрахункових значеннях енергії забороненої зони обома методами, за літературними даними, становить 3-7% залежно від складу сполуки [6]. Результати оцінки  $E_g$  на рівні  $\alpha=500 \text{ см}^{-1}$  дорівнюють 2,34 еВ при 300 К та 2,23 еВ при 100 К (рис. 1а).

Важливою характеристикою напівпровідників, що визначає їх практичне застосування, є зміна ширини забороненої зони зі зміною температури. Підвищення температури ґратки спотворює енергетичний спектр як фононів, так і електронів [2]. Зміна енергії забороненої зони з температурою пов'язана зі змінами частоти фононів, які стимулюють різні ефекти, такі як теплове розширення ґратки, збільшення електрон-фононні взаємодії і, отже, взаємне відштовхування внутрішньзонних станів електронів. Детальне чисельне моделювання температурної залежності енергії забороненої зони з урахуванням теплового розширення енергетичних станів дозволених зон напівпровідників виконано в [7]. Встановлено, що з підвищенням температури краї зони провідності та валентної зони починають помітно проникати в ширину забороненої зони, що в кінцевому підсумку призводить до її зменшення. Результати температурної залежності зміни ширини забороненої зони представлені на рис. 1б. Отримані результати показують, що для цього типу сполук ширина забороненої зони лінійно зменшується з підвищенням температури. Деяке відхилення  $E_g(T)$  від лінійності пояснюється наявністю додаткових локалізованих енергетичних доданків у межах внутрішнього зазору зони поблизу дозволених зон [8, 9].

#### **Список літератури**

- [1] Tauc J. *Amorphous and Liquid Semiconductors*. New York : Plenum, 1974. P. 441.
- [2] Pankove J. I. *Optical Process in Semiconductors*. Dover, New York, 1975. P. 35.
- [3] Morigaki K., Ogihara C. *Amorphous semiconductors: structure, optical and electrical properties*. Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials. 2007. P. 565
- [4] Kodolbas Alp Osman. Empirical calibration of the optical gap in a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H (x<0.20) alloys. *Materials Science and Engineering*. 2003. Vol. 98. P. 161–166.
- [5] Disorder and the optical-absorption edge of hydrogenated amorphous silicon, G. D. Cody, T. Tiedje, B. Abeles, B. Brooks, Y. Golstein. *Phys. Rev. Lett.* 1981. Vol. 47, No. 20. P. 1480.
- [6] Oleh V. Parasyuk, Volodymyr S. Babizhetskyy, Oleg Y. Khyzhun, Volodymyr O. Levytsky, Iwan V. Kityk, Galyna L. Myronchuk, Oksana V. Tsisar, Lyudmyla V. Piskach, Jaroslaw Jedryka, Artur Maciag and Michal Piasecki, Novel Quaternary TlGaSn<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> Single Crystal as Promising Material for Laser Operated Infrared Nonlinear Optical Modulators. *Crystals* 2017, 7, 341.
- [7] Гулямов Г., Шарibaев Н. Ю. Влияние температуры на ширину запрещенной зоны полупроводника. *ФІП ФІІІ PSE*. 2011. Т. 9, № 1. С. 40–43.
- [8] IR-induced features of AgGaGeS<sub>4</sub> crystalline semiconductors, G. Ye. Davydyuk, G. L. Myronchuk, G. Lakshminarayana, O. V. Yakymchuk, A. H. Reshak, A. Wojciechowski, P. Rakus, N. AlZayed, M. Chmiel, I. V. Kityk, O. V. Parasyuk. *J. Phys. Chem. Solids*. 2012. Vol. 73, № 3. P. 439–443.
- [9] Manifestation of intrinsic defects in the band structures of quaternary chalcogenide Ag<sub>2</sub>In<sub>2</sub>SiSe<sub>6</sub> and Ag<sub>2</sub>In<sub>2</sub>GeSe<sub>6</sub> crystals, M. Makowska-Janusik, I. V. Kityk, G. Myronchuk, O. Zamuraeva and O. V. Parasyuk. *Cryst. Eng. Comm.* 2014. Vol. 16, № 40. P. 9534–9544.

## КОМБІНАЦІЙНЕ РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА НАНОКРИСТАЛІВ СУЛЬФІДУ КАДМІЮ ОТРИМАНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ

Джаган В.М.<sup>1</sup>, Мороз М.В.<sup>2</sup>, Мислінчук В.О.<sup>3</sup>, Нечипорук Б.Д.<sup>3</sup>, Рудик Б.П.<sup>2</sup>,  
Юхимчук В.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева НАН України, пр. Науки, м. Київ, 41, 03028, Україна

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства і природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, 33000, Україна

<sup>3</sup>Рівненський державний гуманітарний університет, вул. Пластова, 31, м. Рівне, 33000, Україна, bodya-54@ukr.net

В наш час отримання і дослідження фізичних властивостей нанокристалів викликає значний інтерес через можливості створення на їх основі ефективних напівпровідникових світловипромінюючих діодів і лазерів, логічних елементів, запам'ятовуючих елементів малих розмірів і з великим об'ємом пам'яті для нового покоління комп'ютерів. Сульфід кадмію високою пропускнуою здатністю в видимій області, високою відбивною здатністю в інфрачервоній області, високою електрохімічною стабільністю. Все це дає можливість використовувати даний матеріал в хімічних сенсорах, поверхневих акустичних приладах, світлочутливих плівках сонячних елементів. Для отримання нанокристалів CdS використовуються різноманітні методи: вакуумне напилення, хімічне осадження, піроліз, золь-гель методи, тощо [1-3].

Нанокристали сульфід кадмію (CdS) були отримані електролітичним методом в скляному електролізері з кадмієвими електродами. Електролітом слугував розчин тіосульфату натрію ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) з концентрацією - 12,5 г/л. Процес електролізу проводився за температури електролізу, яка змінювалася від кімнатної до 100 °С на постійному струмі. Тривалість синтезу складала 3 год, за реверсування напряму сили струму через 30 хв. Густина струму –  $7,0 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup>.

Рентгенівські дослідження здійснено на дифрактометрі ДРОН-4 з використанням  $\text{CuK}_\alpha$  випромінювання за кімнатної температури. Сканування дифрактограм виконано за схемою Бреґґа-Брентано ( $\theta$ - $2\theta$ ). Анодна напруга і сила струму склали 41 кВ і 21 мА відповідно. Крок сканування дифрактограми 0,05°, а час експозиції 5 с.

Дослідження спектрів комбінаційного розсіювання світла (КРС) досліджуваних зразків проводили в геометрії зворотного розсіювання за кімнатної температури. Експериментальні спектри реєструвалися за допомогою CCD камери (Andor). Як джерело збудження спектрів КРС використовували випромінювання лазера з довжиною хвилі 532 нм.

В результаті проведених рентгеноструктурних досліджень встановлено, що нанокристали сульфід кадмію кристалізуються в структурі сфалериту, а їх розміри визначені методом Дебая-Шеррера складають 3,0 нм для зразків отриманих за температури 98 °С і 1,6 нм - за температури 19 °С [4].

На Рис. 1 і 2 показані спектри КРС двох зразків наночастинок CdS отриманих за температури 98 °С і 19 °С відповідно в діапазоні частот 150-450 (см<sup>-1</sup>). Смуги розсіювання 302 см<sup>-1</sup> для обох зразків мають значну півширину, асиметричні і мають явно виражене низькочастотне плече. Такий їй вигляд може бути обумовлений розмірним ефектом, наявністю механічної напруги, присутністю смуг розсіювання на поверхневих оптичних та ТО фонах. Розмірний ефект приводить до зсуву смуги розсіювання в низькочастотну сторону і збільшення півширини смуги. Механічні напруги стиску приводять до зсуву

смуги в високочастотну сторону, розтягу – до зсуву в низькочастотну сторону. Смуга розсіювання на поверхневих оптичних фонах лежить між смугами TO і LO. Ми провели аналіз смуги розсіювання на LO фонах першого порядку враховуючи розсіювання на TO фонах, поверхневих SO фонах, власне на LO фонах і високочастотній смузі розсіювання (HFS), яка ймовірно обумовлена розсіюванням на поверхневих атомах сірки.

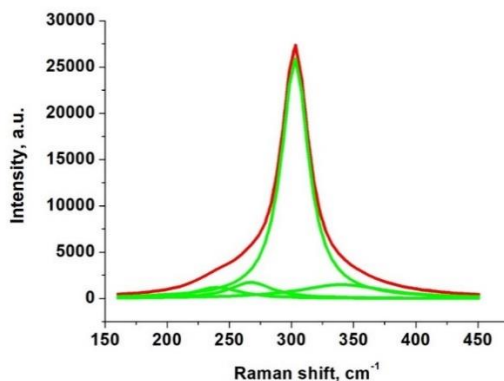


Рис. 1. Спектр КРС зразка сульфїду кадмїю отриманого за температури 98 °С

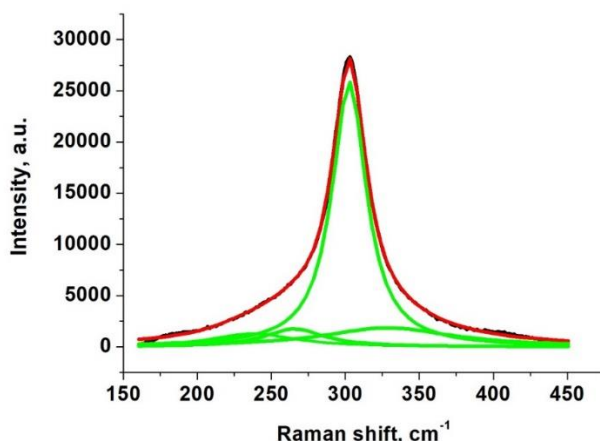


Рис. 2. Спектр КРС зразка сульфїду кадмїю отриманого за температури 19 °С

Тому експериментальну смугу було описано чотирма функціями Лоренца так, як показано на Рис. 1 і 2 для двох зразків. В результаті було отримано такі значення частот: для зразка отриманого за температури 98 °С -  $\nu_{TO} = 240 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu_{SO} = 267 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu_{LO} = 303 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu_{HFS} = 341 \text{ cm}^{-1}$ ; для зразка отриманого за температури 19 °С -  $\nu_{TO} = 238 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu_{SO} = 266 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu_{LO} = 303 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu_{HFS} = 329 \text{ cm}^{-1}$ . Видно, що частотні положення смуг розсіювання на LO і SO фонах практично співпадають. Півширини смуг розсіювання на LO і SO фонах відповідно дорівнюють: для зразка отриманого за температури 98 °С –  $26 \text{ cm}^{-1}$  і  $42 \text{ cm}^{-1}$ ; для зразка отриманого за температури 19 °С -  $28 \text{ cm}^{-1}$  і  $48 \text{ cm}^{-1}$ . Отримані результати добре корелюють результатами роботи [5].

Дисперсія діелектричної проникливості речовини з точки зору макроскопічної теорії описується рівнянням [6, 7]:

$$n^2 - k^2 = \varepsilon_\infty + \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty) \omega_0^2 (\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \omega^2 \gamma^2} \quad (1), \text{ де}$$

$n$  – показник заломлення світла;

$k$  – коефіцієнт поглинання світла;

$\varepsilon_0$  – відносна діелектрична проникливість середовища;

$\varepsilon_\infty$  - високочастотна діелектрична проникливість середовища;

$\omega$  – частота;  
 $\omega_0$  – резонансна частота;  
 $\gamma$  – коефіцієнт згасання.

В смугі залишкових променів (від  $\omega_{TO}$  до  $\omega_{LO}$ ) відсутнє пропускання та поглинання, а тому  $k = \gamma = 0$  та врахувавши, що  $\varepsilon = n^2$  отримаємо:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_\infty) \omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (2)$$

Використавши співвідношення Ліддана-Сакса-Теллера [8]

$$\frac{\omega_{LO}^2}{\omega_{TO}^2} = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_\infty} \quad (3), \text{ де}$$

$\omega_{TO}$  – частота поперечних оптичних фононів;

$\omega_{LO}$  – частота поздовжніх оптичних фононів

отримаємо:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\infty \frac{\omega_{LO}^2 - \omega^2}{\omega_{TO}^2 - \omega^2} \quad (4)$$

З останнього рівняння видно, що діелектрична проникливість дорівнює нулю за умови:  $\omega = \omega_{LO}$  і в діапазоні частот  $\omega_{TO} < \omega < \omega_{LO}$  набуває від'ємних значень. З точки зору фрьоліхівської електрон-фононної взаємодії серії мод задаються співвідношенням [9]:

$$\varepsilon(\omega) = - \frac{l+1}{l} \varepsilon_m \quad (5), \text{ де}$$

$\varepsilon_m$  – діелектрична проникливість середовища;

$l = 1, 2, 3, \dots$

Підставивши рівність (5) в рівняння (4) одержимо частоту поверхневого оптичного фонона:

$$\omega_{SO} = \omega_{TO} \sqrt{\frac{l \varepsilon_0 + (l+1) \varepsilon_m}{l \varepsilon_\infty + (l+1) \varepsilon_m}} \quad (6)$$

Використавши значення  $\varepsilon_0 = 9,8$ ,  $\varepsilon_\infty = 5,4$ ,  $\omega_{TO} = 237 \text{ см}^{-1}$  [10] для сульфїду кадмію (сфалерит) ми отримали частоту поверхневого фотона  $\omega_{SO} = 299 \text{ см}^{-1}$ , що перевищує експериментальне значення. Такий результат можливо обумовлений тим фактом, що значення відносних діелектричних проникливостей нанокристалічних зразків відрізняються від відповідних значень монокристалічних об'єктів.

Список літератури.

1. Sonika Khajuria, Sumit Sanotra, Heena Khajuria, Anuraag Singh, Haq Nawaz Sheikh Acta Chim. Slov., 2016, V. 63, P. 104–112
2. Y. Al-Douri1, Jamal H. Waheb, M. Ameri, R. Khenata, A. Bouhemadou, A. H. Reshak Int. J. Electrochem. Sci., 2013, V.8, P. 10688 - 10696
3. Н.С. Кожевникова, А.С. Ворох, А.А. Урицкая Успехи химии, 2015, том. 84, вып. 3, С. 225-250.
4. N.V. Danilevska, M.V. Moroz, B.D. Nechyporuk, S.H. Haievska, M.Yu. Novoseletskyi, M.V. Prokhorenko, N.P. Yarema, V.O. Yukhymchuk, Fiseha Tesfaye, O.V. Reshetnyak J. NANO- ELECTRON. PHYS. **12**, 04035 (2020)
5. Volodymyr M. Dzhagan, Mykhailo Ya. Valakh, Alexander G. Milekhin, Nikolay A. Yeryukov, Dietrich R.T. Zahn, Elsa Cassette, Thomas Pons, and Benoit Dubertret J. Phys. Chem. C 2013, 117, 18225–18233
6. М. Гарбуни /Пер. с англ М. Физика оптических явлений. М.: Энергия, 1967, 496 с.
7. А.С. Давыдов Теория твердого тела М.: Наука, 1976, 640 с.
8. Блейкмор Дж. Физика твердого тела: Пер. с англ. М.: Мир, 1988, 608 с.
9. Гомоннай О.О., Гомоннай О.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Основи фізики та технології наноструктур». – Ужгород.: ДВНЗ "УжНУ", 2014. – 66 с.
10. Handbook on physical properties of semiconductors //Sadao Adachi, Gunma, Japan, Vol. 3, II-VI Compound Semiconductor, 2004, 1471 p.

## **ІСТОРИЯ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ**

А.Г. Кевшин<sup>1</sup>, В.В. Галян<sup>2</sup>, А.А. Семенюк<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки*

<sup>2</sup>*Завідувач кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки, доктор фізико-математичних наук*

<sup>3</sup>*Студент 1-го курсу Волинського національного університету імені Лесі Українки*

[Kevsyin\\_A@ukr.net](mailto:Kevsyin_A@ukr.net), [halvanv@ukr.net](mailto:halvanv@ukr.net), [semenyk\\_a@ukr.net](mailto:semenyk_a@ukr.net)

Під електротехнікою розуміють область науки і техніки, що використовує електричні і магнітні явища для практичних цілей. Перші кроки та винахід у цій сфері були зроблені ще у проміжку між 200 до нашої ери та 250 роком нашої ери. У цей час було створено так звану «Багдадську батарею», у яку наливали кислоту або луг, після чого батарея могла видавати електричну напругу 1 вольт. А ще раніше філософ Фалес Мілетський помітив що бурштин, натертий вовною, здатний ненадовго притягувати до себе металеві предмети.

Проте науковці вважають, що початок першого періоду розвитку електротехніки, про яку ми говоримо сьогодні, тривав з 1800 по 1831 роки та пов'язаний із відкриттям Алесандро Вольта хімічного джерела струму. Цей період відзначається новими відкриттями в області електрики та вивченням можливості практичного її використання. Так у 1800 р. Карлейль та Нікольсон розклали за допомогою струму воду на водень та кисень. Цього ж року У. Крейкшенк показав, що і солі різних металів також розкладаються струмом. У 1801 р. У.Х. Вулстен експериментально довів ідентичність струму, що одержується від вольтового стовпа з тими зарядами, що виходять при явищах статичної електрики.

У 1802 р. В.В. Петров сконструював велику гальванічну батарею, що складається з 2100 мідно-цинкових елементів з електрорушійною силою близько 1700 В. Одним із видатних успіхів вченого стало відкриття у 1802 році явища електричної дуги, яку він отримав між вугільними електродами.

Важливе значення мало відкриття Х. Ерстедом у 1819 р. електромагнетизму. У подальшому дослідження Ерстеда продовжили Араго, Ампер та ін., що привели до створення соленоїда, мультиплікатора, електромагніту та гальванометра. Експериментами Барлоу, Фарадея та Генрі була показана можливість перетворення електричної та магнітної енергії на механічну, тобто можливість створення електродвигуна. Однак гальмом було те, що хімічні джерела струму були придатні лише до лабораторних випробувань. Відкриття у 1821 р. Зеєбеком термоелектрики також не забезпечило створення придатних для практики генераторів.

У цей час Андре Марі Ампер розробив багато питань взаємодії струмів, почав свої експерименти, в галузі індукції Майкл Фарадей. Ж. Б. Біо, Ф. Савар та П. Лаплас дали математичний вираз для сили взаємодії між струмами та магнітами, а Ампер для сили взаємодії між струмами. У 1826 р. Георг Ом експериментальним шляхом відкрив основний закон електричного кола та ввів поняття опору та навчився обчислювати його величину.

Другий період розвитку електротехніки (1831-1867 р.) починається з моменту відкриття Майклом Фарадеем явища електромагнітної індукції. У 1828-1932 р. Шилінг створив електромагнітний телеграф. Цим він відкрив шлях багатьом ученим у цій галузі, таким як Якобі, Морзе, Уїтстон та ін.

Електромагнітний принцип використовували винахідники для створення електродвигуна, перші варіанти яких були з постійними магнітами. У 1834 р. Б.С. Якобі створює перший у світі електродвигун із безпосереднім обертанням робочого валу, що відбувалося внаслідок поперемінного притягання та відштовхування електромагнітів.

У цей час велися досліді і в галузі використання струму електротермічних процесах. Д.П. Джоуль (1818-1889) у 1841 р. та незалежно від нього у 1842 р. Е.Х. Ленц відкрили закон виділення теплоти під час проходження струму – закон Джоуля – Ленца. Варто також відзначити встановлені Р. Г. Кірхгофом закони розгалуженого електричного кола, а також роботи Вебера та Гауса в галузі теорії магнетизму.

Найбільший інтерес у другому періоді розвитку електротехніки після телеграфії викликало електричне освітлення. Тоді вже були створені основні типи дугових ламп і безліч ламп розжарювання. Потужним джерелом живлення стає електромашинний генератор, принцип роботи якого заснований на явищі електромагнітної індукції.

Третій період розвитку електротехніки (1867-1891 р.) почався в той час, коли на основі явища електромагнітної індукції та принципу самозбудження був побудований генератор Грама, що давав дешеву електроенергію. У цьому періоді використовувався переважно постійний струм, при цьому в галузі енергетичних застосувань відбувається поступовий перехід від дослідів до практики.

У другій половині 1870-х р. завдяки роботам П.М. Яблочкова, з'явилися генератори однофазного змінного струму. Вони отримали застосування лише завдяки свічці Яблочкова. Свічка Яблочкова дала можливість встановити електричне освітлення у громадських приміщеннях, вулицях, парках тощо. У 1879 р. було винайдено лампу розжарювання Т. Едісона. У третій період розвитку електротехніки яскраво розквітає талант Т.А. Едісона. У цей час він удосконалив телеграф, телефон, кіноапаратуру винайшов фонограф. Едісон розробив один з перших комерційно успішних варіантів електричної лампи розжарювання.

У 1885 р. угорськими інженерами М. Дері, О. Блатті та К. Циперновським було створено промисловий тип однофазного трансформатора. Почалося будівництво електропередач на змінному струмі, однак однофазний струм не підходив для застосування у електроприводах. Тому для цієї мети застосовувалися старі електростанції постійного струму та старі генератори у режимі двигунів. Незручність від існування двох електромереж були подолані з відкриттям Ферарісом явища обертаючого магнітного поля та створення на його основі двофазної (Н. Тесла) та трифазної (М.Й. Доліво-Добровольський) систем.

Четвертий період розвитку електротехніки розпочався у 1891 р. і продовжується досі. Його початок пов'язаний із створенням лінії електропередач трифазного струму Лауффен – Франкфурт довжиною 175 км. Трифазний струм трансформувалася, а працюючі на ньому електродвигуни мали хороші пускові властивості та допускали можливість перевантаження. У тому ж 1891 р. з'являються парові турбіни Парсонса, придатні для встановлення на електростанціях, завдяки яким електроенергія стала ще доступнішою.

У цей період широко проявляється талант Н. Тесла, який зробив великий внесок у створення пристроїв, що працюють на змінному струмі, багатофазних систем, синхронного генератора та асинхронного електродвигуна, що дозволили зробити так званий другий етап промислової революції.

Сьогодні електротехніка теж розвивається, впроваджуючись у всі наукові галузі, і вже давно стала невід'ємною частиною нашого життя. Цей прогрес несе у собі нові відкриття та нові можливості для людей.

### **Список використаних джерел**

1. Кевшин А. Г., Новосад О. В., Федосов С. А. Електротехніка : навчальний посібник. Луцьк, 2021. 127 с.
2. Кевшин А. Г. Електротехніка : конспект лекцій. Луцьк, Вежа-Друк, 2016. 69 с.
3. Михайличенко О.В. Історія науки і техніки: навчальний посібник. Суми : СумДПУ, 2013. 346 с

## НЕКРИСТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ СТЕКОЛ СИСТЕМИ $\text{GeS}_2\text{-As}_2\text{S}_3$

**Кириченко Максим Миколайович**

*Волинський національний університет імені Лесі Українки*

Великий інтерес до нелінійно-оптичних матеріалів мотивований їх потенційним використанням у повністю оптичних пристроях. Халькогенідні стекла привертають значну увагу через їх високий показник заломлення та прозорість у середньому інфрачервоному діапазоні. Зважаючи на хімічну природу елементів очікується, що їхні нелінійно-оптичні властивості будуть принаймні на порядок вищі, ніж у оксидних стеклах [1, 2].

Трисульфід миш'яку є цікавим халькогенідним склом завдяки своїм світлочутливим властивостям. Разом з тим  $\text{As}_2\text{S}_3$  можна синтезувати кількома шляхами. Існують методи синтезу, які спрямовані на отримання "об'ємних" матеріалів, наприклад жорстке гартування із розплаву, або на отримання тонких плівок, в яких використовуються методи термічного випаровування або розпилення розплаву [2, 3].

В роботах [4,5] повідомлялось, що халькогенідні стекла мають високу сприйнятливості третього порядку. Проте їх недоліком є сильне нелінійне поглинання на телекомунікаційних довжинах хвиль (від 1,3 до 1,55 мкм), що обмежує їх практичне використання [6]. Подолати ці труднощі можна введенням в структуру модифікаторів з більш широкою забороненою зоною. Для вдосконалення інфрачервоних технологій важливо синтезувати та охарактеризувати нові матеріали. Введення РЗМ стимулюватиме виникнення інтенсивної ФЛ в зазначеному діапазоні, що є перспективним для застосування стеклах в оптоелектронних приладах. Одним з важливих розширень попередніх підходів є можливість створення нових халькогенідних матеріалів, на основі яких можуть бути отримані багатофункціональні фосфорисцентні матеріали з нелінійно-оптичними властивостями. З огляду на це нами реалізована можливість синтезу стеклах систем  $\text{As}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$  та  $\text{As}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2 - \text{Er}_2\text{S}_3$ .



$\text{As}_{14} \text{Ge}_3 \text{S}_{27}$



$\text{As}_{92} \text{Ge}_3 \text{Er}_2 \text{S}_{147}$

### Список літератури

- [1] B. J. Eggleton, B. Luther-Davies, and K. Richardson, "Chalcogenide photonics," Nat. Photonics 5, 141–148 (2011).
- [2] A. Zakery and S. R. Elliott, "Optical properties and applications of chalcogenide glasses: a review," J. NonCryst. Solids 330(1-3), 1–12 (2003)
- [3] A. B. Seddon, "Chalcogenide glasses - A review of their preparation, properties and applications,," Non-Cryst. Solids 184, 44–50 (1995).
- [4] J.M. Harbold, F. Ö. İday, F.W. Wise, J.S. Sanghera, V.Q. Nguyen, L.B. Shaw, I.D. Aggarwal, Opt. Lett. 27 (2002) 119.
- [5] K. Ogusu, J. Yamasaki, S. Maeda, M. Kitao, M. Minakata, Opt. Lett. 29 (2004) 265
- [6] K.S. Bindra, H.T. Bookey, A.K. Kar, B.S. Wherrett, X. Liu, A. Jha, Appl. Phys. Lett. 79 (2001) 1939.



## СИНТЕЗ ТА ВЛАСТИВОСТІ НАНОПОРОШКІВ СПОЛУК СВИНЦЮ ОТРИМАНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ

Коломис О.Ф.<sup>1</sup>, Мороз М.В.<sup>3</sup>, Нечипорук Б.Д.<sup>2</sup>, Рудик Б.П.<sup>3</sup>, Стрельчук В.В.<sup>1</sup>, Татарин Б.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарєва НАН України, пр. Науки, м. Київ, 41, 03028, Україна

<sup>2</sup>Рівненський державний гуманітарний університет, вул. Пластова, 31, м. Рівне, 33000, Україна

<sup>3</sup>Національний університет водного господарства і природокористування, вул. Соборна, 11, Рівне, 33000, Україна

<sup>4</sup>Волинський національний університет ім. Лесі Українки Волинська обл., м. Луцьк, проспект Воли, 13, 43010, Україна

Впродовж тривалого часу РbО є важливим матеріалом при виробництві акумуляторних батарей, гуми, радіаційно стійких сортів скла та ситалів, кераміки, а також як пігмент фарб. Оксиди свинцю  $\alpha$ -РbО ( $E_g = 2,2$  еВ) і  $\beta$ -РbО ( $E_g = 2,3$  еВ) є фотоактивними напівпровідниковими матеріалами, що мають перспективи використання у напівпровідникових приладах.

Нанопорошки сполук свинцю було отримано електролітичним методом в відкритому скляному електролізері з свинцевими електродами за різних температур. Електроліт: розчин хлориду натрію (3 зразки) і карбонат натрію (1 зразок). Рентгенівські дослідження здійснено на дифрактометрі ДРОН-4 з використанням  $\text{CuK}_\alpha$  випромінювання за кімнатної температури.

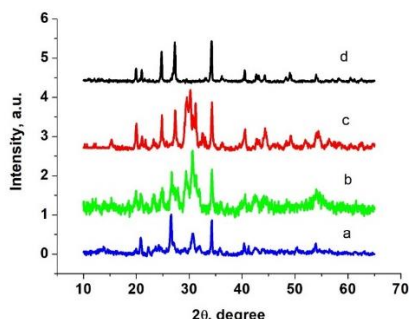


Рис. 1. XRD зразків синтезованих електролітичним методом: *a* – електроліт NaCl,  $t = 24^\circ \text{C}$ ; *b* - електроліт NaCl,  $t = 60^\circ \text{C}$ ; *c* – електроліт NaCl,  $t = 98^\circ \text{C}$ ; *d* – електроліт  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $t = 20^\circ \text{C}$ .

XRD дослідження показали, що у результаті синтезу при використанні електроліту на основі NaCl отримується суміш  $\alpha$  та  $\beta$  оксидів свинцю (рис. 1*a-c*). Визначення розмірів нанокристалів РbО методом Дебая-Шерера показують, що при збільшенні температури синтезу розміри наночастинок  $D$  оксиду свинцю зростають: для  $\alpha$ -РbО від 17 нм ( $24^\circ \text{C}$ ) до 36 нм ( $98^\circ \text{C}$ ),  $\beta$ -РbО від 20 нм ( $24^\circ \text{C}$ ) до 30 нм ( $98^\circ \text{C}$ ) відповідно. Також наявна присутність на всіх дифрактограмах рефлексів з кутовим положенням  $2\theta = 27,2^\circ$ , які ідентифікуються як (002) карбонату свинцю РbСО<sub>3</sub>. Розміри нанокристалів РbСО<sub>3</sub> спостерігають тенденцію до зменшення з ростом температури синтезу: від  $D = 34$  нм при  $24^\circ \text{C}$  до 27 нм  $98^\circ \text{C}$  відповідно.

## **ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

**Кривець Г.В.**

*Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології Хіміко-технологічного факультету КПІ ім. І. Сікорського 03056, м. Київ, пр. Перемоги 37 корпус 4  
E-mail: krimets@xf.kpi.ua*

Одним із напрямів розвитку хімічної технології в сучасному світі є максимальна уніфікація виробництва на рівні обладнання та на рівні інтеграції цього обладнання в технологічний ланцюг. Уніфікація обладнання значно спрощує ремонтні роботи та здешевлює продукцію, що випускається на такому обладнанні. Уніфікація технічних рішень спрощує роботу всього заводу та спрощує навчання персоналу. Крім того, уніфікація дозволяє нарощувати хімічне виробництво в бік мініатюризації. Таким чином на ринок вийшли обладнання, товари та послуги, які раніше були недоступні звичайним людям, але вважалися привілейованими лише для фахівців у галузі хімічної технології чи суміжних спеціальностей. Прикладом може бути сучасна побутова установка остаточної очистки води, яка використовує принцип зворотного осмосу.

Сучасні фармацевтичні підприємства України здебільшого використовують готові субстанції, які або закупаються на інших вітчизняних фабриках, або імпортують відповідно до власних потреб. Насправді мова йде про так звану «гібридну технологію», а не про повний цикл. Такий підхід певною мірою впливає на якісний і кількісний склад стічних вод, що утворюються на підприємствах фармацевтичної промисловості. Тому настав час оновити метод очищення води у фармацевтичній промисловості нашої країни.

Зрозуміло, що різноманітність стічних вод за фазовим розподілом, якісним і кількісним складом не зменшилася, а навпаки, навіть збільшилася в умовах ринкової економіки, оскільки сучасна продукція виробництва готового асортименту значно оновлена. Однак цей факт не обов'язково призводить до додаткових ускладнень у методах очищення води.

Сегмент стічних вод фармацевтичних виробництв, пов'язаний безпосередньо з виробництвом лікарських препаратів має значно більше забруднень і повинен обов'язково бути або знешкодженим, або тим, чи іншим чином утилізованим. Такі стічні води утворюються при промиванні обладнання, особливо в разі використання періодичних хіміко-технологічних процесів. Крім того, джерелами стічних вод можуть бути будь-які технологічні стадії, від надання однорідності в змішувачах, або гомогенізаторах до формування і пакування готових лікарських форм у тару. Всі ці стічні води в наш час успішно піддаються порівняно невеликій кількості технологічних варіантів водоочищення. Невелика кількість є наслідком того, що сучасні технології і технологічне обладнання для їх реалізації не вимагає в більшості випадків використання підходів, які базуються на знешкодженні окремих стоків.

До традиційних методів очищення стічної води від лікарських препаратів відносяться: біологічні процеси, фільтрація і коагуляція, адсорбційні, окисні і мембранні процеси тощо. В процесах коагуляції і осадження використовують хімічні речовини, щоб підвищити ступінь утворення твердих сполук, пластівців, колоїдних утворень, які осідають. Ці методи вимагають подальшої обробки для видалення забруднюючих речовин із стічних вод. За останні десять років традиційні методи переглядаються для більш ефективного видалення фармацевтичних забруднювачів зі стічних вод [1]. Більш ефективні є методи біологічної та окисної обробки стічної води. Під біохімічним розкладом розуміють видалення органічних сполук за рахунок одночасно протікаючих процесів дисиміляції і асиміляції. Дисиміляція представляє собою сукупність ензиматичних процесів, в результаті яких органічна речовина послідовно перетворюється в більш просту органічну сполуку,

причому кінцевими продуктами являються вуглекислий газ, вода, аміак, солі азотної і сульфатної кислоти і інші неорганічні компоненти вихідної речовини. Під асиміляцією розуміють сукупність реакцій, в результаті яких органічна речовина виявляється переробленою в біомасу. Органічні речовини розкладаються в результаті біохімічних процесів з різними механізмами, що визначаються їх складом і структурою. Процеси біохімічного розкладу залежать від фізико-хімічних, біологічних і хімічних факторів. До головних фізико-хімічних факторів належать температура, розчинність речовини в стічній воді, рН води, а також (у випадку аеробного розкладу) концентрація кисню, що розчинений в стічній воді. До головних біологічних факторів слід віднести вибраний комплекс мікроорганізмів і характер їх адаптації до специфічних речовин, співвідношення між концентрацією даної речовини і концентрацією сухої частини біомаси, а також активність мікроорганізмів, яка визначається перш за все віком культури. По мірі старіння активного мулу зменшується доля асимільованих органічних речовин і зростає кількість продуктів розкладу. Із хімічних факторів вирішувочими являються склад і структура досліджуваної сполуки, присутність речовин, що легко піддаються біохімічному розкладу і біогенних елементів [2]. Окислювачі, що використовуються в практиці підготовки питної води для знезараження та покращення її органолептичних показників. Проте в останні роки, з поступовим забрудненням стічних вод хімічними та органічними сполуками антропогенного походження, значення окислювачів у практиці очищення стічних вод значно зросло, оскільки багато забруднювачів, що містяться у воді, під дією певною мірою руйнуються в окислювачах. Отримані продукти можуть суттєво відрізнитися від вихідної речовини забруднювача не лише за хімічною будовою та фізико-хімічними властивостями, а й за токсичністю.

Досвід токсиколого-гігієнічної та технологічної оцінки ефективності використання окиснювачів показує, що найбільш важливим є вибір окиснювача для очищення стічної води від хімічних і органічних забруднень.

При цьому необхідно враховувати не тільки величину окисно-відновного потенціалу кожного окиснювача, але також і інші фактори, що роблять істотний вплив на ефективність очищення води: її склад; ступінь і характер забруднення; наявність природних сполук, таких як гумінові кислоти і складні феноли, що здатні окиснюватися; величину рН води тощо. При цьому повинна враховуватися здатність деяких окиснювачів до реакцій заміщення із включенням молекул окиснювача в утворенні хімічних речовин, в результаті чого у воді можуть з'явитися небажані і навіть небезпечні сполуки. Так, при обробці хлором води, що містить феноли, можуть утворюватися хлорфеноли, що додають їй різкий неприємний запах. У практиці водоочищення в основному застосовують такі окиснювачі: озон, перманганат калію, хлор і його похідні [3]. При цьому традиційні методи очищення стічних вод не завжди ефективні відносно фармацевтичних препаратів [4].

Одною з можливих стадій для модернізації очищення питної та стічної води на станціях очищення є застосування розширених окисних процесів (Advanced oxidation processes) [5-7].

Advanced oxidation process (AOPs) є окиснювальними методами, що засновані на генерації проміжних гідроксильних радикалів, що мають більшу реакційну здатність і меншу селективність, ніж інші окиснювачі (наприклад, хлор, озон тощо). Його стандартний окислювальний потенціал  $E^0 = 2,8 \text{ В}$ , що є більшим, ніж в звичайних окиснювачах, це робить їх надзвичайно ефективними в окиснюванні різноманітних органічних сполук. У таких процесах, очікується, що органічні сполуки окиснюються до менш токсичних, які здатні до біодеградації або мінералізуються до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  [6].

Універсальність розширених окисних процесів відображається в різних варіантах генерування гідроксильних радикалів. Вони характеризуються різноманітністю реакцій, протікання яких включає комбінацію хімічних речовин (наприклад, озон, пероксид водню, перехідні метали, оксиди тощо) і допоміжного джерела енергії (наприклад, УФ-випромінювання, електричний струм,  $\gamma$ -випромінювання, ультразвук тощо). Іншими прикладами розширених окисних процесів є комбінована дія  $\text{H}_2\text{O}_2$  – УФ; система Фентона ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ); фото- і електро-Фентон системи; хемоутворюючі речовини, що сприяють протіканню фото-Фентон процесів; гетерогенне фотоокиснення з використанням діокиду титану ( $\text{TiO}_2$ );  $\gamma$ -радіоліз і соноліз. Гідроксильні радикали представляють собою надзвичайно реакційно здатні частинки з константами швидкості реакції з більшістю органічних молекул порядку  $10^6 - 10^9$  1/Мс. Відсутність селективності взаємодії цих радикалів з речовиною, і в дуже забруднених водах вважається перевагою.

Згідно з дослідженнями найбільш ефективними є процеси окиснення органічних сполук пероксидом водню в присутності іонів металів змінної валентності ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ). До ефективних процесів окиснення відносяться також системи Фентона ( $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{2+}$ ) і Раффа ( $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{3+}$ ).

Головна перевага процесів фотокаталітичного окислення ґрунтується на протіканні реакцій окислення при кімнатній температурі і можливості ефективного використання електромагнітного випромінювання в видимій або ультрафіолетовій частини спектра, які можуть привести до значних економічних заощаджень для великомасштабних очисних процедур.

#### Список літературних джерел

1. Кринець Г. В. Advanced Oxidation Processes для очищення стічних вод фармацевтичних підприємств від антибіотиків / Г. В. Кринець, Т. А. Хондока // Молодий вчений. — 2018. — №2с.
2. Яковлев С. В. Очистка сточных вод предприятий химико-фармацевтической промышленности / Т.А. Карюхина, С.А. Рыбаков. – К. : Стройиздат, 1985. – 252 с.
3. Сколубович Ю. Л. Окислительные и коагуляционные методы очистки воды для питьевого водоснабжения / Е. Л. Войтов, А. Ю. Сколубович // ВЕСТНИК ИрГТУ. – 2010. – № 6. – С. 121-125.
4. Желовицкая А. В. Применение перспективных окислительных процессов для очистки сточных вод, содержащих фармацевтические препараты / А. Ф. Дресвянников, О. Г. Чудакова // Вестник технологического университета. – 2015. - № 20. – С. 73-79.
5. Emzhina V. V. Oxidative degradation of model wastewater containing pharmaceuticals by fenton's reagent / S. N. Mirzoeva, N. A. Ivantsova // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – № 5. – С. 22-25.
6. Homem V. Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices / Vera Homem, Lúcia Santos // A review. Science of the Total Environment. – 2011. – Vol.92 (10). – 2304-2347 p.
7. Kyrii S., Krimets G., Kosogina I., Astrelin I., Fedorenko O. APPLYING AOPS FOR ANTIBIOTICS EXCSTRACTION FROM WASTEWATER Norwegian Journal of development of the International Science ISSN 3453-9875 №26/2019 VOL.2 pp. 26-31.

## **ТЕХНОЛОГІЯ BYOD У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ**

**Кучулап С. В., Ковальчук Б. В., Новосад О. В.**

Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43025,  
e-mail: Novosad.Oleksiy@vnu.edu.ua

Сучасна освіта повинна зосереджуватися на технологіях, які розвивають в учнів навички вчитися, керувати інформацією, приймати швидкі рішення. В умовах традиційних методів навчання учні часто пасивно сприймають інформацію, інколи не вміють самостійно отримувати інформацію та застосувати набуте. Використання мобільних пристроїв у навчанні дає можливість учням отримувати контрольований доступ до навчальних матеріалів, вчителям – з легкістю керувати процесом навчання й відслідковувати його ефективність. Одним із шляхів запровадження такого навчання може бути використання технології BYOD: Bring Your Own Device. Тому актуальним завданням є аналіз особливостей впровадження технології BYOD у навчальний процес.

У сучасних умовах майже всі здобувачі освіти мають при собі смартфони або планшети з доступом до інтернету. Ці пристрої знаходяться в користуванні учнів протягом усього дня і їх можна використовувати не лише для розваг, але і для роботи на уроках та під час виконання домашніх завдань. У такій ситуації доцільним є використання вчителем функцій мобільних пристроїв для організації роботи на заняттях та включення мобільних пристроїв учнів до освітнього процесу. Таким чином, стає зрозумілим, що технологія BYOD є одним із найважливіших напрямків розвитку сучасних інформаційно-комунікаційних технологій в навчальному процесі. Концепція BYOD вперше з'явилась в корпоративній культурі зарубіжних організацій, але з часом була прийнята до використання в навчальному процесі. Слід відмітити, що вперше термін BYOD був запропонований Р. Белагасом ще в 2005 році [1].

Сучасні смартфони та планшети з певним наближенням можна вважати мобільними персональними комп'ютерами. Ці пристрої можна застосувати для спілкування, для обміну файлами та документами, для пошуку та зберігання інформації, для створення фото- та відеоматеріалів, для роботи з навчальними мобільними додатками тощо. Мобільні технології стають невід'ємними освітніми інструментами, вони відкривають широкі можливості для використання інформаційно-комунікаційних технологій в навчанні. У даний час сфера мобільних додатків для навчальних цілей активно розвивається, їх кількість зростає, а вже існуючі додатки постійно вдосконалюються. Впровадження в освітній процес BYOD, дає можливість по-новому презентувати навчальний процес з точки зору методики викладання, формуючи в учнів нові компетентності, які є необхідними для суспільної адаптації в цифрову епоху.

Згідно з даними роботи [2], при розробці навчальних занять за допомогою мобільних додатків з використанням технології BYOD слід звертати увагу на такі важливі фактори: потрібно мати на увазі, що певний додаток може бути доступний на одній операційній системі та недоступний на іншій; технічні характеристики мобільних пристроїв різняться, і великий обсяг даних може бути доступний не кожному; існує великий вибір додатків безкоштовних для інсталяції, однак можливості використання таких додатків можуть бути обмежені; на підставі оцінок користувачів кожен додаток має рейтинг і короткі відгуки, відповідно викладачу необхідно заздалегідь ознайомитися з думкою інших споживачів, а також вміти зробити власний висновок щодо користування додатком; завдання в додатку повинні бути зрозуміло сформульовані, не перевантажені зайвими символами та текстом, візуальне та звукове оформлення не повинно дратувати яскравими кольорами і різкими звуками.

### *Список літератури*

1. Bring your own device. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Bring\\_your\\_own\\_device](https://uk.wikipedia.org/wiki/Bring_your_own_device). (дата звернення: 26.04.2023)
2. Білявська Ю. Технологія BYOD, як інструмент Smart освіти. Smart-освіта: ресурси та перспективи : матеріали III Міжнар. наук.-метод. конф. Київ, 7 грудня 2018 р. К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2018. С.12-14.

УДК 502.55:621.039.7

## ГЕОГЕННИЙ РАДОНОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЯК ОДИН ІЗ КРИТЕРІЇВ РАДОНОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ТЕРИТОРІЙ

**Лебедь Олександр Олександрович,**

канд. тех. наук, доцент Національного університету водного господарства та природокористування, lebed739@ukr.net

**Мислінчук Володимир Олександрович,**

канд. пед. наук, доцент Рівненського державного гуманітарного університету,  
[mislya@ukr.net](mailto:mislya@ukr.net)

**Лебедь Сергій Олександрович,**

доктор філософії, старший викладач КЗВО «Рівненська медична академія»  
Рівненської обласної ради, s.lebed2016@gmail.com

Природні радіоактивні джерела опромінення населення за сучасними дослідженнями є основними в отриманні людиною ефективної дози. Проведені оцінки середньорічних доз опромінення населення від природних джерел у середньому по планеті становлять  $2,4 \text{ мЗв/рік}$  [1, 2]. Приблизно 76% даного опромінення відбувається за рахунок Радону та його ізотопів і дочірніх продуктів їх розпаду (ДПР). Дослідження показали, що ДПР Радону і Торону (ізоотоп Радону) є головними чинниками опромінення легенів інгаляційним шляхом переважно за рахунок альфа-частинок, які випромінюються кількома ДПР, хоча при цьому вони випускають також бета-частинки та гамма-випромінювання [3].

Радон в приміщення надходить з ґрунтів, де він утворюється при розпаді дочірніх продуктів Урану та Торію, які завжди присутні в земній корі, будівельних матеріалах та воді і це надходження доцільно характеризувати об'ємною активністю (ОА). Слід наголосити, що наслідком радіоактивності будівельних матеріалів може бути як зовнішнє, так і внутрішнє опромінення людей. Зовнішнє опромінення першочергово залежить від величини активності будівельного матеріалу (здійснюється за рахунок опромінення радіонуклідами радію-226, торію-232, калію-40, що містяться в даних матеріалах). Внутрішнє опромінення зумовлене потраплянням в організм людини через органи дихання радіоактивного газу радону-222 і продуктів його розпаду). За періодом прояву, варіації ОА радону в будівлях поділяють на: добові, сезонні та довгострокові.

Світові та європейські інституції протягом останніх десятиліть розробляють все новіші жорсткіші умови стосовно обмеження радіаційного забруднення територій проживання в Європі та світі. Зокрема в *Council Directive 2013/59/EURATOM* [4] формулюються конкретні вимоги до національних законодавств країн-членів ЄС щодо вирішення загальної проблеми впливу Радону на глобальний стан здоров'я населення Європи (зниження рівня радонебезпеки територій). Дана директива повинна була бути втілена до лютого 2018 року. Згідно неї, визначено базовий поріг середньорічної ОА Радону на рівні  $300 \text{ Бк/м}^3$  для житлових приміщень та робочих місць, і державам-членам пропонується розробляти «плани дій щодо Радону». Серед таких дій передбачається розробка методів та показників для вимірювання, моніторингу та оцінки концентрації Радону.

Загалом, вміст радону у ґрунті і у повітрі будівель визначається геологічною складовою території, гірськими породами, притаманними їй, вмістом в них природних радіонуклідів, наявністю тектонічних зрушень та іншими чинниками. Фактори, які в комплексі зумовлюють ступінь радонебезпеки територій та окремих будівель, можуть бути віднесені до однієї з трьох великих груп:

- геогенний радоновий потенціал;

- конструктивні особливості будівлі та характеристика будівельних матеріали;
- режим утримання приміщень.

Геогенний радоновий потенціал описує геологічний простір під будівлею як джерело Радону, дане поняття характеризує радоновий вихід з геологічного середовища та умови для перенесення Радону з ґрунту в атмосферу.

В роботі [5] пропонується емпірична формула оцінки радонового потенціалу майданчика,  $R_p$ , яка враховує  $OA$  радону в ґрунтовому повітрі та проникність ґрунту:

$$R_p = \frac{C_{soil}-1}{-\log_{10}(k)-10} \quad (1)$$

де  $C_{soil}$  –  $OA$  Радону в ґрунтовому повітрі ( $кБк/м^3$ ),  $k$  – проникність ґрунту ( $м^2$ ).

У США для Агентства з охорони навколишнього середовища розроблено матрицю радононебезпеки [6], яка використовується для визначення рангу радононебезпечності округів. У матриці враховуються п'ять факторів: геологічна будова підстилаючих поверхонь, дані аеро-гамма-зйомки та інших вимірювань, проникність та вологість ґрунту, результати вимірювань  $OA$  Радону у приміщеннях та тип будівлі. По кожному з факторів радононебезпечність оцінюється за трибальною шкалою, меншою до більшої, після чого розраховується індекс радононебезпечності як сума балів. Відповідно до критеріїв, прийнятих у США, до радононебезпечних округів віднесено території з індексом 12-17, тут очікувана середня  $OA$  радону перевищує  $148 Бк/м^3$ . До радонобезпечних віднесено території з індексом 3–8, на яких можна очікувати, що середня  $OA$  радону не перевищує  $74 Бк/м^3$ . Для інших округів встановлено помірний ступінь радононебезпеки.

У Великій Британії радононебезпечність оцінюється за ймовірністю перевищення нормативу  $OA$  Радону у житлах за результатами вимірювань [7]. Територія Великої Британії поділена на ділянки  $1 \times 1 км^2$ . Для кожної ділянки за геологічною картою масштабу  $1:50\,000$  визначено корінні породи та поверхневі відкладення і зібрано дані за результатами вимірювань  $OA$  Радону в приміщеннях. Для ділянок, на яких не проведено достатньої кількості вимірювань, ймовірність перевищення нормативу  $OA$  Радону в будинках оцінена значеннями  $OA$  Радону на сусідніх ділянках зі схожим геогенним радоновим потенціалом. Згідно з критерієм, прийнятим у Великій Британії, радононебезпечними вважаються території, на яких більш ніж 1% будинків за  $OA$  Радону перевищує  $200 Бк/м^3$ .

У Чеській Республіці та деяких інших країнах в якості характеристики радононебезпечності використовується радоновий індекс  $R_i$ , що визначається за результатами оцінки радонового потенціалу за формулою (2) [5]. Низький радоновий індекс присвоюється території, якщо  $R_i < 10$ , середній, якщо  $10 \leq R_i < 35$ , і високий, коли  $R_i > 35$ .

$$R_i = \frac{C-C_0}{\ln(P_0/P)}, \quad (2)$$

де  $C$  – концентрація радону в ґрунтовому газі ( $кБк/м^3$ ),  $P$  – коефіцієнт проникності ґрунту ( $м^2$ ),  $C_0$  і  $P_0$  – константи,  $1 \cdot кБк/м^3$  і  $1 \cdot 10^{-10} м^2$ , відповідно.

Даний метод застосовується також з метою оцінки радононебезпечності ділянок під будівництво. Якщо чисельне значення проникності ґрунту невідоме, використовується якісна експертна оцінка – висока, середня чи низька проникність. Після цього радоновий індекс оцінюється за певною таблицею. Наразі в Чеській Республіці складено карту радонового індексу на основі геологічної карти масштабу  $1:50\,000$ .

В Україні вимірювання  $OA$  Радону у ґрунті і розрахунки  $R_p$  і  $R_i$  не поширені, тому при оцінці потенційної радононебезпечності дані величини не враховуються. Проте, наші дослідження [8] показали, що концентрація радону в ґрунтовому газі і проникність ґрунту є двома найважливішими факторами, які впливають на потік Радону з ґрунту в повітря.

**Висновки.**

Проведені в роботі експериментальні вимірювання та обчислення дозволяють репрезентувати наступні отримані результати для 12 тест-полігонів м. Рівне (таблиця 1).

Таблиця 1.

Концентрація радону в ґрунтовому повітрі, коефіцієнт проникності ґрунту та  $Ri$  в 12 тест - полігонах м. Рівне

№ тест - полігону	ОА радону в ґрунтовому газі, кБк/м <sup>3</sup>	Проникність $\times 10^{-12} \text{ м}^2$	$Ri$
I	$10 \pm 2(8 - 12)$	$3,1 \pm 4,2 (0,2 - 10,7)$	2,6
II	$2 \pm 0$	$0,2 \pm 0,3 (0,01 - 1,52)$	0,2
III	$16,2 \pm 4(12 - 20)$	$22,5 \pm 13,4 (8,4 - 35,1)$	10,2
IV	$3 \pm 0$	$0,8 \pm 0,8 (0,02 - 1,61)$	0,4
V	$14,6 \pm 6(8 - 20)$	$6,8 \pm 8,3 (1,2 - 21,8)$	5,1
VI	$9 \pm 1(8 - 10)$	$9,3 \pm 4,3 (5,3 - 16,1)$	3,4
VII	$17,6 \pm 5(12 - 23)$	$19,6 \pm 15,1 (4,4 - 31,9)$	10,2
VIII	$7 \pm 1(6 - 8)$	$1,8 \pm 1,5 (0,2 - 3,8)$	1,5
IX	$2 \pm 0$	$0,2 \pm 0,2 (0,01 - 1,47)$	0,2
X	$6 \pm 1(5 - 7)$	$3,4 \pm 1,5 (2,2 - 5,7)$	1,5
XI	$13,1 \pm 4(9 - 17)$	$19,0 \pm 13,1 (5,2 - 32,8)$	7,3
XII	$8 \pm 2(6 - 10)$	$8,1 \pm 5,3 (4,2 - 14,3)$	2,8

Для кожного тест - полігону індекс  $Ri$  визначався за середньою концентрацією радону в ґрунті та середньою проникністю ґрунту, виміряною на цьому місці за рівнянням (2).

**Список літератури**

- 1 Sources and effects of ionizing radiation. // United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993 Report to the General Assembly, with scientific annexes. – United Nations: New York. – 1993.
2. Exposure from Natural Radiation Sources. Report: Annex B // United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York. – 2000.
3. Radionuclide transformations. Energy and Intensity of Emission: ICRP PUBLICATION 38. Oxford: Pergamon press, 1083. Volumes 11 – 13. - 1263 p.p.
4. Council of the European Union. (2014). Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. Brussels: O. J. EU. Available from: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/65527fd1-7f55-11e3-b889-01aa75ed71a1/language-en/> Accessed on 25.12. 2017.
5. Neznal M., The new method for assessing the radon risk of buiding sites./ Neznal M., Matolín M., Barnet I. [и др.] // Czech Geological Survey. – Prague, 2004. – Special Papers No. 16.
6. Gundersen L.C.S. Geology of radon in the United States / L.C.S. Gundersen, R.R. Schumann, J.K. Otton // Geological Society of America Special Papers. – 1992. Vol. 271. – P. 1–16.
7. Miles J.C.H. Mapping variation in radon potential both between and within geological units / J.D. Appleton, J.C.H. Miles // J. of Radiol. Prot. – 2005. Vol. 25. – P.257–276.
8. Лебедь О.О. Визначення індексу потенціалу ґрунтового радону як реперу екологічної радонової безпеки / О.О. Лебедь, В.О. Мислінчук, О. Д. Кочергіна. // Вісник НУВГП, серія «Технічні науки», Випуск 1 (85), Рівне, 2019 р. С. 226-236.



## **ВИКОРИСТАННЯ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ НА УРОКАХ ФІЗИКИ**

**Литвиненко С. С., Тімофєєв І. А., Новосад О. В.**

Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43025,

e-mail: Novosad.Oleksiy@vnu.edu.ua

В роботі досліджено використання SMART-технологій на уроках фізики як засобу підвищення якості освіти та впливу SMART-технологій на методику викладання фізики. Концепція SMART в освіті виникла відразу після проникнення у наше життя різноманітних «розумних» пристроїв, що полегшують процес професійної діяльності та побутове життя. Перенесення даної концепції в освіту перебуває на початковій стадії, терміни та основні поняття проходять процес формування, саме це обумовлює актуальність нашої роботи.

Мета дослідження полягала в пошуку та аналізі літературних та інтернет джерел, у яких розглядається можливість використання SMART-технологій на уроках фізики як засобу підвищення якості навчання [1-6]. А також, аналізі та вивченні можливостей сучасних електронно-інформаційних та програмних ресурсів, які можна використати під час вивчення фізики. Дослідженню впливу технологій BYOD, m-learning, e-learning та ін. на навчальний процес.

До основних результатів можна віднести те, що на сучасному етапі розвитку використання SMART-технологій на уроках фізики викликає в учнів зацікавленість до вивчення фізики. Технології BYOD, m-learning, e-learning, сайти з комп'ютерними симуляціями та android-додатки з фізики можна використовувати на уроках фізики з метою підвищення якості навчання. Використання SMART-технологій усучаснює заняття з фізики та робить їх цікавими. Віртуальні лабораторії та комп'ютерні симуляції можна використовувати не тільки уроках фізики, а й в позаурочний час та в умовах дистанційного навчання. Модель BYOD має практично стільки ж плюсів, скільки і мінусів. Але в загальному ця технологія перспективна, результат її застосування залежить від готовності учасників навчального процесу до її використання. Від вчителя вимагається високий рівень інформаційної культури, знання технічних характеристик мобільних пристроїв, програмного забезпечення та мережевих сервісів. Використання мобільних пристроїв на уроках фізики розвиває творче та критичне мислення, мотивує на самостійні дослідження, формує навички використання мобільних пристроїв та інформаційних технологій. У результаті можна стверджувати про покращення загальної успішності учнів внаслідок використання такого навчання. Датчики, вбудовані в сучасні мобільні пристрої, дозволяють проводити розрахунки та аналізувати дані, отримані в результаті реальних фізичних досліджень у межах лабораторних робіт з фізики. Більшість програмного забезпечення, яке для цього використовується, доступне для скачування всіма користувачами і, в основному, безкоштовне.

У результаті проведених нами досліджень можна зробити висновки, що використання SMART-технологій під час вивчення фізики може лише частково доповнити реальне класичне обладнання, прилади та матеріально-технічну базу та ні в якому випадку не може замінити їх повністю.

### *Список літератури*

1. Бабич А. Використання технології BYOD у процесі навчання в основній школі. *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology* Vol. 5. No 2. June 2017. pp. 1-4.
2. Гуревич Р. С., Коношевський Л. Л. Особливості професійної Smart-технології як засіб підвищення якості освіти. *Смарт-освіта: досвід, реалії, перспективи*. Монографія. Вінниця, 2019. 220 с.
3. Жук Ю.О., Соколюк О. М., Дементівська Н. П., Слободяник О. В., Соколов П. К. Використання Інтернет технологій для дослідження природних явищ у шкільному курсі фізики: Посібник. Ін-т інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України. К.: Атіка, 2014. 172 с.
4. Кадемія М. Ю., Коваль М. С. Відкрите Smart-середовище навчання в підготовці педагогічних працівників у закладах вищої освіти. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2018. №50. С. 279–282.
5. Шевченко Л. С., Уманець В. О., Медведєв Р. П. Особливості професійної підготовки майбутнього педагога у smart-університеті. *Смарт-освіта: досвід, реалії, перспективи*. Монографія. Вінниця, 2019. 220 с.
6. Santos I., Bocheco O. Exploring BYOD Usage in the Classroom and Policies. *International Journal Of Information And Communication Technology Education*. 2016. №4. С. 51-61.

## ТЕНЗОРЕЗИСТИВНІ ЕФЕКТИ В ОДНОВІСНО ДЕФОРМОВАНИХ МОНОКРИСТАЛАХ n-Ge

Луцьков С.В., Назарчук П.Ф., Хвищун М.В.

Луцький національний технічний університет,  
Вул. Львівська 75, м. Луцьк, 43018, [luniovser@ukr.net](mailto:luniovser@ukr.net)

При експериментальних дослідженнях напруженого стану конструкцій, а також в якості перетворювачів деформації в різних вимірювальних приладах широко використовуються тензорезистори. Напівпровідникові тензодатчики у порівнянні з дротяними і фольговими мають набагато менші розміри та у 50-60 разів більшу чутливість. Одним з перспективних матеріалів для напівпровідникових тензодатчиків є германій, який також широко використовується в мікроелектроніці для виготовлення діодів, тріодів, кристалічних детекторів і силових випрямлячів [1-4].

В даній роботі досліджувався тензорезистивний ефект в монокристалах германію n-типу провідності, легованих домішкою сурми. Одновісний тиск в досліді прикладався вздовж кристалографічних напрямків [100], [110] та [111]. Вимірювання проводились при кімнатній температурі та температурі рідкого азоту. Для дослідження тензорезистивного ефекту досліджувальні зразки виготовлялись гантелеподібної форми. Така специфічна форма досліджувальних зразків збільшує їх механічну стійкість в порівнянні із зразками паралелепіпедної форми. Для випадків одновісного тиску вздовж кристалографічних напрямків [110] та [111], тензорезистивний ефект буде вже відсутнім при  $P > 1,6$  ГПа, як при температурі рідкого азоту, так і кімнатній (рис. 1 та рис. 2). При одновісному тиску  $P > 1,5$  ГПа вздовж кристалографічного напрямку [100] при температурі рідкого азоту (рис. 1, крива 2) виявлено значний тензорезистивний ефект. При кімнатній температурі в даних умовах питомий опір монокристалів n-Ge монотонно починає зростати при одновісних тисках  $P > 1$  ГПа і не виходить на насичення (рис. 2, крива 2).

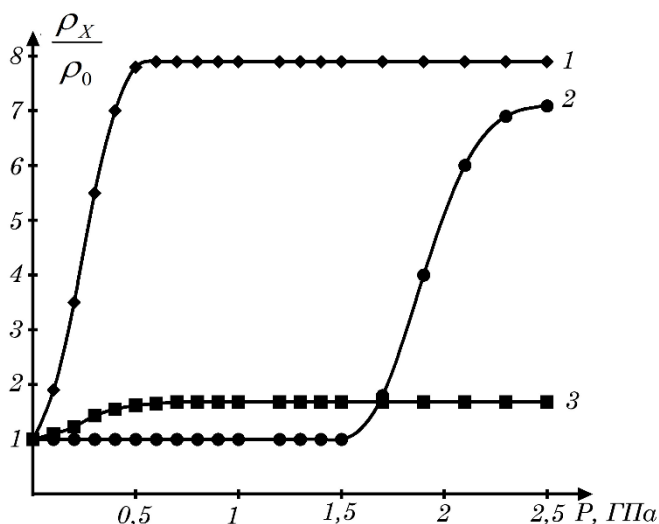


Рис. 1. Тензорезистивний ефект n-Ge при температурі рідкого азоту для різних кристалографічних напрямків:

- 1 – одновісний тиск вздовж кристалографічного напрямку [111];
- 2 – одновісний тиск вздовж кристалографічного напрямку [100];

3 – одинісний тиск вздовж кристалографічного напрямку [110].

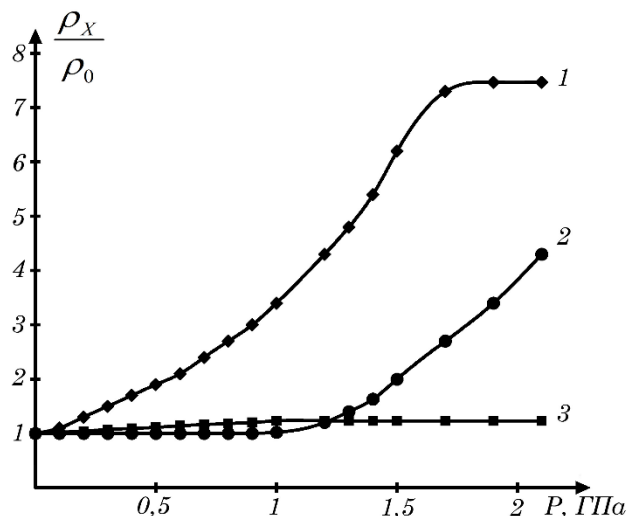


Рис. 2. Тензорезистивний ефект n-Ge при кімнатній температурі для різних кристалографічних напрямків:

1 – одинісний тиск вздовж кристалографічного напрямку [111];

2 – одинісний тиск вздовж кристалографічного напрямку [100];

3 – одинісний тиск вздовж кристалографічного напрямку [110].

Коефіцієнт тензочутливості в умовах одинісної деформації буде визначатись виразом [5]:

$$S = \frac{E_{Ю} \left( \frac{\rho_P}{\rho_0} - 1 \right)}{P}, \quad (1)$$

де  $\frac{\rho_P}{\rho_0}$  – відношення питомого опору деформованого монокристалу n-Ge до

недеформованого (величина тензорезистивного ефекту),  $E_{Ю}$  – модуль Юнга

На основі одержаних експериментальних результатів було обчислено коефіцієнти тензочутливості при одинісному тиску вздовж кристалографічних напрямків [100], [110] та [111]. Показано, що максимальне значення коефіцієнта тензочутливості ( $S=2325$ ) можна досягнути при одинісному деформуванні  $P \sim 0,4$  ГПа монокристалів n-Ge вздовж кристалографічного напрямку [111].

Наявність значного зростання тензорезистивного ефекту та коефіцієнта тензочутливості для n-Ge при одинісних тисках  $P > 1,6$  ГПа вздовж кристалографічного напрямку [100] дозволить використовувати монокристали германію n-типу провідності в якості матеріалів тензодатчиків для вимірювання значних одинісних тисків.

### Список літератури

1. Вплив тиску на параметри напівпровідникових структур / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Н.Л. Білоконь, А.О. Кривошея // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Автоматика та інформаційно – вимірювальна техніка. 2009. №1. с. 1-5.
2. Microengineering pressure sensor active layers for improved performance / S. R. A. Ruth, V. R. Feig, H. Tran, Z. Bao // Advanced Functional Materials. 2020. Vol. 30(39). P. 2003491.
3. Chen, W., & Yan, X. Progress in achieving high-performance piezoresistive and capacitive flexible pressure sensors: A review // Journal of Materials Science & Technology. 2020. Vol. 43. P. 175-188.
4. Fraden, J., & Fraden, J. Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications // New York: springer. 2010. 678 p.
5. Луньов С. В. Тензочутливість в  $\Delta_1$ -моделі зони провідності кристалів германію // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. 2013. Vol 10(3). с. 76-81.

## ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ ЛЕГОВАНИХ РІДКОЗЕМЕЛЬНИМИ МЕТАЛАМИ

Мельничук Тарас Олегович, Мирончук Галина Леонідівна  
Melnichuk.Taras@vnu.edu.ua

Волинський національний університет імені Лесі Українки

Систематичні наукові дослідження халькогенідів на предмет фізичних властивостей вказують на те, що доволі перспективними для оптоелектроніки є фази, які кристалізуються в асиметричних просторових групах. До таких фаз належить  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ . У кристалічній структурі  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  атоми Ag досить рухливі, що призводить до утворення дефектних позицій. Тому важливим є дослідження впливу домішок рідкісноземельних металів. У нашій роботі вивчався вплив легуючих домішок Nd, Dy, Er на оптичні властивості  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ .

Один з найважливіших параметрів напівпровідників, який визначає область застосування є ширина забороненої зони. Для оцінки ширини забороненої зони нами проведено дослідження спектрального розподілу коефіцієнта поглинання в області краю смуги власного поглинання. Для проведення вимірювань використовувались пластини товщиною 0,06-0,1 мм з плоскопаралельними поверхнями оптичної якості. Пластини були відполіровані в касторовому маслі, що містить надтонкі добавки абразиву для отримання високоякісних оптичних поверхонь.

З експериментальних результатів  $E_U$  визначена як  $E_U = \Delta(h\nu) / \Delta(\ln \alpha)$  становить 95, 91, 98 meV для  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8:\text{Nd}$ ;  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8:\text{Dy}$ ;  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8:\text{Er}$ ; відповідно. Встановлено, що ширина забороненої зони становить  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8:\text{Nd}$ ;  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8:\text{Dy}$ ;  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8:\text{Er}$  2,21 2,23 2,25 eV відповідно.

Особливістю структури досліджуваних кристалів є статистичний розподіл катіонів (Ag, Nd/Dy/Er) по вузлах кристалічної ґратки і наявність в сполуці  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  нестехіометричних вакансій атомів Ag ( $V_{\text{Ag}}$ ). Зменшення ширини забороненої зони досліджуваних сполук на нашу думку пов'язано з знаком різниць іонних радіусів компонент сполуки та заміщуючого іона ( $\text{Nd}^{+3}(0.099 \text{ nm}) \rightarrow \text{Ag}^+(0.113 \text{ nm})$ ;  $\text{Dy}^{+3}(0.088 \text{ nm}) \rightarrow \text{Ag}^+(0.113 \text{ nm})$ ;  $\text{Er}^{+3}(0.085 \text{ nm}) \rightarrow \text{Ag}^+(0.113 \text{ nm})$ ).

Додатковий внесок у зміну ширини забороненої зони можуть також вносити точкові дефекти вакансійного та міжвузлового типів. При введенні атомів із меншим іонним радіусом кристалічна ґратка стискається, що викликає зменшення параметрів решітки. Зміна параметрів решітки призводить до зміни ступеня перекриття електронних оболонок сусідніх атомів, і, як наслідок, до зміни ширини забороненої зони. Дане твердження добре узгоджується з експериментами по гідростатичному стиску кристалів, а саме, об'ємний гідростатичний тиск призводить до зменшення міжатомної відстані та збільшення  $E_g$ .

## АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ СТОХІД ЗА МАКРОФІТНИМ ІНДЕКСОМ MIR

Музиченко О.С., Боярин М.В., Цьось О.О.

Волинський національний університет імені Лесі Українки

[muzychenko.oksana@vnu.edu.ua](mailto:muzychenko.oksana@vnu.edu.ua), [boyaryn.maria@vnu.edu.ua](mailto:boyaryn.maria@vnu.edu.ua), [oksana.tsos@vnu.edu.ua](mailto:oksana.tsos@vnu.edu.ua)

Вищі водні рослини є одним з основних компонентів водних екосистем. Їх життєдіяльність надзвичайно тісно пов'язана з абіотичними факторами навколишнього середовища. Будь-яке відхилення показників хімічного складу поверхневих вод, їх термічного режиму, зміна кліматичних факторів матимуть відображення на стані гідробіонтів, в тому числі вищих водних рослин. Моніторинг та індикація якості навколишнього середовища з використанням живих організмів, зокрема, рослин за останні десятиліття, помітно вдосконалились та набули офіційного визнання. Зокрема, фітоіндикаційні дослідження включені до державної системи екологічного моніторингу поверхневих вод багатьох країн світу, передбачені в ратифікованій Україною Водній рамковій директиві ЄС.

Мета роботи: визначення видового складу водних та прибережно-водних вищих судинних рослин та оцінка екологічного стану поверхневих вод річки Стохід за Макрофітною методикою MMOR [1].

Дослідження вищих водних та прибережно-водних рослин річки Стохід проводилось протягом вегетаційного періоду 2020-21 рр. Згідно методики для дослідження були обрані 2 тестові ділянки. Перша – с. Линівка, фоновий створ, середня частина русла, друга – м. Любешів, контрольний створ, гирлова частина русла. Оцінка якості поверхневих вод фітоіндикаційною методикою MMOR базується на розрахунку Макрофітного індексу (MIR). Для цього необхідно визначити індикативні види вищих водних та прибережно-водних рослин досліджуваної річки та їх проєктивне покриття на репрезентативній ділянці водотоку.

Кожний індикативний вид оцінюється за двома індексами. Перший індекс –  $L$ , вказує на середній трофічний рівень середовища, може бути від 1 до 10. Другий індекс – ваговий коефіцієнт  $W$ , показник екологічної толерантності видів. Ваговий коефіцієнт  $W$  має значення від 1 для евритопних видів до 3 для стенотопних видів. Розрахунок Макрофітного індексу проводився за формулою:

$$MIR = \frac{\sum(L_i \times W_i \times P_i)}{\sum(W_i \times P_i)} \times 10,$$

де MIR – Макрофітний індекс річки;  $L_i$  – номер значення індексу для виявленого виду ( $i$ );  $W_i$  – ваговий коефіцієнт виду ( $i$ );  $P_i$  – коефіцієнт проєктивного покриття виду ( $i$ ) за 9-бальною шкалою.

Якісну оцінку екологічного стану (класу) поверхневих вод отримували за шкалою методики MMOR.

Стохід – права притока річки Прип'ять, довжиною 188 км та площею басейну – 3155 км<sup>2</sup>. Річка бере початок поблизу с. Семеринське Володимирського (до 2022 р. – Локачинського) району на південному краї Поліської низовини, протікає в межах Волинської області та на півдні с. Сваловичі Ратнівського (до 2022 р. – Любешівського) району, що розташоване у межах Поліської низовини, впадає у річку Прип'ять.

За результатами проведеного аналізу флористичного складу вищих водних і прибережно-водних рослин річки Стохід було описано 19 індикативних видів, які належать до 15 родин. Родина *Potamogetonaceae* представлена 3 видами, *Araceae*, *Hydrocharitaceae* – по 2 види, інші родини – по одному виду.

У біоморфологічному спектрі згідно класифікації І. Г. Серебрякова флора вищих водних і прибережно-водних рослин річки представлена виключно полікарпічними видами.

За системою Раункієра найбільша частка гемікриптофітів – 46,37%. Серед цієї групи частка трапляння найбільша для видів: *Mentha aquatica* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb. Інші біоморфи це – геофіти (10,53%), водні геофіти (31,58%), гідрофіти (21,05%). До геофітів відносяться *Iris pseudacorus* L., *Acorus calamus* L., водні геофіти представлені такими видами як *Nuphar lutea* (L.) Smith., *Sagittaria sagittifolia* L., *Stratiotes aloides* L. та ін., гідрофіти – *Ceratophyllum demersum* L., *Hydrocharis morsus-ranae* L., ряски.

Структура вищих водних та прибережно-водних рослин, згідно класифікації В.Г. Папченкова, включає п'ять екотипів: гідрофіти або справжні водні рослини, гелофіти або повітряно-водні рослини, гірогелофіти, гірофіти та гіромезо- і мезофіти [2].

До справжніх водних рослин річки належить 8 видів (42,11%), це – *Hydrocharis morsus-ranae* L., рдесники, ряски; гелофітів – 2 види або 10,53%, а саме: *Sagittaria sagittifolia* L. та *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb. Гірогелофіти та гірофіти зростають біля урізу води і їх частка у загальному видовому складі становить 8 видів – по 21,05% відповідно. Тут зростають *Lysimachia vulgaris* L., *Myosotis palustris* L., *Juncus tenageia* L., *Carex nigra* L.

В екологічній структурі гідроморф вищих водних та прибережно-водних рослин річки Стохід ядром виступають гідрофіти (52,63%). До гідрофітів належать *Ceratophyllum demersum* L., *Nuphaea alba* L., *Myriophyllum verticillatum* L., *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Stratiotes aloides* L., рдесники, ряски та ін. Інші групи також приурочені до умов високого рівня зволоження – гірофіти (21,05%) та мезогірофіти (26,32%). Представниками гірофітів, що потребують високого рівня зволоження субстрату є: *Iris pseudacorus* L., *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb., *Mentha aquatica* L. Прибережні рослини в більшості приурочені до умов середнього рівня зволоження субстрату і представлені як мезогірофіти: *Myosotis palustris* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Rorippa amphibia* (L.) Bess.

Розподіл вищих водних та прибережно-водних рослин за геліоморфами показав однакову кількість між геліофітами (47,37%) та геліосціофітами (47,37%). Типовим сціофітом є один вид – *Mentha aquatica* L.

Аналіз трофічних індексів індикативних видів рослин р. Стохід виявив, що найбільша кількість видів – 7 (36,84% від загальної кількості) має значення трофічного індексу ( $Li$ ) – 4, це рослини евтрофних та мезотрофних водойм. Серед них *Myosotis palustris* L., *Nuphar lutea* (L.) Smith., *Sagittaria sagittifolia* L. та інші. Три види (15,8%) мають значення трофічного індексу 2 та 2 види (10,53%) – трофічний індекс 3. Це рослини евтрофних водойм. Це такі види як *Rorippa amphibia* (L.) Bess., *Ceratophyllum demersum* L., *Lemna minor* L. До мезотрофних водойм приурочені види з трофічними індексами 5 і 6 (5,26% та 26,32% відповідно). Трофічний індекс 10 має *Juncus tenageia* L., який приурочений до зростання в умовах оліготрофних вод.

Оцінка індикативних рослин річки Стохід за показником толерантності засвідчила значну частку видів з широкою екологічною амплітудою та ваговим коефіцієнтом ( $W_i=1-2$ ) (84,21% від загальної кількості). До стенотопних ( $W_i=3$ ) відносяться *Acorus calamus* L., *Ceratophyllum demersum* L. та *Potamogeton crispus* L.

Макрофітний індекс річки МІР для води річки Стохід на ділянці с. Линівка (середня течія) становить 28,4, поблизу м. Любешів (нижня течія) – 29,3, що відповідає III класу якості води, категорії – задовільна та за трофічним статусом «евтрофна».

#### Список літератури

1. Ciecierska H, Dynowska M. Biologiczne metody oceny stanu srodowiska. Tom 2. Ekosystemy wodne. Podrecznik metodyczny. Olsztyn. 2013. 312 P.
2. Цьось О., Музиченко О., Боярин М. Екологічна оцінка поверхневих вод приток річки Прип'ять методами фітоіндикації: Монографія. Луцьк: Вежа-друк, 2022. 220 с.

## ЧАСОВА ПОВЕДІНКА ЛЛЯНИХ ОЛІЙ ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ПРЕСУВАННЯ

Мягкота С.В.<sup>1</sup>, Шевчук Р.С.<sup>1</sup>, Сукач О.М.<sup>1</sup>, Мединський В.Є.<sup>1</sup>,  
Фульмес М.М.<sup>2</sup>, Пушак А.С.<sup>3,4</sup>, Малий Т.С.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет природокористування

<sup>2</sup>Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

<sup>3</sup>Українська академія друкарства,

<sup>4</sup>Львівський торговельно-економічний університет

<sup>5</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка

Рослинні олії займають особливе місце в харчуванні людини, оскільки містять висококалорійні жири, фосфоліпіди, каротиноїди, природні антиоксиданти та інші фізіологічно активні речовини [1]. Кількісний та якісний склад рослинних олій є різний. Серед всіх рослинних олій особливе місце займає лляна олія. Окрім згаданої харчової цінності, вона характеризується лікувальними властивостями, які ґрунтуються на рекордно високому вмісті поліненасичених жирних кислот, а саме: ліноленової ( $\omega$ -3), лінолевої ( $\omega$ -6) та мононенасиченої олеїнової ( $\omega$ -9) [2, 3]. Ці кислоти визначають еластичні властивості клітинних мембран, що в свою чергу визначає функціональність та живучість клітини. Поліненасичені кислоти активно включаються в жировий обмін людського організму, балансують його. Новітні дослідження довели здатність лляної олії оберігати організм від онкологічних захворювань та очищати його від токсичних речовин і паразитів [4].

Лляна олія містить, як вказано вище, цілий ряд складових, котрі є люмінесцентно активними сполуками. Такими є  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - та  $\delta$ - токоферолі-котрі є різновидами вітаміна Е, поліненасичені жирні кислоти (ліноленова ( $\omega$ -3), лінолевої ( $\omega$ -6), арахідонова), мононенасичена олеїнова ( $\omega$ -9), вітаміни В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, Е, попередник вітаміну А- каротин, а також пігменти хлорофіл та феофетин [1-3]. Названі флуорофори можуть бути давачами інформації про можливі зміни хімічного складу олії, а значить і її якості у випадку дії на олію різних деструктивних факторів (тривалий час зберігання олії, фото- та термо-окислення) [5-12].

Однак поліненасичені жирні кислоти дуже нестійкі і легко руйнуються від впливу навколишнього повітря [5], окислюються під дією сонячного світла [6], високих температур [6-9] та за умови контакту з металами змінної валентності (заліза, міді) [10].

Метою нашого дослідження було встановлення наявності продуктів окислення складових лляної олії отриманої методом холодного пресування з використанням методів оптичної спектроскопії. Дослідження полягає у проведенні спектрально-люмінесцентного аналізу лляних олій, отриманих в лабораторних умовах методом холодного пресування (температура холодного пресування  $t \leq 46^\circ\text{C}$ ), з різною передісторією: протермінований час зберігання закритої посудини з олією (більше 3 років), опромінених сонячним світлом протягом 50 годин. Спектрально-люмінесцентні характеристики даних олій порівнювалися зі спектрально-люмінесцентними характеристиками свіжо отриманої олії.

На рисунку 1 представлені спектри фотолюмінесценції та спектри збудження люмінесценції лляних олій отриманих методом холодного пресування та різної передісторії. Всі спектри люмінесценції пронормовані до однакової інтенсивності свічення. Зауважимо, що інтенсивність люмінесценції зістареної олії є у декілька разів нижчою, ніж інтенсивність люмінесценції свіжо отриманої олії та олій, котрі піддавалися опроміненню сонячним світлом протягом 50 годин. В усіх випадках у спектрах фотолюмінесценції реєструється дублетна смуга з  $\lambda_{\text{max}1} = 325$  і  $\lambda_{\text{max}2} = 335$  нм та довгохвильовий континуум в спектральній

області 375÷525 нм. Спектральне положення дублетної смуги з  $\lambda_{\max 1} = 325$  і  $\lambda_{\max 2} = 335$  нм є ідентичним для всіх зразків лляної олії різної передісторії (криві 1-4), однак взаємointенсивність короткохвильової компоненти з  $\lambda_{\max 1} = 325$  нм у випадку зістареної олії (крива 2) є суттєво меншою. Ідентичними для згаданої дублетної смуги люмінесценції всіх зразків олії (окрім зістареної) є їх відповідні спектри збудження (криві 1', 3', 4'). Для даних зразків олій спектр збудження згаданої дублетної смуги люмінесценції з  $\lambda_{\max 1} = 325$  і  $\lambda_{\max 2} = 335$  нм представляє собою дублетну смугу з  $\lambda_{\text{збудж.1}} = 285$  і  $\lambda_{\text{збудж.2}} = 300$  нм з короткохвильовим супутником в області 265 нм.

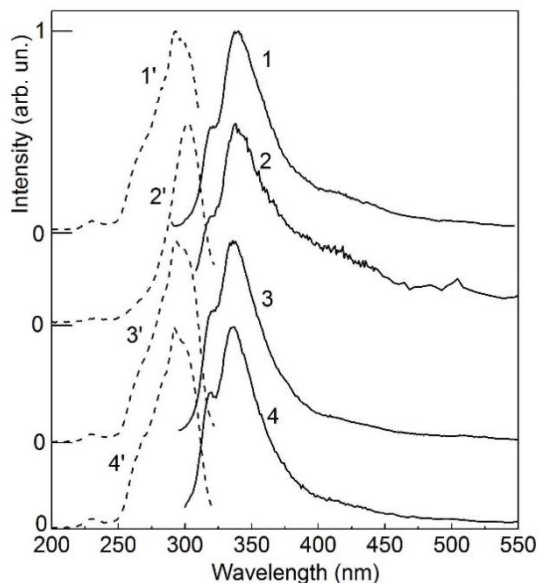


Рис. 1. Рис. 1. Спектри фотолюмінесценції лляних олій отриманих методом холодного пресування та різної передісторії у випадку збудження світлом з  $\lambda_{\text{збудж}} = 280$  нм (криві 1-4) та спектри збудження смуги фотолюмінесценції з  $\lambda_{\max} = 335$  нм вказаних олій (криві 1'- 4'):

- 1, 1' – свіжо витиснута олія;
- 2, 2' - олія, зістарена окисленням за умови доступу повітря у нещільно закриту тару;
- 3, 3' - олія, зістарена окисленням, під дією сонячного опромінення протягом 50 годин;
- 4, 4' - олія, окислена пресуванням за температур ( $60^{\circ}\text{C} > t > 46^{\circ}\text{C}$ ).

Одержані спектрально-люмінесцентні характеристики лляної олії добре співпадають зі спектрально-люмінесцентними характеристиками сполук фенолу та  $\alpha$ -токоферолу. А саме, короткохвильові компоненти у спектрах збудження ультрафіолетової люмінесценції належать сполукам фенолу, а відповідні довгохвильові компоненти-токоферолам, зокрема,  $\alpha$ -токоферолу [5, 9, 13-15]. Виходячи з ідентичності спектрально-люмінесцентних характеристик лляних олій різної передісторії (окрім зістареної часом), можна стверджувати, що вищезгадані деструктивні фактори (опромінення сонячним світлом протягом 50 годин або приготування олій за температур  $60^{\circ}\text{C} > t > 46^{\circ}\text{C}$  не привели до видимих змін в характері взаємодії флуорофорів зі світловими квантами, а відтак і в хімічному складі олій.

За результатами спектрально-люмінесцентних досліджень лляних олій отриманих методом холодного пресування та різної передісторії можна зробити висновок, що:

1. Тривалий термін зберігання олії ( $> 3$  років) приводить до окислення та розпаду фенолів, токоферолів, поліненасичених жирних кислот (лінолевої, ліноленової, арахідонової), вітамінів (В<sub>2</sub>, Е, каротину), що супроводжується появою у спектрах люмінесценції смуг з максимумами  $\lambda_{\max} = 350, 370, 390, 425, 440, 470, 515$  нм та зміною



структури спектрів збудження люмінесценції флуорофорів: фенолів, токоферолів; поліненасичених жирних кислот (лінолевої, ліноленової, арахідонової) і вітамінів (В<sub>2</sub>, Е, каротину);

2. Опромінення лляної олії сонячним світлом протягом 50 годин та перебування за температури ( $60^{\circ}\text{C} > t > 46^{\circ}\text{C}$ ) в процесі витискання олії не приводить до видимих змін у структурах їхніх спектрів люмінесценції та спектрів збудження люмінесценції.

3. Люмінесцентний метод може бути використаний для ідентифікації процесів окислення олії в результаті дії різних деструктивних факторів (тривале зберігання, опромінення сонячним світлом, зберігання за високої температури) та контролю якості олії в цілому.

### **Список літератури**

1. A. Cert, W. Moreda, and M. C. Perez-Camino (2000). Chromatographic analysis of minor constituents in vegetable oils. // *J. Chromatogr.* 881, 131–148.
2. Щукин С. А. Льняное масло-природный эликсир здоровья. // *Масла и жиры*. 2003. № 10(32), с.6-7.
3. Дрозд І.Ф. Жирнокислотний склад насіння льону олійного в умовах західного регіону України. // *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2011, - № 40, -с.72-76.
4. Stark, A.H.; Madar, Z. Olive oil as a functional food: Epidemiology and nutritional approaches . *Nutritional Reviews* 2002,60, 170-176..
5. Sikorska E., Khmelinskii I. V., Sikorski M. et al. Fluorescence Spectroscopy in Monitoring of Extra Virgin Olive Oil During Storage. // *International Journal of Food Science and Technology*. 2008, Vol.43, №1-2, pp.52-61, ISSN 1365-2621.
6. Poulli K.I., Mousdis G.A. and Gergiou C.A. Monitoring Olive Oil Oxidation Under Thermal and UV Stress Through Synchronous Fluorescence Spectroscopy and Classical Assays. // *Food Chemistry*. 2009, v.117, №3, pp.499-503, ISSN 0308-8146.
7. Mohammad E. Khosroshahi. Effect of Temperature on Optical Properties of Vegetable Oils. // *Optics and Photonics Journal*. 2018, Vol. 8, pp. 247-263. Doi: 10. 4236/opj. 2018.87021 Jul 23, 2018.
8. Yvon Gilbert Mbesse Kongbonga, Hassen Ghalila, Marthe Boyomo Onana et al. Characterization of Vegetable Oils by Fluorescence Spectroscopy. // *Food and Nutrition Sciences*. 2011, vol. 2, pp.692-699. doi: 10.4236/fns.2011.27095 Published Online September 2011.
9. Tena N., Garcia-Gonzalez D.L., Aparicio K. Evaluation of Virgin Olive Oil Thermal Deterioration by Fluorescence Spectroscopy. // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009, v.57, №22, pp.10505-10511, ISSN 1520-5118.
10. Mei L., McClements D.J., Wu J., Decker E.A. Iron-catalyzed lipid oxidation in emulsions as affected by surfactant, pH, and NaCl. // *Food Chemistry*. 1998, v.61, pp.307-312, ISSN 0308-8146.
11. Kyriakidis N.B., Skarcalis P. Fluorescence Spectra Measurement of Olive Oil and Other Vegetable Oils. // *Journal of AOAC International*. 2000, v.83, №24, pp.1435-1439, ISSN 1944-7922.
12. Karoui R., Blecker Ch. Fluorescence Spectra Measurement for Qualite Assessment of Food Systems – A. Review. // *Food and Bioprocess Technology*. 2011, v.4, №3, pp. 364-386, ISSN 1935-5149.

## ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНА ДОБРОТНІСТЬ МОНОКРИСТАЛІВ CuIn<sub>5</sub>S<sub>8</sub>-CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub>

Новосад О. В.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43025,  
e-mail: Novosad.Oleksiy@vnu.edu.ua

Тверді розчини CuIn<sub>5</sub>S<sub>8</sub>-CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> відповідали компонентному складу 0, 20, 40, 60, 80 і 100 мол.% CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub>. Методика вирощування твердих розчинів CuIn<sub>5</sub>S<sub>8</sub>-CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, синтез матеріалів та деякі їх кристалографічні параметри представлені в роботі [1]. Результати досліджень деяких електричних та термоелектричних властивостей монокристалів CuIn<sub>5</sub>S<sub>8</sub>-CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> представлені в нашій роботі [2].

Для досліджень твердих розчинів CuIn<sub>5</sub>S<sub>8</sub>-CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> виготовляли зразки у формі правильних паралелепіпедів зі злитків, отриманих після вирощування. Обробку поверхонь зразків у формі паралелепіпедів здійснювали шляхом полірування та шліфування алмазними пастами різної зернистості. Розміри отриманих зразків становили (8–5)×(2–1)×(2–1) мм<sup>3</sup>. Із кожного злитка одного складу для досліджень виготовлялось по 3–5 зразків. Для визначення коефіцієнта теплопровідності використовувалась установка та методика вимірювань, аналогічні, як в роботі [2].

Результати експериментальних досліджень представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Термоелектричні параметри твердих розчинів CuIn<sub>5</sub>S<sub>8</sub>-CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub>

мол. % CdIn <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	* $\alpha^2\sigma$ , 10 <sup>-4</sup> Вт/м·К <sup>2</sup>	$\chi_e$ , Вт/К·м	$\chi_{tot}$ , Вт/К·м	ZT
0	0,63	0,017	0,93	0,02
20	0,69	0,019	0,88	0,024
40	0,95	0,050	1,36	0,021
60	1,44	0,070	1,22	0,035
80	1,41	0,042	1,12	0,038
100	1,27	0,125	0,82	0,046

\* - дані взяті з роботи 3.

Відомо [4, 5], що термоелектрична добротність матеріалу визначається формулою:

$$ZT = \frac{\alpha^2 \cdot \sigma}{\chi_{tot}} T, \quad (1)$$

де  $ZT$  – термоелектрична добротність,  $\alpha$  – коефіцієнт Зеебека,  $\sigma$  – питома електропровідність,  $T$  – абсолютна температура,  $\chi_{tot}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

Коефіцієнт теплопровідності напівпровідникового матеріалу, в найбільш загальному випадку, складається з фононної теплопровідності ( $\chi_{ph}$ ) та електронної теплопровідності ( $\chi_e$ ) [4, 5]:

$$\chi_{tot} = \chi_{ph} + \chi_e. \quad (2)$$

Для оцінки числового значення  $\chi_e$  використовували закон Відемана-Франца:

$$\chi_e = L\sigma T, \quad (3)$$

де  $L$  – число Лоренца,  $\sigma$  – питома електропровідність,  $T$  – абсолютна температура.

Згідно з [4, 5], для вироджених напівпровідників число Лоренца можна розрахувати, використовуючи формулу

$$L = \frac{\pi^2}{3} \left( \frac{k}{e} \right)^2 \quad (4)$$

де  $k$  – стала Больцмана,  $e$  – елементарний заряд.

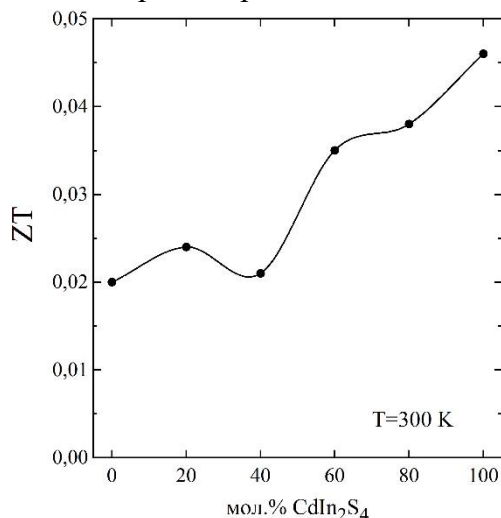


Рис.1. Залежність термоелектричної добротності монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  від вмісту  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$

Особливістю залежності  $\chi_e$ , значення якого розраховувалось за формулами (3) та (4), від складу монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  є різке зменшення  $\chi_e$  для монокристалів з 80 мол. %  $\text{CdIn}_2\text{S}_4$ .

З наведених в табл. 1 даних слідує, що для монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$   $\chi_e/\chi_{\text{tot}} \approx 10^{-1} - 10^{-2}$ , тобто з певним наближенням можна стверджувати, що  $\chi_{\text{tot}} \approx \chi_{\text{ph}}$ , тобто основний внесок у теплопровідність даватиме фононна складова.

На основі відомих значень термоелектричної потужності  $\alpha^2 \cdot \sigma$  (табл.1) та вимірних значень  $\chi_{\text{tot}}$  за формулою (1) розраховано значення  $ZT$  монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ . Графічно залежність  $ZT$  від складу монокристалів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  показано на рис. 1. З представлених даних видно, що збільшення вмісту другої компоненти в монокристалах  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$  призводить до зростання  $ZT$ .

#### *Список літератури*

1. Kozor V.R., Parasyuk O.V. Phase equilibria in the quasi-ternary system  $\text{Cu}_2\text{S-In}_2\text{S}_3\text{-CdS}$ . *Chem. Met. Alloys*. 2009. №2, P. 102-107.
2. Новосад О., Шигорін П., Венгрин Б., Божко В., Шигорін О. Електричні та термоелектричні властивості твердих розчинів  $\text{CuIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ . *Фізика та освітні технології*. 2022. №. 1, С. 56–61.
3. Новосад О., Пішова П., Божко В., Шпак В. Термоелектрична добротність монокристалів  $(\text{AgSb})_{1-x}\text{Pb}_x\text{Se}_2$ . *Фізика та освітні технології*. 2021. №. 1, С. 39–45.
4. Rowe D. M., *Handbook of thermoelectrics*. New. York, CRC Press, 1995. 703 p.
5. Enrique Macia. *Thermoelectric Materials: Advances and Applications*. CRC Press, 2015. 364 p.

## **ХІМІКАТИ В ПЛАСТМАСАХ: ГЛОБАЛЬНІ ДІЇ ПО БОРОТБІ З ПЛАСТИКОВИМ ЗАБРУДНЕННЯМ**

**Павловський Денис Олександрович**

*Здобувач 3-го освітнього рівня «доктор філософії PhD» кафедри органічної хімії та технології органічних речовин Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», [dpavlovskiy88@gmail.com](mailto:dpavlovskiy88@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9043-965X>*

**Левандовський Ігор Анатолійович**

*к.х.н., доцент кафедри органічної хімії та технології органічних речовин Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», [lia198@bigmir.net](mailto:lia198@bigmir.net)*

**Левандовський Святослав Ігоревич**

*студент кафедри органічної хімії та технології органічних речовин Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Забруднення пластмасами стало однією із глобальних екологічних загроз для людини та всієї планети. Ми не можемо уникнути його використання, так само як і не можемо уникнути його впливу. Вироби із пластмаси настільки глибоко вкорінились у наше повсякдення життя (харчова система, дитячі іграшки, будівельні матеріали, електронне та електричне обладнання інші), що ми не в силі контролювати їх потрапляння до організму людини та у навколишнє середовище.

Загалом у світі 46% пластикових відходів відправляється на сміттєзвалища, а 22% взагалі не охоплені системою поводження із відходами та перетворюються з часом у сміття. На відмінну від інших матеріалів, пластик не розкладається і на його руйнування, за різними експертними оцінками, може знадобитись до 1000 років [1].

Ситуація у сфері поводження з відходами пластмаси в Україні, зокрема у сфері забезпечення збирання, переробки та утилізації відходів, а також введення їх в господарський обіг також була і залишається незадовільною! Для прикладу, у 2021 році було перероблено та утилізовано близько 6,1% відходів упаковки, з них: 2% спалено, 4,1% відходів упаковки опинилися в пунктах збору вторинної сировини та на сміттєпереробних лініях, не зважаючи на той факт, що після початку пандемії, кількість споживчої упаковки, згідно даних ВООЗ, збільшилась на 30% [2]. Крім цього, щорічно фіксується утворення близько 27 тис. стихійних сміттєзвалищ, що займають площу 0,6 тис. га території [2], основу яких складають відходи пластмаси.

Щоб краще зрозуміти, що таке пластикове забруднення, потрібно зрозуміти, що таке пластмаси. Пластмаси не існують без хімікатів, які входять до їх складу та виділяються на кожному етапі їх життєвого циклу – від видобутку нафти і до виробництва, транспортування, використання та їх утилізації, особливо коли відходи пластмаси не утилізуються належним чином, а складаються під відкритим небом на незахищених ділянках ґрунту поблизу водних об'єктів. Деякі токсичні хімічні речовини є стійкими органічними забрудниками (СОЗ), які заборонені у всьому світі Стокгольмською конвенцією про стійкі органічні забруднювачі [3], проте все ще присутні в навколишньому середовищі та пластикових відходах, через їх довговічність.

Згідно останніх досліджень, було ідентифіковано понад 13000 хімічних речовин, котрі використовуються у виробництві пластмас. Десять груп хімічних речовин класифіковані такими, що викликають серйозне занепокоєння через їх високий ступінь токсичності та здатність мігрувати або виділятися із пластмас, в т.ч. спеціальні антипірени, деякі УФ-стабілізатори, пер- та поліфторалкільні сполуки (PFASs), фталати, бісфеноли, алкілфеноли та алкілфенолетоксилати, біоциди, метали та металоїди, поліциклічні ароматичні вуглеводні та багато інших ненавмисно доданих речовин.

Хімічні речовини в пластмасі, котрі викликають занепокоєння, можуть мати значний негативний вплив на наше здоров'я та довкілля. Численні наукові дані про потенційний

негативний вплив близько 7000 речовин, пов'язаних із пластмасами, демонструють, що понад 3200 із них мають одну або декілька небезпечних властивостей, котрі викликають занепокоєння. Вразливі групи населення, в т.ч. жінки та діти, особливо чутливі до впливу цих хімікатів, оскільки можуть мати довготривалі несприятливі наслідки як протягом життя жінки, так і для майбутніх поколінь. Чоловіків це також не оминуло, оскільки комбінований вплив хімікатів із пластику призводить до негативного впливу на чоловічу фертильність [4].

Закон України «Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України» [5] став першим кроком на шляху створення в Україні сучасної сфери забезпечення і управління відходами пластмаси, зменшення обсягу використання пластикових пакетів, обмеження їх розповсюдження з метою поліпшення стану навколишнього середовища і здоров'я людей за рахунок імплементації сучасних інструментів і виконання міжнародних зобов'язань країни у цій сфері. Наступним кроком став Закон України «Про управління відходами» [6], який запроваджує сучасні підходи у сфері управління відходами.

2 березня 2022 року, Асамблея Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища (ЮНЕА) прийняла Резолюцію про припинення забруднення пластмасами [7]. Дана Резолюція передбачає створення глобальної угоди, яка матиме юридичну силу для країн-членів ООН та закликає до координації з Базельською, Роттердамською, Стокгольмською конвенціями та Стратегічним підходом до міжнародного регулювання хімічними речовинами. Договір повинен враховувати вплив небезпечних хімічних речовин та токсичних викидів на здоров'я та навколишнє середовище протягом всього життєвого циклу пластмас.

В Резолюції також зазначається, що пластикове забруднення включає в себе й мікропластик. Це свідчить про те, що глобальна проблема пластикового забруднення набагато ширша, ніж його безпосередній фізичний вплив, спричинений пластиком сміттям. Проблема мікропластику прийдеться також вирішувати, включаючи хімічні дослідження. Крім того, в Резолюції 2/11 ЮНЕА вже зазначалось про необхідність додаткових досліджень морського пластикового сміття та мікропластику, в т.ч. супутніх хімічних речовин [8].

Не дивлячись на той факт, що проблеми з якими ми зіштовхуємось є величезними, проте вони не є непереборними. Досліджуючи повний життєвий цикл пластмас та пов'язаних з ними хімічних речовин, ми можемо вносити зміни в технологію їх виробництва, тим самим роблячи їх більш безпечними для людини та екологічно дружніми для природи. Вирішення проблеми закінчення терміну експлуатації пластмас важливо, але, що важливіше, ми повинні вирішити проблему «запобігання» впливу токсичних хімічних речовин на людину під час виробництва та використання пластмас.

1. Everything you need to know about plastic pollution. UN Environment programme. April 25, 2023. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/everything-you-need-know-about-plastic-pollution> (last accessed: 05.05.2023). Heading from the screen.

2. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2021 рік. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-divalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukravini-za-2021-rik/> (дата звернення: 05.05.2023). Назва з екрана.

3. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі від 18.04.2007 р. за № 995\_a07. *Офіційний вісник України*. 2007. № 90 (07.12.2007). Ст. 3324.

4. Chemicals in Plastics – A Technical Report. UN Environment programme. May 03, 2023. URL: <https://www.unep.org/resources/report/chemicals-plastics-technical-report> (last accessed: 05.05.2023). Heading from the screen.

5. Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України: Закон України від 01.06.2021 за № 1489-IX. *Офіційний вісник України*. 2021. № 46 (18.06.2021). Ст. 2811.

6. Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 за № 2320-IX. *Офіційний вісник України*. 2022. № 56 (22.07.2022). Ст. 3270.

7. Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022. URL: <https://wedocs.unep.org/xmlui/bitstream/handle/20.500.11822/39764/END%20PLASTIC%20POLLUTION%20-%20TOWARDS%20AN%20INTERNATIONAL%20LEGALLY%20BINDING%20INSTRUMENT%20-%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (last accessed: 05.05.2023). Heading from the screen.

8. Resolution 2/11. Marine plastic litter and microplastics. URL: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11822/K1607228\\_UNEPEA2\\_RES11E.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11822/K1607228_UNEPEA2_RES11E.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (last accessed: 05.05.2023). Heading from the screen.

## АНИЗОТРОПІЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ $\text{AgAlS}_2$ У ТРИГОНАЛЬНІЙ ФАЗІ

М.Я. Рудиш<sup>1,2</sup>, А.О. Федорчук<sup>3</sup>, М. Пясецький<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, вул. Кирила і Мефодія 8, 79000, Україна [rudysh.myron@gmail.com](mailto:rudysh.myron@gmail.com)

<sup>2</sup>Гуманітарно-природничий університет імені Яна Длугоша в Ченстохові, Ченстохова, ал. Армії Крайової 13/15, 42-200, Польща

<sup>3</sup>Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, Львів, вул. Пекарська 50, 79010, Україна

Потрійні напівпровідникові матеріали володіють різноманітністю структури та фізичних властивостей. Вони володіють шириною забороненої зони, що є оптимальною для використання в різних пристроях електроніки. Цим зумовлена їх привабливість як об'єкта дослідження для науковців. Кристали, що належать до групи I-III-VI<sub>2</sub> (I = Cu, Ag, III = Al, Ga, In, VI = S, Se, and Te) за нормальних умов мають структуру халькопіриту. Кристал  $\text{AgAlS}_2$  є типовим представником цієї групи. За високих тисків кристал переходить в тригональну симетрію  $P3m1$  (просторова група № 156) з параметрами ґратки  $a = 3.5 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,5 \text{ \AA}$ ,  $c = 6.84 \text{ \AA}$ ,  $V = 72.564 \text{ \AA}^3$  [1].

У роботі проведено дослідження структури та властивостей кристала  $\text{AgAlS}_2$  у фазі за високого тиску. Проведено аналіз кристалічної структури з точки зору другого координаційного оточення та з'ясовано особливості її трансформації при фазовому переході. Розраховано зонно-енергетичну структуру і з'ясовано походження електронних рівнів. Показано, що кристал при фазовому переході стає непрямозонним. Отримано значення ефективної маси та показано її просторову анізотропію. Виявлено, що розраховані оптичні функції є подібними до кристала в структурі халькопіриту та показано їх відмінності.

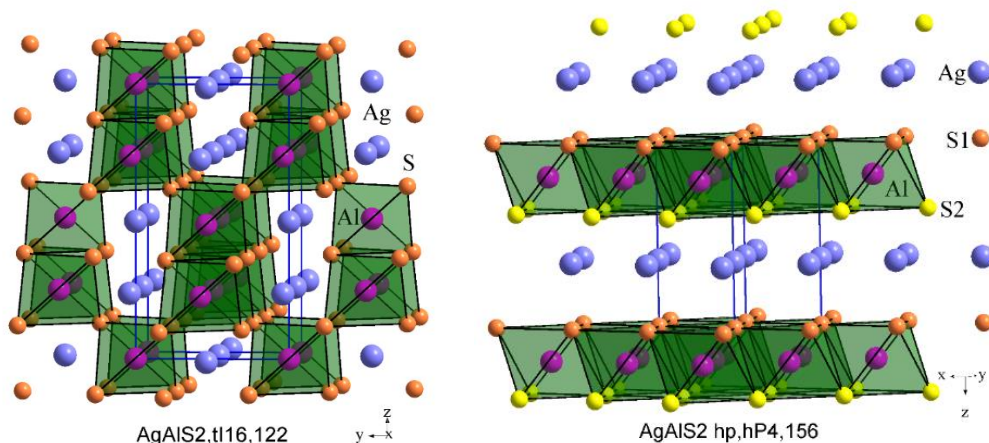


Рис. 1. Укладання поліедрів з атомів сірки навколо атомів алюмінію у структурі сполук  $\text{AgAlS}_2, tI16, 122$  та  $\text{AgAlS}_2 \text{ hp, hP4, 156}$ .

Проведено розрахунок фононного спектру досліджуваного кристала та показано його трансформацію при фазовому переході. Отримано частоти коливного спектру та проведено симетрійну класифікацію коливних мод. Розраховано інфрачервоні спектри та спектри комбінаційного розсіювання світла.

### Список літератури

1. K.J. Range, A. Weiss, G. Engert, Zeitschrift fuer Naturforschung, Teil B. Anorganische Chemie. 9 (1974).

## ПЕРШОПРИНЦИПНІ РОЗРАХУНКИ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КРИСТАЛА $K_2SO_4$ З ДОМІШКОЮ Mn

М.Я. Рудиш<sup>1,2</sup>, П.А. Щепанський<sup>1</sup>, Р.С. Брезвін<sup>1</sup>, В.Й. Стадник<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, вул. Кирила і Мефодія 8

<sup>2</sup>Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Воли 13,  
rudysh.myron@gmail.com

Неорганічні кристали займають важливе місце серед інших матеріалів, що зумовлено низкою характеристик які роблять їх цікавими об'єктами дослідження. Кристали групи  $A_2BX_4$ , де  $A = Li, K, Rb, Cs, NH_4$   $BX_4 = SO_4, BeF_4, ZnCl_4$ , досліджуються досить давно. Відомо, що низка матеріалів цієї групи володіє фазовими переходами в несумірну, сегнетоелектричну та сегнетоеластичну фази. Одним з класичних представників групи  $A_2BX_4$  є кристали сульфату калію ( $K_2SO_4$ ). Структура та властивості цього матеріалу добре вивчені, тому його часто використовують в якості модельного кристалу.

До ефективних методів модифікації властивостей матеріалів належить впровадження у їхню структуру домішок різних типів [1]. Раніше нами проводились дослідження оптико-електронних властивостей кристалів сульфату калію з домішкою  $NH_4$  та  $Cu$  [2,3]. У роботі проведено теоретичне вивчення структурних особливостей та фізичних властивостей кристалу сульфату калію з домішкою іонів марганцю. Дослідження здійснювалось в рамках теорії функціоналу густини та формалізму Кона-Шема. Для розрахунку використовувався базис у вигляді плоских хвиль з максимальною кінетичною енергією рівною 400eV. Електронна конфігурація валентних електронів взятою для розрахунків була такою:  $K 3s^2 3p^6 4s^1$ ;  $S 3s^2 3p^4$ ;  $O 2s^2 2p^4$ ;  $Mn 3d^5 4s^2$ . Електрон-іонна взаємодія описувалась ультрам'яким псевдопотенціалом Вандербільта. Обмінно-кореляційна взаємодія електронів була врахована у вигляді узагальненого градієнтного наближення (GGA) з параметризацією Пердю-Бурке-Ернзергофа (PBE). Інтегрування проводилось по першій зоні Бріллюена по  $k$ -сітці вибраній за схемою Монхорста-Пака. Вхідними даними для розрахунку були результати  $X$ -променевого дослідження кристалічної структури синтезованих нами зразків. Перед розрахунками властивостей проводилась геометрична оптимізація комірки. Впровадження домішки Mn моделювалось методом суперкомірки.

Отримано зонно-енергетичну структуру  $E(k)$  кристалу сульфату калію з домішкою марганцю. Показано, що введення домішки марганцю приводить до появи в забороненій зоні додаткових рівнів поблизу позначки 0 eV та 2,6 eV. Ці рівні знаходяться на відстані приблизно 1 eV та 3,8 eV вище вершини валентної зони. Розрахована ширина забороненої зони досліджуваного кристала отримана з використанням GGA – PBE методу становить  $E_g = 5.92$  eV. Отримано повну та парціальну густини електронних станів. З'ясовано походження електронних рівнів та особливості хімічного зв'язку в кристалі. Розраховано та проаналізовано вплив домішки на оптичні спектри кристала порівняно з чистим кристалом.

Робота виконана в рамках проекту 2020.02/0211 «Експериментально-теоретичне вивчення і прогнозування фотопружних властивостей кристалічних матеріалів для пристроїв керування електромагнітним випромінюванням» за грантової підтримки Національного фонду досліджень України.

### Список літератури

1. J.-A. Chen, M. Piasecki, C.-C. Yang, M. Rudysh, and W.-R. Liu, Journal of Luminescence. 2021, 235, 117982.
2. P. Shchepanskyi, V. Stadnyk, R. Brezvin, M. Rudysh, Visnyk of the Lviv University. Series Physics. 2016, 52, 108-115.
- 3 R.B. Matviiv, M.Ya. Rudysh, V.Yo. Stadnyk, A.O. Fedorchuk, P.A. Shchepanskyi, R.S. Brezvin, O.Y. Khyzhun, Current Applied Physics. 2021, 21, 80-88.

## ВПЛИВ ВАКАНСІЙ Zn НА ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРОННОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ ZnMnS

Сиротюк С.В., Малик О.П.

Національний університет "Львівська політехніка"

[stepan.v.syrotiuk@lpnu.ua](mailto:stepan.v.syrotiuk@lpnu.ua)

[orest.p.malyk@lpnu.ua](mailto:orest.p.malyk@lpnu.ua)

Леговані перехідними металами халькогенідні лазерні матеріали II-VI виявляють унікальне поєднання фізичних, спектроскопічних та технологічних параметрів, що робить їх вигідним носієм щодо вибору для економічно вигідної, широко регульованої генерації в середньому інфрачервоному діапазоні енергії фотонів. У праці [1] структурні, електричні та середньо-інфрачервоні оптичні властивості нанодротів ZnSe з різним розподілом домішок Cr досліджувались за допомогою розрахунку з перших принципів на основі теорії функціонала щільності (DFT). Дане дослідження присвячене вивченню впливу вакансій Zn на значення параметрів електронної структури матеріалу ZnS:Mn.

Розрахунки виконані за допомогою комплексу програм Abinit [2]. Надкомірка  $2 \times 2 \times 2$ , яка містить 64 атоми, була обрана за модель структури матеріалу. Матриця ефективного гамільтоніана розаховувалась в базисі одночастинкових функцій PAW [3] – проекційно приєднаних хвиль. Останні генерувались за допомогою програми AtomPAW [4, 5]. Розмір матриці гамільтоніана визначався 43362 включених у базис плоских хвиль. Обмінно-кореляційний функціонал PBE [6] не є адекватним для опису матеріалів, у яких присутні сильно скорельовані стани, зокрема 3d електрони Mn. З огляду на це ми застосували гібридний функціонал PBE0 [7-9].

На рисунках 1, 2 наведені результати розрахунку з перших принципів поляризованої за спіном електронної структури матеріалу ZnS:Mn без вакансії  $V_{Zn}$ .

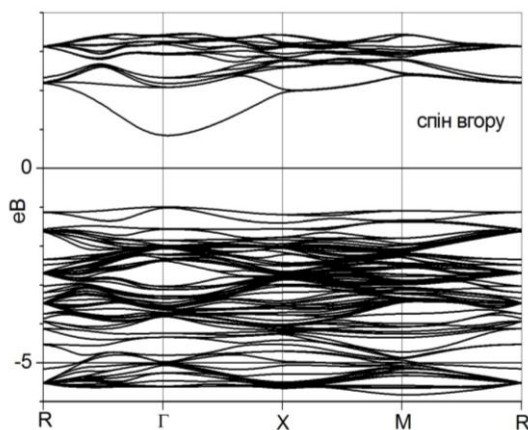


Рис. 1. Електронний енергетичний спектр матеріалу  $Zn_{31}Mn_1S_{32}$  зі спіном вгору.

Зауважуємо, що для обидвох значень спінового моменту матеріал є напівпровідником. Однак наявність вакансії  $V_{Zn}$  помітно змінює електронну будову матеріалу, на що виразно вказують відповідні закони дисперсії, зображені на рисунках 3, 4. Так, для спіна вгору (рис. 3) рівень Фермі перетинає дисперсійні криві станів валентної зони, а в середині забороненої зони з'являються дуже вузькі енергетичні зони d електронів Mn. Отже, для електронів зі спінами вгору реалізується металевий стан. Дещо інша картина виникає для станів зі спіном униз (рис. 4). Рівень Фермі локалізований у



забороненій зоні, але досить близько від верху валентної зони. В середині забороненої зони також присутні d стани електронів Mn.

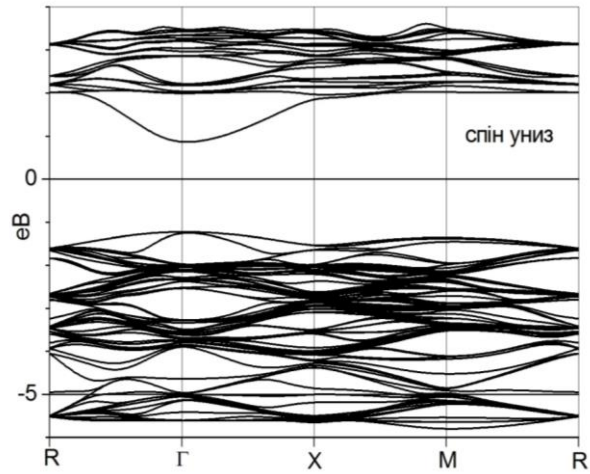


Рис. 2. Електронний енергетичний спектр матеріалу  $Zn_{31}Mn_1S_{32}$  зі спіном униз.

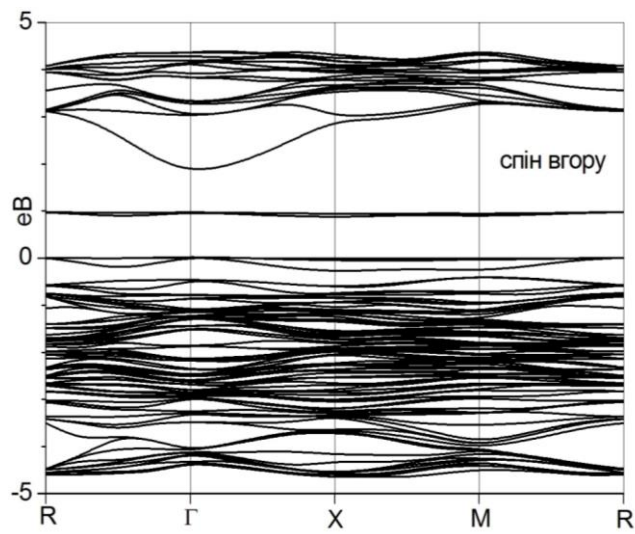


Рис. 3. Електронний енергетичний спектр матеріалу  $Zn_{30}Mn_1S_{32}$  зі спіном вгору.

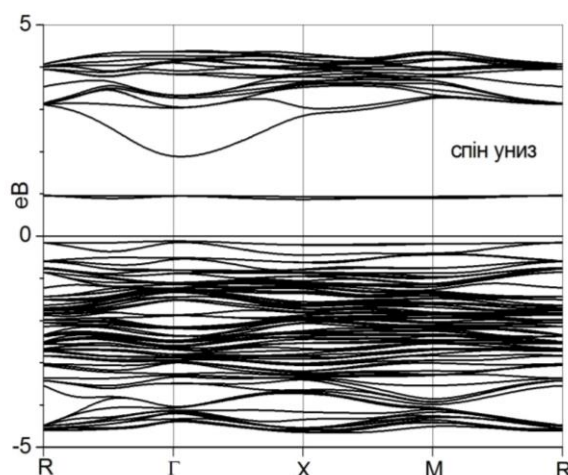


Рис. 4. Електронний енергетичний спектр матеріалу  $Zn_{30}Mn_1S_{32}$  зі спіном униз.

Магнітний момент надкомірки без вакансії  $V_{Zn}$ , що відповідає результатам, наведеним на рисунках 1, 2, становить  $5 \mu_B$ , а внесок атомної сфери Mn дорівнює  $3.82 \mu_B$ .

Магнітний момент надкомірки з вакансією  $V_{Zn}$ , що відповідає результатам, наведеним на рисунках 3, 4, становить  $0.73 \mu_B$ , а внесок атомної сфери Mn дорівнює всього лиш  $-0.006 \mu_B$ .

З отриманих результатів доходимо висновку про значні зміни параметрів електронного енергетичного спектру, зумовлених домішками перехідних 3d елементів та катіонними вакансіями.

#### Література

- [1] Shenyu Dai, Guoying Feng, Yuqin Zhang, Lijuan Deng, Hong Zhang, Shouhuan Zhou, Results in Physics **8**, 628 (2018).
- [2] X. Gonze et al., Comput. Phys. Comm. **205**,106 (2016).
- [3] P.E. Blöchl, Phys. Rev. B **50**, 17953 (1994).
- [4] Holzwarth N.A.W., Tackett A.R., Matthews G.E., Comput. Phys. Commun., 2001, **135**, 329.
- [5] Tackett A.R., Holzwarth N.A.W., Matthews G.E. (2001). Computer Phys. Comm., **135**, 348.
- [6] J.P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerhof, Phys. Rev. Letters **77**, 3865 (1996).
- [7] M. Ernzerhof, G.E. Scuseria, J. Chem. Phys. **110**, 5029 (1999).
- [8] Novák P., Kunes J., Chaput L., Pickett W.E. (2006). Phys. Stat. Sol. (b), **243**, 563.
- [9] Tran E., Blaha P., Schwarz K., Novák P. (2006). Phys. Rev.B **74**, 155108(10).

## ІЗОВАЛЕНТНЕ ЗАМІЩЕННЯ В СТРУКТУРІ $\text{ErCu}_3\text{Te}_3$

Смітюх О.В., Марчук О.В.

Волинський національний університет імені Лесі Українки, факультет хімії, екології та фармації  
Smitiukh.Oleksandr@vnu.edu.ua

Хімія телуридів має широке застосування у термоелектриці. Хоча тенденції сучасного матеріалознавства спрямовані на вивчення “дружніх” за хімічною природою сульфідів, інтерес до розробки телуридовмісних матеріалів є активним. Одними із таких об’єктів є системи на основі халькогеніду  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , оскільки вони дозволяють формувати  $n$ - $p$  та  $p$ - $n$  переходи. Цю властивість використовують у сучасних перетворювачах енергії [1]. Цікавими, з точки зору напівпровідникових технологій, є системи, що включають в свою структуру рідкісноземельні елементи. Зокрема, авторами роботи [2] досліджено систему  $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Er}_2\text{Te}_3$ . Встановлено, що обидві вихідні фази є конгруентними і можуть виступати як вихідні компоненти для синтезу сплавів квазіпотрійної системи  $\text{Cu}_2\text{Te} - \text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Er}_2\text{Te}_3$ . Авторами дослідження [3] зазначено, що фаза  $\text{Cu}_2\text{Te}$  характеризується аномально високою електропровідністю та низькими значеннями коефіцієнта Зеєбека. Це пов’язано з тим, що зв’язки  $\text{Cu} - \text{Te}$  є більш ковалентними і самокомпенсація між катіонними та аніонними вакансіями більш ефективна.

Вивчення матеріалів на основі сплавів квазіпотрійної системи  $\text{Cu}_2\text{Te} - \text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Er}_2\text{Te}_3$  є перспективним, оскільки вихідні компоненти характеризуються широким діапазоном властивостей, що дає змогу синтезувати перспективні матеріали. У роботі представлено отримання таких матеріалів шляхом ізовалентного заміщення.

Авторами роботи [4] була синтезована фаза  $\text{ErCu}_3\text{Te}_3$  і визначені її кристалографічні характеристики: *просторова група*  $R\bar{3}m2_1$ ; *символ Пірсона*  $oP28$ ; параметри елементарної комірки:  $a = 1.26784(6)$  нм,  $b = 0.76161(3)$  нм,  $c = 0.69016(3)$  нм. ПСТ  $4b$  (атоми Ербію), що має октаедричне оточення з атомів телуру, є досить стабільною для можливого ізовалентного заміщення атомами бісмуту (рис. 1).

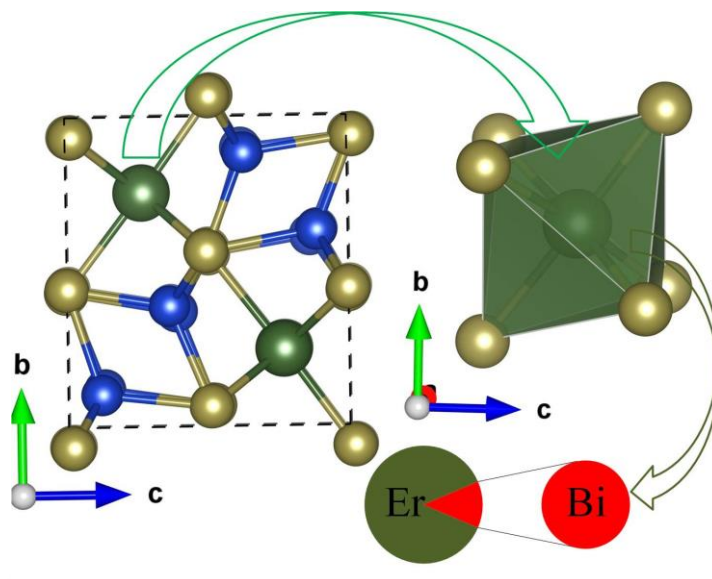


Рис. 1. Проекція елементарної комірки телуриду  $\text{Er}_{0.99}\text{Bi}_{0.01}\text{Cu}_3\text{Te}_3$ .

Телурид  $\text{Er}_{0.99}\text{Bi}_{0.01}\text{Cu}_3\text{Te}_3$  отримано сплавленням простих речовин (Er, Bi, Cu та Te) високого ступеня чистоти методом твердофазних реакцій. Масив експериментальних даних (рис. 2), для фазового аналізу, отримано на дифрактометрі BRUKER D8 Cu $\alpha$ -випромінювання ( $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ ,  $\Delta 2\theta = 0.05^\circ$ ,  $2\theta$  діапазон  $10 - 100^\circ$ ).

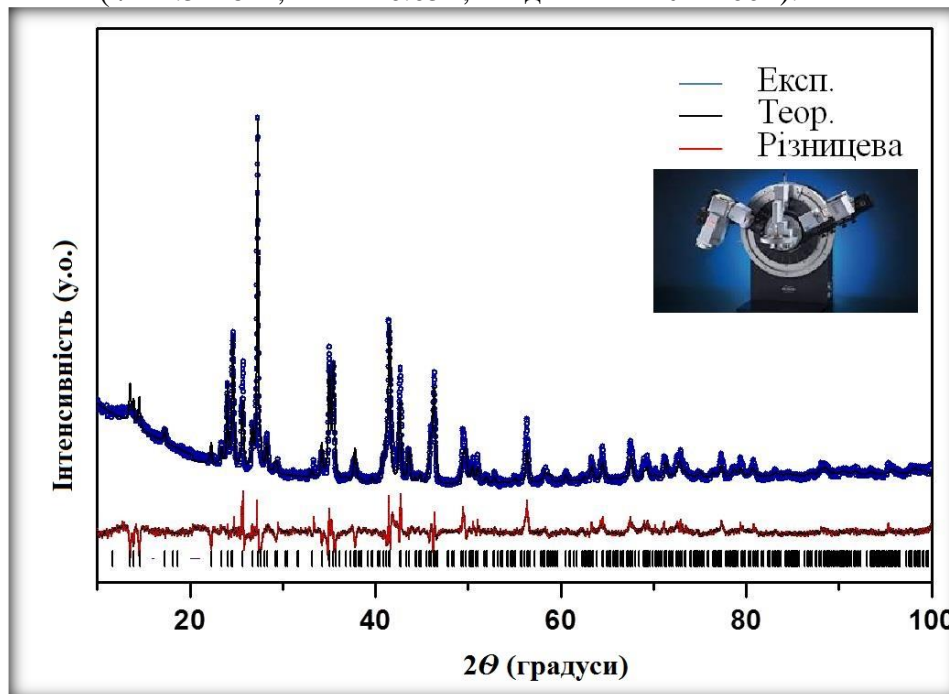


Рис. 2. Теоретичний (-), експериментальний (-) та різницевий (-) профілі дифрактограми телуриду  $\text{Er}_{0.99}\text{Bi}_{0.01}\text{Cu}_3\text{Te}_3$ .

За результатами рентгеноструктурного аналізу розраховано параметри кристалічної решітки телуриду  $\text{Er}_{0.99}\text{Bi}_{0.01}\text{Cu}_3\text{Te}_3$ :  $a = 1.2712(1) \text{ нм}$ ,  $b = 0.75989(7) \text{ нм}$ ,  $c = 0.69276(7) \text{ нм}$ ,  $R_{\text{Bragg}} = 0.0974$ .

Розрахунок проводили з використанням програмного забезпечення GSAS II. Подальші дослідження синтезованого телуриду будуть зосереджені на визначенні його термоелектричних параметрів.

### Список літератури

1. Nozariasbmarz A., Poudel B., Li W., Byul Kang H., Zhu H., Priya S. (2020). Bismuth telluride thermoelectrics with 8 % module efficiency for waste heat recovery application. *IScience*. 23(7) 101340. DOI: 10.1016/j.isci.2020.101340
2. Bennoui S., Djaballah Y., Vassiliev V. et al. (2022). Thermodynamic study of Er – Bi and Er – Te systems by combination of first-principles calculations and the CALPHAD method. *J. Phase Equilib. Diffus.* 43. 126-138. DOI: 10.1007/s11669-022-00947-8
3. He Y., Zhang T., Shi X. et al. (2015). High thermoelectric performance in copper telluride. *NPG Asia Mater.* 7. e210. DOI: 10.1038/am.2015.91
4. Gulay L.D., Kaczorowski D. (2006). Crystal structure and magnetic properties of the  $\text{RCu}_3\text{Te}_3$  (R = Er and Tm). *J. Alloys Compd.* 422(1-2). 16-20. DOI: 10.1016/j.jallcom.2005.11.078

## ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИНОК СУЛЬФІДУ КАДМІЮ

Ю. О. Хмарук<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Волинський національний університет ім. Лесі Українки,  
пр. Волі, 13, Луцьк, Волинська область, Україна, 43025  
E-mail: [HmarukUra@gmail.com](mailto:HmarukUra@gmail.com)

Нанокристали CdS мають достатньо різноманітне використання. Завдячуючи хорошій фототермічній стабільності [1] разом з високою фонною ангармонічністю [2-3] ці матеріали демонструють хороші фотомеханічні характеристики. На даний момент є проблема отримання дисперсних зразків малих розмірів.

Відомо, що у процесі синтезу нанорозмірних частинок широко використовуються водорозчинні полімери або інші поверхнево-активні речовини (полівініловий спирт, поліетиленоксид, полівінілпірролідон, желатин, пометакрилову кислоту тощо), які впливають на структуру, розміри й оптичні властивості наночастинок [4].

В нашій роботі синтез кадмій сульфідів проводиться шляхом електролізу водного розчину натрій хлориду (58,44 г/л або 1,0 М) і тіокарбаміду (15,22 г/л або 0,20 М) у присутності полівінілового спирту (ПВС, 10 г/л) (зразки серії А) або Atlas G3300 (1,0 г/л) (зразки серії D) з розчинним кадмієвим анодом за 363,2 К та різної густини струму. AtlasG3300 – торгова марка аніонної поверхнево-активної речовини, яка є сумішшю 2-додецилбензенсульфонової кислоти і 2-пропанаміну у співвідношенні 1:1. Вона має хімічну формулу (C<sub>21</sub>H<sub>38</sub>NO<sub>3</sub>S) із молярною масою 384,596. Електроліз тривав 20 хвилин у всіх експериментах. Деякі основні параметри синтезу представлені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1

### Умови електрохімічного синтезу досліджуваного кадмій сульфідів у присутності полівінілового спирту

Зразок	A01	A02	A03	A04
Сила струму, А	2,5	2,0	1,5	1,0
Густина струму, А/см <sup>2</sup>	0,5	0,4	0,3	0,2
Напруга, В	7,9	7,4	5,2	4,0

Таблиця 2

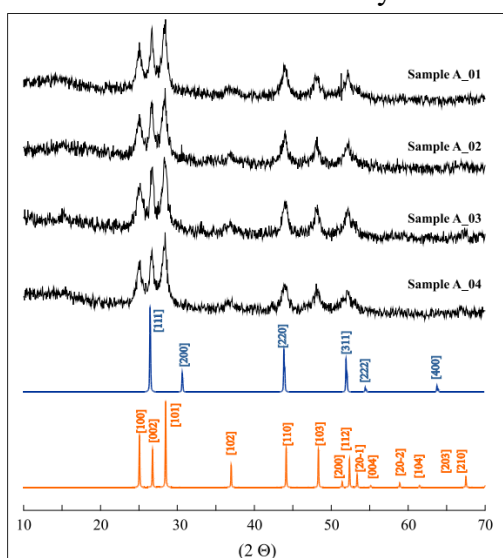
### Умови електрохімічного синтезу досліджуваного кадмій сульфідів у присутності AtlasG3300

Зразок	D03	D05	D07	D09	D11
Сила струму, А	0,56	0,93	1,4	1,8	2,2
Густина струму, А/см <sup>2</sup>	0,112	0,186	0,28	0,36	0,44
Напруга, В	2,2	3,8	5,7	6,4	8,2

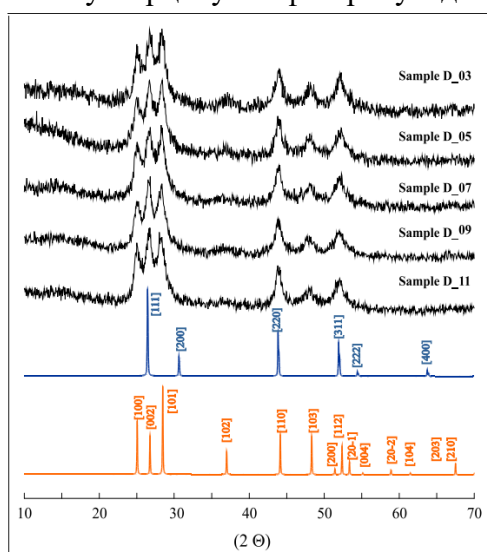
Хлорид натрію, тіокарбамід і ПВС/Atlas G3300 зважували та переносили в мірну колбу і розчиняли у гарячій дистильованій воді. Вміст колби доводили до мітки за температури експерименту (90 °С) в термостаті. Отриманий розчин переносили в електролізер, а циліндричні кадмієвий і сталевий електроди були занурені в розчин та підключені до джерела живлення. Електролізер із зануреними електродами та контактним і звичайним термометром поміщали в термостат. Після нагрівання до потрібної температури одночасно вмикали джерело живлення та секундомір. Після розчинення анода відразу почали утворюватися і осідати на дно стакана помаранчеві частинки. Коли час синтезу було вичерпано, електролізер розмонтовували, а стакан з утвореною суспензією виймали з термостата і залишали охолоджуватися до температури навколишнього середовища.

Після охолодження вміст стакана, в якому відбувся електроліз, виливали у більший стакан з дистильованою водою і залишали до повного осідання порошку. Отриману суспензію залишали до наступного дня. Порошкоподібний осад продукту електролізу промивали біля 15 разів. Після цього осад переносили в чашку Петрі і залишали її на добу в сушильній шафі за 50 °С. Кадмієві електроди промивали дистильованою водою після їх сушіння на повітрі та зважували. [5].

Синтезовані помаранчеві порошки досліджували за допомогою скануючої електронної мікроскопії та рентгенівської порошкової дифракції (дифрактометр DRON-4-13, Cu-K $\alpha$  випромінювання). Рентгенограми усіх зразків представлені на рис. 1 та 2. Дифракційна картина всіх зразків містить відбиття, що відповідають теоретичним діаграмам для просторової групи R $\bar{3}m$  (позначена синьою лінією) і F43m кадмій сульфід (помаранчева лінія). Таким чином, одержаний порошкоподібний продукт є чистим кадмій сульфідом зі змішаною гексагональною та кубічною структурою типу вюрциту та сфалериту відповідно.



**Рис. 1.** Експериментальні та теоретичні порошкограми зразків кадмій хлориду, синтезованих за однакової температури (90°C), часу електролізу (20 хв), концентрації NaCl (1,0 моль/л), концентрації тіокарбаміду (0,2 моль/л), вмісту ПВС (10 г/л), але різної густини струму (А/см<sup>2</sup>): а) А01 – 0,5; А02 – 0,4; зразок А03 – 0,3; А04 – 0,2.



**Рис. 2.** Експериментальні та теоретичні порошкограми зразків сульфід кадмію, синтезованих за однакової температури (90°C), часу електролізу (20 хв), концентрації NaCl (1,0 М), концентрації тіокарбаміду (0,2 М), вмісту Atlas G3300 (1,0 г/л), але різної густини струму (А/см<sup>2</sup>): D03 – 0,112; D05 – 0,186; D07 – 0,280; D09 – 0,360; D11 – 0,440.

1. Ozga K., Yanchuk O.M., Tsurkova L.V., Marchuk O.V., Urubkov I.V., Romanyuk Y.E., Fedorchuk O., Lakshminarayana G. and Kityk I.V. Operation by optoelectronic features of cadmium sulphide nanocrystallites embedded into the photopolymer polyvinyl alcohol matrices. Appl. Surf. Sci. 2018. Vol. 446. p. 209-214.
2. Parasyuk O.V., Babizhetskyy V.S., Khyzhun O.Y., Levytsky V.O., Kityk I.V., Myronchuk G.L., Tsisar O.V., Piskach L.V., Jedryka J., Maciag A. and Piasecki M. Novel quaternary TlGaSn<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> single crystal as promising material for laser operated infrared nonlinear optical modulators. Crystals. 2017. Vol.7. P. 341-357.
3. Krymus A.S., Myronchuk G.L., Parasyuk O.V., Lakshminarayana G., Fedorchuk A.O., El-Naggar A., Albassam A. and Kityk I.V. Photoconductivity and nonlinear optical features of novel Ag<sub>x</sub>GaxGe<sub>1-x</sub>Se<sub>2</sub> crystals. Mater. Res. Bull. 2017. Vol. 85. P. 74-79.
4. Ozga K., Yanchuk O.M., Tsurkova L.V., Marchuk O.V., Urubkov I.V., Romanyuk Y.E., Fedorchuk O., Lakshminarayana G., Kityk I.V. Operation by optoelectronic features of cadmium sulphide nanocrystallites embedded into the photopolymer polyvinyl alcohol matrices. Applied Surface Science. 2018. Vol. 446. P. 209-214.
5. Патент 93471U Україна, МПК (2014.01) С 01G 11/00, Спосіб отримання нанопорошків кадмій сульфідом електролізом водного розчину індиферентного електроліту, заявник та патентний власник Східноєвропейський нац. ун-т імені Лесі Українки. - № u201313037; Заявл. 11.11.2013; опубл. 10.10.2014. Бюл. № 9. - 3 с.

## ЕТАЛОННА ГЕОМЕТРОДИНАМІКА І ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ОДНОРІДНІСТЬ. ТРИ ТИПИ СТАЦІОНАРНИХ ОБЕРТОВИХ ВСЕСВІТІВ. РІВНЯННЯ ЕТАЛОННОЇ ГЕОМЕТРОДИНАМІКИ

Хоровець Володимир Євгенович  
e-mail: [ykhorovets@gmail.com](mailto:ykhorovets@gmail.com)

Об'єднана фізична теорія (ОФТ) – це майбутня фізико-математична теорія, яка має описати властивості елементарних частинок під час фундаментальних взаємодій між ними в рамках єдиного теоретичного підходу. Ця теорія повинна бути квантовою і описувати поведінку елементарних частинок під впливом темної матерії і темної енергії. ОФТ повинна пояснити спектри мас, спінів, електричних зарядів та інших квантових чисел елементарних частинок [1].

Існують геометричний і калібрувальний підходи до побудови ОФТ.

В межах геометричного підходу побудована загальна теорія відносності (ЗТВ) [2]. Вона описує гравітаційну взаємодію матерії. Математичним апаратом ЗТВ є 4-вимірний ріманова геометрія. Але гравітацію не можна проквантувати.

В межах калібрувального підходу побудована стандартна модель елементарних частинок [1]. Ця теорія описує слабку, електромагнітну і сильну взаємодії. Але вона не описує гравітацію.

Різні варіанти ОФТ, зокрема, геометродинаміка [3, 4], петльова квантова гравітація, теорії струн [1] залишаються незавершеними.

У статті автора [5] вказано на напрямок побудови ОФТ в межах геометричного підходу з 4-вимірною рімановою геометрією. У ній розглянуто модель обертового всесвіту з однорідним простором-часом і дуже великою частотою обертання. Зауважимо, що в 1949 р. К. Гьодель [6] одержав модель обертового всесвіту з однорідним розподілом матерії, яка є розв'язком рівнянь ЗТВ з космологічною сталою.

В цій роботі розглядаємо еталонну геометродинаміку (ЕГД) – варіант об'єднаної фізичної теорії. В роботі формулюємо такі постулати ЕГД.

1. Елементарні частинки спостережуваного Всесвіту є проявом 4-вимірної ріманової геометрії.

2. Для всесвіту без елементарних частинок властива просторово-часова однорідність. Такий всесвіт назвемо еталонним всесвітом.

3. Існують такі системи відліку і системи координат, в яких простір еталонного всесвіту “спостерігається” як ізотропний.

4. Еталонний всесвіт є вільною квантовою частинкою, яку назвемо Еталоном.

4. Для всесвіту з елементарними частинками і спостережуваного Всесвіту властива просторово-часова неоднорідність. Елементарні частинки зв'язані з Еталоном і між собою.

Для моделей всесвітів використовуємо термін “всесвіт” (з малої літери), а для спостережуваного Всесвіту – термін “Всесвіт” (з великої літери).

Узагальнюючи всесвіт Мінковського, приходимо до стаціонарних обертових X-всесвітів. Доводимо, що для цих всесвітів властива просторово-часова однорідність. В апікатно орієнтованих абсолютно інерційних системах відліку і апікатно орієнтованій абсолютно інерційній системі координат тетрада [2] приймає вигляд

$$h^{\bar{a}}_{\bar{b}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\rho_{\gamma}^{\bar{\alpha}} x^{\gamma} & \delta^{\bar{\alpha}}_{\bar{\beta}} \end{bmatrix}.$$

Тут  $\rho_{\beta}^{\alpha} \stackrel{\text{def}}{=} \varphi^{-1\alpha} P_{\beta}^{\alpha} \varphi^{\beta}$ , де  $P_{\beta}^{\alpha}$  – елементи симетричної матриці (сталі),  $\varphi^{\beta}$ ,  $\varphi^{-1\alpha}$  – елементи матриці обернання і оберненої матриці обернання. Величини  $\varphi^{\beta}$  і  $\varphi^{-1\alpha}$  в матричному вигляді

$$\varphi^{\beta} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \varphi^{-1\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

В елементах цих матриць фаза  $\phi = \Omega t = Kx^0$ , де  $\Omega$  – кутова швидкість обернання,  $t$  – час,  $x^0 (= ct)$  – часова координата. Стала  $K = \frac{1}{c}\Omega$ , де  $c$  – швидкість світла у вакуумі.

Робимо припущення, що кутова швидкість обернання Всесвіту дуже велика. А тому це обернання не буде спостережуване.

Узагальнюючи стаціонарні обертові X-всесвіти приходимо до стаціонарних обертових всесвітів I типу з тетрадою

$$h^{\bar{a}}_{\bar{b}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -v^{\bar{\alpha}}_{\gamma} x^{\gamma} & \delta^{\bar{\alpha}}_{\beta} \end{bmatrix}.$$

В цій тетраді величини  $v^{\alpha}_{\beta} \stackrel{\text{def}}{=} \varphi^{-1\alpha} N^{\beta}_{\alpha} \varphi^{\beta}$ , де  $N^{\beta}_{\alpha} = P^{\beta}_{\alpha} + {}^1K^{\beta}_{\alpha}$  і  ${}^1K^{\beta}_{\alpha}$  – елементи антисиметричної матриці (сталі).

Продовжуючи узагальнення приходимо до стаціонарних обертових всесвітів II типу. Тетрада цих всесвітів

$$h^{\bar{a}}_{\bar{b}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -v^{\bar{\alpha}}_{\gamma} x^{\gamma} - \alpha^{\bar{\alpha}} & \delta^{\bar{\alpha}}_{\beta} \end{bmatrix},$$

де  $\alpha^{\alpha} \stackrel{\text{def}}{=} \varphi^{-1\alpha} A^{\alpha}$  і  $A^{\alpha}$  – сталі.

Тетрада стаціонарних обертових всесвітів III типу приймає такий вигляд:

$$h^{\bar{a}}_{\bar{b}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -v^{\bar{\alpha}}_{\gamma} x^{\gamma} - \alpha^{\bar{\alpha}} & \sigma^{\bar{\alpha}}_{\beta} \end{bmatrix}.$$

Тут  $\sigma^{\alpha}_{\beta} \stackrel{\text{def}}{=} \varphi^{-1\alpha} \Sigma^{\beta}_{\alpha} \varphi^{\beta}$ , де  $\Sigma^{\beta}_{\alpha}$  – сталі.

Доводимо, що для стаціонарних обертових всесвітів I, II і III типів властива просторово-часова однорідність (2-й постулат ЕГД).

Стаціонарні обертові всесвіти мають “спостерігатися” як ізотропні (3-й постулат ЕГД). Для цих всесвітів, здійснюючи усереднення за часовою координатою компонент метричного тензора, приходимо до центрально-симетричної метрики [2]. Тоді одержуємо умови псевдоізотропії.

Виходячи з умов псевдоізотропії, знаходимо стаціонарні псевдоізотропні X-всесвіти і стаціонарні псевдоізотропні всесвіти I типу. Тетрада перших всесвітів має 4 незалежні сталі, а тетрада других – 6 незалежних сталих.

Для стаціонарних псевдоізотропних X-всесвітів вводимо обертальні функції. Ці функції при лінійних перетвореннях координат перетворюються подібно до векторних хвильових функцій вільної частинки квантової теорії. Спін такої частинки рівний зведеній сталій



Планка, або 1 в одиницях  $\hbar$  [7]. Отже, приймімо, що спін стаціонарних псевдоізотропних Х-всесвітів (класи А, В, С) рівний зведеній сталій Планка  $\hbar$ .

Для стаціонарних обертових всесвітів III типу знаходимо, що компоненти тензора Річчі [2]  $R_{\bar{a}\bar{b}}$  приймають такий вигляд:

$$R_{\bar{a}\bar{b}} = W_{\hat{a}\hat{b}} \varphi^{\hat{a}}_{\bar{a}} \varphi^{\hat{b}}_{\bar{b}}. \quad (1)$$

Тут  $W_{\hat{a}\hat{b}} (= W_{\hat{b}\hat{a}})$  – сталі, а величини  $\varphi^{\hat{a}}_{\bar{b}}$  задані матрицею

$$\varphi^{\hat{a}}_{\bar{b}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \varphi^{\hat{\alpha}}_{\bar{\beta}} \end{bmatrix}.$$

Вираз (1) будемо розглядати як рівняння. Ці рівняння подамо таким чином:

$$\varphi^{\hat{a}}_{\bar{a}} R_{\bar{b}}^{\bar{a}} - W_{\hat{b}}^{\hat{a}} \varphi^{\hat{b}}_{\bar{b}} = 0. \quad (2)$$

Тензору Річчі з компонентами  $R_{\bar{b}}^{\bar{a}}$  відповідає оператор Д'Аламбера  $\square$  квантової теорії. Елементи матриці обертання  $\varphi^{\hat{a}}_{\bar{a}}$  за властивостями подібні до хвильових функцій  $\psi$ . Величини  $W_{\hat{b}}^{\hat{a}}$ , які входять в (2) є сталими. Тоді рівняння (2) подібне до рівняння Клейна-Гордона [7].

Отже, приймімо, що рівняння (1) є рівняннями ЕГД.

Для Еталона з елементами матриці обертання  $\varphi^{\hat{a}}_{\bar{b}}$  рівняння (1), або (2) стають тотожностями. Еталон має масу, одиничний спін, інші квантові числа.

Найпростіші розв'язки рівнянь ЕГД мають відповідати елементарним частинкам. На основі цих розв'язків можна буде знайти сталі еталонного всесвіту.

### **Список літератури**

1. Smolin L., The trouble with physics: the rise of string theory, the fall of a science, and what comes next. – Boston: Houghton Mifflin, 2006. – 416 p.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория поля. – Москва: Наука, 1988. – 510 с.
3. Misner C., Wheeler J., Ann. Phys., 2, 525 (1957); [https://doi.org/10.1016/0003-4916\(57\)90049-0](https://doi.org/10.1016/0003-4916(57)90049-0).
4. Wheeler J., Ann. Phys., 2, 525 (1957); [https://doi.org/10.1016/0003-4916\(57\)90050-7](https://doi.org/10.1016/0003-4916(57)90050-7).
5. Хоровець В., Наук. Вісн. СНУ ім. Лесі Українки. Фізич. Науки. – 2014. – 15 (292). С. 59 – 65.
6. Gödel K., Rev. Mod. Phys., 21, 447 (1949); <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.21.447>.
7. Вакарчук І. О., Квантова механіка. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2012. – 872 с.

## Програмні засоби для моделювання і візуалізації мінімальних поверхонь

Ганна Шаварова,\* Богдан Молоко

Навчально-науковий фізико-технологічний інститут ВНУ імені Лесі Українки

\*e-mail: shavarova.hanna@vnu.edu.ua

Мінімальна поверхня - це поверхня, яка локально мінімізує свою площу, тобто має нульову середню кривизну в кожній точці. Іншими словами, мінімальна поверхня має найменшу можливу площу поверхні для заданої межі або набору обмежень. Мінімальні поверхні можуть набувати різноманітних форм: від простих, таких, як площина, катеноїд (що нагадує сідлоподібну поверхню), гелікоїд (що нагадує скручений пандус), до більш складних конфігурацій, наприклад, поверхня Коста (рис.1)

Мінімальні поверхні знаходять застосування у різних галузях: математиці, фізиці, матеріалознавстві, покриттях поверхонь, нанотехнології, комп'ютерній графіці та архітектурі.



Рис.1. Поверхня Коста, обмежена сферою [1]

Їх вивчають на предмет їх математичної елегантності, їхньої ролі в розумінні поверхневого натягу та мінімізації енергії у фізиці, а також їхнього потенціалу в розробці та оптимізації матеріалів із бажаними властивостями поверхні.

Мінімальні поверхні можуть виникати природним шляхом у фізичних системах, як-от мильні плівки, поверхні, утворені краплями рідини на твердій основі, клітинні мембрани, границі фаз у полімерах.

Так, хімік Едвін Л. Томас зі співробітниками [2], досліджуючи структуру полімера, що складався з двох типів макромолекул, виявив, що у стані рівноваги матеріал розділяється на окремі фази, утворюючи складні тривимірні структури. Розшифровка зображень трансмісійної електронної мікроскопії із застосуванням комп'ютерного моделювання показала, що границі фаз є періодичними мінімальними поверхнями.

У кристалічних речовинах мінімальні поверхні можна використовувати для моделювання поверхні кристала чи окремих його ділянок шляхом мінімізації площі поверхні з врахуванням кристалічної структури. Кристали цеоліту складаються з кілець тетраедрів  $\text{SiO}_4^{4-}$ ,  $\text{AlO}_4^{5-}$ , порожнини між якими з'єднані каналами і заповнені водою. Під час нагрівання вода випаровується і залишає пористий каркас, який має вигляд мінімальної поверхні Шварца (рис. 2). Такі пористі структури використовують як адсорбенти, молекулярні сита, каталізатори, тощо.

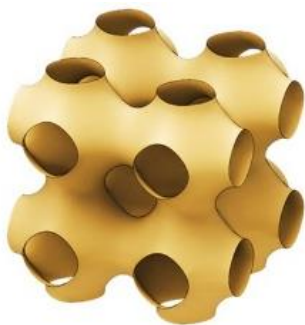


Рис.2. Мінімальна поверхня Шварца [3]

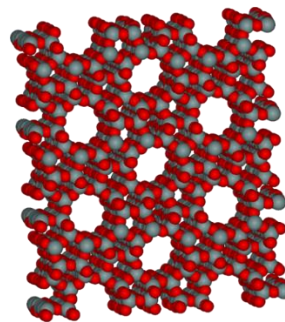


Рис. 3. Структура цеоліту [4]

Наведені приклади показують, яку важливу роль відіграють мінімальні поверхні у вивченні поверхневих явищ і мікроструктури речовин.

Для моделювання мінімальних поверхонь існує декілька програмних засобів. Ці інструменти надають спеціальні функції та алгоритми, розроблені для роботи з мінімальними поверхнями.

Серед них програмне забезпечення автоматизованого проектування (САПР). Ці програмні засоби дозволяють визначати параметричні рівняння, маніпулювати параметрами поверхні та візуалізувати отримані мінімальні поверхні. Прикладами програм САПР, які зазвичай використовуються для моделювання поверхонь, є Rhino, AutoCAD і SolidWorks. У поєднанні з інтерфейсом візуального програмування Grasshopper Rhino стає потужною платформою для моделювання мінімальних поверхонь (рис.5).

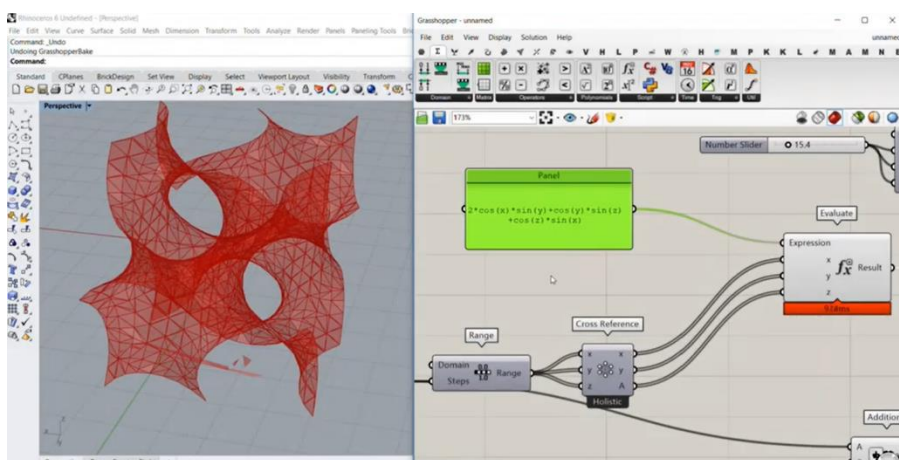


Рис. 3. Скріншот побудови гіроїда у програмі Rhino Grasshopper

Потужним програмним інструментом для моделювання та імітації мінімальних поверхонь є Surface Evolver. Він пропонує розширені алгоритми оптимізації та енергетичні функціонали для розробки та аналізу мінімальних конфігурацій поверхні. Surface Evolver особливо добре підходить для вивчення та візуалізації широкого діапазону поверхневих явищ.

Таким чином, мінімальні поверхні дозволяють краще зрозуміти структуру та властивості різноманітних поверхонь, що зустрічаються в природі, а також можуть використовуватись для створення наноструктур, які мають певні фізичні властивості.

Для моделювання мінімальних поверхонь існують різні варіанти програмного забезпечення які відрізняються функціями та можливостями. Вибір програмного забезпечення залежить від таких факторів, як складність поверхні, бажана функціональність, доступні ресурси та конкретні вимоги до моделі.

#### Література:

1. Costa's Surface. Anders Sandberg <https://www.flickr.com/photos/arenamontanus/8059864268>
2. Thomas, E.L., Anderson, D.M., Martin, D.C., Hoffman, J.T., Hoffman, D. (1991). Periodic Area Minimizing Surfaces in Microstructural Science. In: Concus, P., Finn, R., Hoffman, D.A. (eds) Geometric Analysis and Computer Graphics. Mathematical Sciences Research Institute Publications, vol 17. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9711-3\\_21](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9711-3_21) [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-9711-3\\_21#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-9711-3_21#citeas)
3. Han, S.C., Choi, J.M., Liu, G. *et al.* A Microscopic Shell Structure with Schwarz's *D*-Surface. *Sci Rep* **7**, 13405 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13618-3>
4. Цеоліти. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Цеоліти#/media/Файл:Zeolite-ZSM-5-3D-vdW.png>

## БЕЗІТКНЕВА КІНЕТИКА КОНДЕНСОВАНОГО БОЗЕ–ГАЗУ Шигорін П.П.

Кафедра теоретичної та комп'ютерної фізики імені А.В. Свідзинського, Волинський національний університет імені Лесі Українки, e-mail: Shygorin.Pavlo@vnu.edu.ua

Важливим завданням статистичної механіки є дослідження динаміки колективних збуджень в багаточастинкових системах, які виникають внаслідок узгодженого руху всієї системи завдяки взаємодії між частинками. У випадку рідин та газів колективні моди мають гідродинамічну природу і проявляються у вигляді звукових хвиль. Особливо розмаїтими є гідродинамічні моди у квантових рідинах та газах. Наприклад, у надплинному гелії-4 крім звичайних звукових хвиль (першого звуку) можуть поширюватися температурні хвилі (другий звук) [1].

Поява в надплинному гелії поряд із першим звуком другого звуку пов'язана із дворідинною структурою гідродинамічних рівнянь, що в свою чергу відбиває наявність в системі бозе-айнштайнівського конденсату. Мовою дворідинної моделі перший звук відповідає синфазним коливанням нормальної та надплинної компонент, другий – протифазним.

Іншим прикладом багаточастинкової системи за наявності квантового виродження зі зламом симетрії є атомарний конденсований бозе-газ, що охолоджений до ультранизької температури (порядку десятків нанокельвінів) і утримується в магнітній пастці. Як показує теоретичний розрахунок [2], у такій системі можуть поширюватися перший та другий звук, а також теплова релаксаційна мода. На відміну від надплинного гелію-4, у якого через сильну взаємодію між атомами розділення нормальної та надплинної компоненти є неможливе, в конденсованому бозе-газі перший звук асоціюється із коливаннями густини атомів надконденсату, а другий звук – коливання густини конденсатних атомів.

У даній роботі проводиться теоретичне дослідження нульового звуку в атомарному конденсованому бозе-газі.

Динаміка конденсованого бозе-газу при відмінних від нуля температурах описується на основі рівнянь руху для двох величин: вігнерівської функції розподілу атомів над конденсату  $f = f(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t)$  та макроскопічної хвильової функції конденсату  $\Phi = \Phi(\mathbf{r}, t)$ . Відповідна система рівнянь побудована в роботі [3]:

$$\frac{\partial n_c}{\partial t} + \nabla(n_c \mathbf{v}_c) = R[f],$$

$$m \left( \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v}_c \nabla \right) \mathbf{v}_c = -\nabla \mu_c,$$

$$\frac{\partial f(\mathbf{p}, \mathbf{r}, t)}{\partial t} + \frac{\mathbf{p}}{m} \cdot \nabla f(\mathbf{p}, \mathbf{r}, t) - \nabla V_{eff}(\mathbf{r}, t) \cdot \nabla_{\mathbf{p}} f(\mathbf{p}, \mathbf{r}, t) = C_{22}[f] + C_{12}[f, \Phi],$$

де  $f = f(\mathbf{p}, \mathbf{r}, t)$ ,  $f_i = f(\mathbf{p}_i, \mathbf{r}, t)$ ,  $n_c = |\Phi(\mathbf{r}, t)|^2$ .

Для опису нульового звуку маємо розглянути беззіткневу кінетику. Таким чином маємо покласти інтегралі зіткнень рівними нулевi.

Звукову хвилю вважаємо процесом поширення періодичного збурення густини. Розглядаючи малі відхилення від стану рівноваги, який характеризується параметрами:  $n_{c0}$ ,  $\tilde{n}_0$  — рівноважні густини конденсату та теплової хмарини;  $\mathbf{v}_{c0} = 0$  — швидкість

конденсату;  $f_0 = 1/(e^{c^2 + \beta g n_{c0}} - 1)$  — рівноважна функція розподілу. Покладемо

$$n_c(\mathbf{r}, t) = n_{c0} + \delta n_c \exp(ikz - i\omega t), \quad f(\mathbf{r}, \mathbf{p}, t) = f_0 + f_0 [1 + f_0] h_0(\mathbf{p}) \exp(ikz - i\omega t)$$

При цьому слід вважати, що відхилення від рівноваги є малими, тобто виконуються співвідношення  $|\delta n_c| \ll n_{c0}$ ,  $|h_0| \ll f_0$ .

Рівняння динаміки розрідженого газу за наявності бозе-конденсату дають наступне рівняння для визначення відхилення функції розподілу від рівноважної

$$\left( \frac{\omega_0}{ck} - \cos\theta \right) h_0(\mathbf{c}) = 2A \frac{1}{\pi^{3/2} \Lambda^3} \cos\theta \int d\mathbf{c}' f_0(1 + f_0) h_0(\mathbf{c}').$$

Це рівняння подібне до добре відомого дисперсійного співвідношення для нульового звуку в теорії Ландау фермі-рідини. Розв'язок цього рівняння визначає поправку до локально-рівноважної функції розподілу, а також швидкість поширення нульового звуку.

### **Список використаних джерел**

1. Nozieres P. Theory of quantum liquids: superfluid Bose liquids [Text] / P. Nozieres, D. Pines. – Addison-Wesley. 1990. – 180 p.
2. Шигорін П. П. Дисперсійне співвідношення для хвиль першого та другого звуків у конденсованих атомарних бозе-газах / П. П. Шигорін, Ю. М. Лящук // Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Фізичні науки. – 2010. – № 6. – С. 58-63.
3. Shygorin P. Equations of coupled condensate and non-condensate dynamics in a trapped Bose gas / P. Shygorin, A. Svidzynskij // Ukr. J. Phys. – 2010. – Vol. 55. – No. 5. – P. 554-559.

## ДО ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ НАДПЛИННОГО ГЕЛІЮ Шигорін П.П.

Кафедра теоретичної та комп'ютерної фізики імені А.В. Свідзинського, Волинський національний університет імені Лесі Українки, e-mail: Shygorin.Pavlo@vnu.edu.ua

З моменту експериментального відкриття надплинності Петром Капицею і незалежно Джеком Аленом та Доном Майзене пройшло 70 років, проте науковці не припиняють експериментальні та теоретичні дослідження цього явища.

До теперішнього часу не існує послідовної мікроскопічної теорії надплинності, хоча й встановлено фундаментальний зв'язок між явищем надплинності та явищем Бозе-Айнштайнівської конденсації. Натомість незвичні властивості надплинного гелію-4 (протікання гелію крізь вузькі капіляри без опору, термомеханічний та механокалоричний ефекти) пояснюються напівфеноменологічною дворідинною моделлю Ландау-Тісси. Згідно з цією моделлю надплинна рідина складається з двох взаємопроникних рідин: «нормальної рідини» (нормальної компоненти), яка поводить себе як класична рідина, та «надрідини» (надплинної компоненти) з нульовою в'язкістю та нульовою ентропією.

Стосовно експериментальних досліджень властивостей надплинного гелію-4 слід зауважити те, що найвидатніші відкриття були зроблені в кінці 30-х років піонерами надплинності. Зокрема: спостереження Капицею в 1938р. бездисипативного протікання гелію-4 крізь тонкі капіляри при температурах, нижчих  $T_\lambda = 2.16 K$ ; відкриття Алленом та Майзене в 1938р. термомеханічного ефекту або ефекту фонтанування; відкриття Даунтом та Мендельсоном в 1939р. механокалоричного ефекту, який є зворотнім до термомеханічного.

В 2004 р. співробітник Фізико-Технічного Інституту Низьких Температур (м. Харків, Україна) А. Рибалко поставив експеримент для виявлення можливого зв'язку макроскопічного надплинного руху з електричними властивостями  $^4\text{He-II}$ . Результатом експерименту було те, що в надплинному гелії виникає електрична індукція при відносному русі надплинної і нормальної компонент [1]. Наступного року А. Рибалко та С. Рубец для збудження відносного руху надплинної і нормальної компонент використали методику торсіонного генератора, і знову була спостережена динамічна поляризація гелію [2]. Це явище отримало назву механоелектричного ефекту. Через кілька років був зафіксований зворотний ефект – резонансне поглинання мікрохвиль з одночасною появою другого звуку.

У даній роботі запропоновано можливий механізм виникнення механоелектричного ефекту. Зважаючи на те, що в бозе-конденсаті наявний далекий порядок, можна висунути припущення про можливість спонтанного впорядкування дипольних моментів у значних груп атомів (розмір групи залежить від температури), оскільки такий стан є енергетично вигідніший. Очевидно, що на межі груп з різними напрямками впорядкування, можуть виникати набагато більші дипольні моменти. Їхня величина, зміна з часом, та реакція на зовнішні впливи залишаються до кінця не з'ясованими. Ці властивості можуть бути виведеними з динаміки мікропроцесів взаємодії груп атомів. Важливо, що ці моменти створюються не окремими атомами, а їх групами, тому є набагато стійкішими ніж миттєві Ван дер Ваальсівські. Коли якийсь процес задає виділений напрямок, то їх орієнтація, не зважаючи на їхню нестійкість, відбувається з переважаючою ймовірністю саме в цьому напрямку. При цьому суттєво, щоб в цьому процесі динаміка електронних оболонок та ядер атомів чимось відрізнялась. Ці вимоги задовольняє прискорений рух однієї з компонент. Щоправда, це не гарантує величини результуючої напруженості поля, достатньої для її виявлення на досліді. Імовірно, вирішальну роль відіграє різка зміна ентропії, наприклад,

що спостерігається при проходженні хвилі другого звуку. При цьому змінюється розмір областей, а отже і їх кількість, що ставить різні частини хвилі в неоднакові умови щодо поляризації інерційним ефектом. Крім того, чим вища температура системи тим хаотичніше орієнтовані дипольні моменти груп атомів.

При поширенні хвилі першого звуку в різних частинах хвилі рідина рухається з рівними за модулем, але протилежними за напрямками прискореннями, а значить ті дипольні моменти, що виникнуть в результаті інерційного ефекту будуть скомпенсовані. У хвилі другого звуку, внаслідок різних умов поляризації через різну температуру в різних частинах хвилі, результуючий дипольний момент буде відмінним від нуля, і може в принципі бути зареєстрованим на досліді.

Крім того, якщо в надплинному гелії справді реалізується описане вище впорядкування, то повинен спостерігатися новий ефект — висока діелектрична проникність при дуже низьких напруженостях зовнішнього поля (порядку тих напруженостей, які створюються Ван дер Ваальсівськими дипольними моментами одного атома в області де знаходиться сусідній атом).

Причина цього явища та сама, що й у сегнетоелектриків, тільки ці дипольні моменти нестійкі, і набагато менші за величиною, тому при порівняно великих значеннях зовнішнього поля буде спостерігатися насичення, бо відносний внесок цього механізму зі зростанням напруженості спадатиме, оскільки зростатиме пряма поляризація окремих атомів. Також внаслідок великого розміру цих груп, якщо їх розглядати в атомних масштабах повинна спостерігатися затримка переорієнтації, групових дипольних моментів при надто швидкій зміні поля, і при певній частоті, вони будуть змінюватися найбільш узгоджено, водночас при такій частоті буде спостерігатися резонансне поглинання електромагнітних хвиль, причому частота буде зменшуватися зі зростанням розміру груп, що відбувається при зниженні температури.

#### ***Список використаних джерел***

1. Рыбалко А. Наблюдение электрической индукции, обусловленной волной второго звука в He-II // ФНТ. – 2004. – №30.–1321.
2. Рыбалко А., Рубец С. Наблюдение механоэлектрического эффекта в He-II // ФНТ. – 2005. – №31. – 820.

## **ПЛАЗМОННІ НАНОКОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ОКСИДУ ГРАФЕНУ ТА СРІБЛА ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ОРГАНІЧНІЙ ЕЛЕКТРОНІЦІ**

**Яремчук Ірина, Булавінець Тетяна, Стахіра Павло, Фітьо Володимир,  
Гельжинський Ігор**

Кафедра електронної інженерії, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С.Бандери,12,  
79013, Львів  
e-mail: iryna.y.yaremchuk@lpnu.ua

Останні дослідження показали, що композитні матеріали на основі графену та оксиду графену і металевих наноструктур мають високий потенціал для використання в електроніці, оптиці, електрохімії тощо [1]. Оксид графену не є плазмонним матеріалом, однак його можна поєднувати з плазмонними матеріалами, такими як золото або срібло [2]. Наприклад, шар графену на тонких плівках золота або срібла може призвести до значних змін сигналу поверхневого плазмонного резонансу порівняно з металевою плівкою без покриття, головним чином через перенесення заряду від пористого графену до металевих поверхонь. В даний час триває пошук універсального рішення для підвищення ефективності електронних компонентів. Тому синтез і властивості плазмонних наноконкомпозитів є активними напрямками досліджень, що швидко розвиваються [3].

У цій роботі досліджено характеристики плазмонних наноконкомпозитних матеріалів на основі оксиду графену та срібла. Розраховано коефіцієнт поглинання та ефективну діелектричну проникність досліджуваних наноконкомпозитів залежно від концентрації та розміру наночастинок. Результати моделювання показують, що збільшення коефіцієнта заповнення до 0,1 не змінює форму кривої коефіцієнта поглинання, а лише збільшує його значення. Однак, на спектрі при коефіцієнті заповнення срібла 0,2 спостерігається яскраво виражений пік поглинання на довжині хвилі близько 450 нм. Для цієї концентрації розраховано залежність коефіцієнта поглинання наноконкомпозитного матеріалу від довжини хвилі при різних значеннях радіуса наночастинок металу. Радіус наночастинок змінювався від 5 до 20 нм з кроком 5 нм. Максимальне поглинання спостерігається для наноконкомпозитного матеріалу з включеннями радіусом 5 нм в обох випадках, як для графену, так і для оксиду графену. Зі збільшенням розміру наночастинок амплітуда спектра поглинання зменшується, а пік поглинання зміщується в короткохвильову область. Таким чином, можна отримати максимальне поглинання на заданій довжині хвилі шляхом вибору концентрації наночастинок у наноконкомпозитному матеріалі.

Досліджувані наноконкомпозитні матеріали можуть бути успішно використані для різних застосувань органічної електроніки. Слід зазначити, що наночастинок різного розміру викликають різні поверхневі плазмонні ефекти в органічних оптоелектронних пристроях. Тому варто пам'ятати, що розмір плазмонних наночастинок, які демонструють високе розсіювання, зазвичай становить від 30 до 70 нм. Зі збільшенням розміру частинок розсіюється більше світла, а світловий зв'язок для OLED-пристроїв покращується.

### ***Список літератури***

1. Iqbal, A. A., Sakib, N., Iqbal, A. P., & Nuruzzaman, D. M. (2020). Graphene-based nanocomposites and their fabrication, mechanical properties, and applications. *Materialia*, vol. 12, pp. 100815.
2. Adeola, A. O., Kubheka, G., Chirwa, E. M., & Forbes, P. B. (2021). Facile synthesis of graphene wool doped with oleylamine-capped silver nanoparticles (GW- $\alpha$ AgNPs) for water treatment applications. *Applied Water Science*, 11, 1-15.
3. Adam, R. E., Chalangar, E., Pirhashemi, M., Pozina, G., Liu, X., Palisaitis, J., ... & Nur, O. (2019). Graphene-based plasmonic nanocomposites for highly enhanced solar-driven photocatalytic activities. *RSC advances*, vol. 9, No 52, pp. 30585-30598



## ВПЛИВ $\text{Er}^{3+}$ -ЛЕГУВАННЯ НА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЕРОВСКІТНОЇ СКЛОКЕРАМІКИ $\text{CsPbBr}_3$ НА ОСНОВІ $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$

**Т.К. Яцинюк<sup>1</sup>, В.В. Галян<sup>1</sup>, І.А. Іващенко<sup>1</sup>, А.Г. Кевшин<sup>1</sup>, А. Зелінський<sup>2</sup>, А. Тарасенко<sup>1</sup>, Ф. Копер<sup>3</sup>, П. Домбчинський<sup>4</sup>, К. Матрас-Постолек<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Воли 13, 43000, Луцьк, Україна;

<sup>2</sup>Львівський національний університет імені Лесі Українки, вул. Кирила і Мефодія 6, 79005, Львів, Україна;

<sup>3</sup>Факультет хімічної інженерії та технологій, Краківський університет технологій, вул. Варшавська 24, 31-155, Краків, Польща.

<sup>4</sup> Факультет фізики, астрономії та прикладної інформатики, Ягелонський університет, Краків, Польща

Галогенідні перовскіти  $\text{CsPbX}_3$ , де  $X = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ , викликають значний інтерес у науковців завдяки своїм фотоелектричним властивостям і здатності ефективно випромінювати кванти світла у видимому та ІЧ діапазонах. Однак, через іонну природу перовскітних структур, підвищення їх стабільності залишається важливим дослідницьким завданням для застосування в різних областях, таких як світловипромінювальні діоди (LED), лазери та сонячні елементи [1-3]. Одним із способів підвищення стабільності галогенідного перовскіту є вбудовування скляної матриці [1]. Крім того, існує багато чинників, які необхідно враховувати, щоб забезпечити відтворюваність фотолюмінесцентних (ФЛ) властивостей, зокрема, вдосконалення технології отримання склокераміки.

На основі скляної матриці  $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$  легованої  $\text{Er}^{3+}$  синтезовано склокераміку, що містить кристали  $\text{CsPbBr}_3$ . Досліджено ФЛ властивості склокераміки зі спектральним максимумом при 530 нм, обумовленим кристалами перовскіту  $\text{CsPbBr}_3$ . При введенні  $\text{Er}^{3+}$  інтенсивність ФЛ зменшується внаслідок виникнення конкуруючого каналу випромінювання, який зумовлений переходами в f-оболонці іонів  $\text{Er}^{3+}$ . Крім того, в ІЧ-діапазоні з'являються смуги ФЛ, з максимумами при 805, 985 і 1540 нм, що також відповідає переходам у f-оболонці іонів  $\text{Er}^{3+}$ . Проаналізовано механізм виникнення та зміну інтенсивностей смуг ФЛ в перовскітній склокераміці  $\text{CsPbBr}_3$  на основі  $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ .

### Список використаних джерел

1. Xia M, Luo J, Chen C, Liu H, Tang J. Semiconductor quantum dots-embedded inorganic glasses: fabrication, luminescent properties, and potential applications. *Adv. Optical Mater.* 2019; 7: 1900851.
2. Liu M, Wan Q, Wang H, Carulli F, Sun X, Zheng W, Kong L, Zhang Q, Zhang C, Zhang Q, Brovelli S, Li L. Suppression of temperature quenching in perovskite nanocrystals for efficient and thermally stable light-emitting diodes. *Nat. Photon.* 2021; 15: 379-385.
3. Shi W, Zhang X, Matras-Postolek K, Yang P. Mesoporous silica-coated  $\text{CsPbX}_3$  nanocrystals with high stability and ion-exchange resistance for bright white-emitting displays. *ACS Appl. Nano Mater.* 2021; 4(9): 9391-9400.

## ОСОБЛИВОСТІ ЕФЕКТУ П'ЄЗООПОРУ В ДЕФОРМОВАНОМУ n-Ge ДЛЯ ВИПАДКУ X//J//[110]

Ящинський Л.В.<sup>1</sup>, Коваль Ю.В.<sup>1</sup>, Захарчук Д.А.<sup>1</sup>, Панасюк Л.І.<sup>1</sup>, Федосов С.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Луцький національний технічний університет, e-mail: [y.koval@lntu.edu.ua](mailto:y.koval@lntu.edu.ua)

<sup>2</sup>Волинський національний університет імені Лесі Українки, e-mail:

[fedosov.serhiy@eenu.edu.ua](mailto:fedosov.serhiy@eenu.edu.ua)

При дослідженні п'єзоопору для кристалів n-Ge ( $n_e=9,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ) у випадку X//J//[110] було виявлено вплив одновісної пружної деформації на розсіювання носіїв заряду, що приводить залежність питомого опору від температури до вигляду, характерного для акустичного розсіювання.

В свою чергу, враховуючи, що компоненти тензора часу релаксації мають вигляд:

$$\tau_{\parallel} = \frac{\tau_0}{S_0}, \quad \tau_{\perp} = \frac{\tau_0}{S_1}, \quad (1)$$

де

$$\tau_0 = \frac{\pi C h^4}{kT \Xi_d^2 \sqrt{2m_{\perp}^2 m_{\parallel} \varepsilon}}, \quad (2)$$

$$S_0 = 1 + 1,88 \cdot \frac{\Xi_u}{\Xi_d} + 1,03 \cdot \left( \frac{\Xi_u}{\Xi_d} \right)^2, \quad S_1 = 1 + 1,24 \cdot \frac{\Xi_u}{\Xi_d} + 0,87 \cdot \left( \frac{\Xi_u}{\Xi_d} \right)^2 \quad (3)$$

$C=1,592 \cdot 10^{12} \text{ дин/см}^2$  – константа, що відіграє роль пружної постійної.

Рухливість електронів, відповідно, обчислюється за формулою:

$$\mu = \frac{e}{3m_{\parallel}} \left( \langle \tau_{\parallel} \rangle + 2 \frac{m_{\parallel}}{m_{\perp}} \langle \tau_{\perp} \rangle \right). \quad (4)$$

При підстановці  $\Xi_u=16,5 \text{ eV}$  і  $\Xi_d=6,25 \text{ eV}$  та вищеописаних констант в (4) було одержано вираз для рухливості n-Ge у вигляді:

$$\mu = \frac{2,87 \cdot 10^7}{T^{3/2}}, \text{ см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с}). \quad (5)$$

Логарифмуючи вираз (5), одержимо:

$$\lg \mu \sim -\frac{3}{2} \lg T \quad (6)$$

або інакше

$$\frac{\lg \mu}{\lg T} \sim -\frac{3}{2}. \quad (7)$$

Тому, представивши експериментальні результати у вигляді залежності в координатах  $\lg \mu$  і  $\lg T$ , можна спостерігати поведінку рухливості у вище згаданих кристалах з ростом температури.

Враховуючи, що у випадку наших досліджень, легуючою домішкою була Sb, то, відповідно, рівень, створений нею, є мілким і навіть при найнижчих (з досліджуваної області) температурах в кристалі n-Ge є повністю іонізованим. А тому природно було ототожнити температурні зміни рухливості з температурними змінами питомого опору.

З рисунка 1 видно, що пряма 1, яка відповідає залежності питомого опору від температури для недеформованого кристалу, має нахил, який відповідає степеневому закону зміни питомого опору  $\rho \sim T^{1,66}$ , що тотожно  $\mu \sim T^{-1,66}$  (пунктирна лінія відповідає залежності  $\rho \sim T^{1,5}$ ).

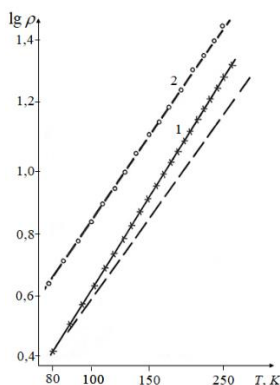


Рис. 1. Залежності  $\rho=\rho(T)$  для n-Ge в подвійному логарифмічному масштабі;  
 1 –  $X=0$ ; 2 –  $X//J//[110]$  при  $X=12000 \text{ κΓ/см}^2$ .

В свою чергу, для пружно деформованого кристалу n-Ge при  $X=12000 \text{ κΓ/см}^2$  одержано пряму 2 (рис. 1), нахил якої в координатах  $\lg \rho$  і  $\lg T$  дає залежність зміни питомого опору  $\rho \sim T^{1.5}$  (для  $X//J//[110]$ ), що відповідає зміні  $\mu \sim T^{-1.5}$ . А отже, дані, представлені на рис. 1, переконують в тому, що одновісна пружна деформація при  $X//J//[110]$  в n-Ge усуває додаткові механізми розсіювання і приводить залежність питомого опору кристалу від температури до важливої характеристики акустичного розсіювання  $\rho \sim T^{1.5}$  замість  $\rho \sim T^{1.66}$  в недеформованих кристалах.

В той же час, підвищення температури, при якій проводилися дослідження, повинно призвести до пониження області насичення залежностей  $\rho_x/\rho_0=f(X)$  при значеннях  $X \rightarrow X_\infty$ , що забезпечували повне міжмінімумне переселення носіїв струму, викликане одновісною пружною деформацією. Це і спостерігається з даних рисунка 2.

Зростання значень  $X_\infty$  (які забезпечують вихід залежностей  $\rho_x/\rho_0=f(X)$  на насичення) з ростом температури для звичайного механізму п'єзоопору, зв'язаного з міжмінімумним перерозподілом носіїв заряду, є повністю природним і добре прослідковується і в нашому випадку (рис. 2). Це свідчить на користь незмінності механізму міжмінімумного перерозподілу носіїв заряду при одночасному впливі на п'єзоопір також і інших механізмів розсіювання.

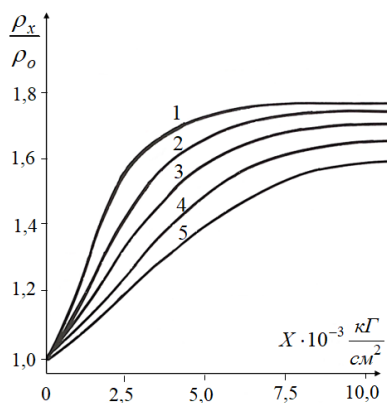


Рис. 2. Залежності  $\rho_x/\rho_0=f(X)$  для n-Ge;  
 T, K: 1 – 78, 2 – 120, 3 – 140, 4 – 155, 5 – 205.

Необхідно також відмітити, що хоча ефект “температурного зсуву” граничних значень  $\rho_\infty/\rho_0$  і невеликий (за абсолютною величиною в області температур 78 – 250 K він складає біля 11%), але дозволяє правильно оцінити вклад у формування в n-Ge тих механізмів розсіювання, які великою мірою впливають на відхід температурної залежності рухливості носіїв заряду в n-Ge від очікуваного ( $\sim T^{-1.5}$ ) для умов чисто акустичного розсіювання.

## SOME PROBLEMS OF THE CREATION UNIVERSAL THEORY OF COMPUTER SCIENCE

**Trokhimchuck Petro, Borovsky Bohdan**

*Lesya Ukrainka Volyn national university, Voly av. 13, Lutsk, Ukraine, 43025*

*\*e-mail: [Trokhimchuck.Petro@vnu.ua](mailto:Trokhimchuck.Petro@vnu.ua); [trope1650@gmail.com](mailto:trope1650@gmail.com)*

*\*\*e-mail: [bodia.borovsky@gmail.com](mailto:bodia.borovsky@gmail.com)*

*Short questions of the creation universal theory of computer science is analysed. Necessity of creation united theory, which could be represent this science, is formulated. Necessary of creation this concept is discussed. Short historical analysis of this problem and main rules for the creation this theory are represented. Perspective of using of this method in other area of modern applied physics is discussed too.*

### **Main results and discussions**

Main applications of this concept in modern science are discussed and analyzed in [1-10].

One of the main tasks of the Computer Science is the formalization of the thesis of the Canadian philosopher Lur Hall "Everything that comes from the head is reasonable", which is put in basis of modern computer science according by A. Ershov [8].

According to modern representations [1, 5, 8, 9, 10], computer science is a theoretical and applied (technical, technological) discipline that studies the structure and general properties of information, as well as methods and means of its creation (including technical), transformation, storage, transfer and use in various fields of human activity. In general, polymetric analysis is a mathematical basis of knowledge and one of its main applications is the convergence of the exact and humanitarian branches of knowledge and bringing them into one system. With the development of modern computer science, one should not wait for some kind of system optimization of the methods being created. An important role in the development of computer science played and still plays mathematical logic, matrix analysis and number theory. When the first one is used mainly for theoretical substantiation of certain computer theories or approaches and in programming, the last two sections are used in the processors, which is today the basis of real computer. However, it should be noted that in the computer sciences arose a number of unresolved problems that should be solved for faster progress of both computer science and computer technology.

Computer science may be representing as part or further development of Cybernetics. Cybernetics studies the concepts of control and communication in living organisms, machines and organizations including self-organization [9]. It focuses on how a (digital, mechanical or biological) system processes information, responds to it and changes or being changing for better functioning (including control and communication).

Cybernetics is an interdisciplinary science [3]. It including the mathematics, logic, semiotics, physiology, biology and sociology. Among its inherent features, we mention analysis and revelation of general principles and approaches in scientific cognition. Control theory, communication theory, operations research and others represent most weighty theories within cybernetics [9].

According to [3] cybernetics is synthesis of many sciences (mathematics, physics, biology, psychology and other.

Therefore, Computer science may be represented as synthetic theory too [7]. This theory must satisfy the following criteria [2, 7, 8]:

1. It must be open theory or theory with variable hierarchy.
2. This theory must be having minimal number of principles.
3. It must base on nature of mathematics (analysis, synthesis and formalization all possible knowledge).
4. We must create sign structure, which unite verbal and nonverbal knowledge (mathematical and other) in one system.
5. We must have system, which is expert system of existing system of knowledge and may be use for the creation new systems of knowledge.
6. Principle of continuity must be true for all science.

These conditions must be used for the creation any dynamic science.

A typical representative of this theory is polymetric analysis – theory of variable measure and systems with variable hierarchy. The main elements of this theory are functional numbers (generalized quadratic forms); generalized mathematical transformations (15 minimum types); information lattices; theory of information calculations; polymetric theory of measures and measurements and theory of hybrid systems.

The theory of informational computations made it possible to combine analog and numerical calculations into a single system. Its main principle of optimal (minimum) computation is the generalization of the principle of least action and the entropy laws of physics and information theory into a single "dimensionless" principle, owing to the de Broglie ratio from the thermodynamics of a point [8].

The hybrid theory of systems made it possible to combine all fields of knowledge, including verbal and non-verbal, and to classify them by complexity. The basis of complexity is the concept of completeness and the parameter of connectivity of the elements of the information construct [2, 7, 8]. It was shown that only 10 minimal types of hybrid systems (systems of formalization the knowledge) are existed, but number these systems may be however large [2, 7, 8]. Thus Polymetric Analysis may be represent as natural concept of foundations of mathematics (mathematics is précised knowledge[1]) [7]; variant of resolution S. Beer centurial problem in Cybernetics (problem of information complexity) [2] and variant of foundations of Computer Science (realization of A. Ershov idea([2]).

- [1] V. I. Arnold. *What is mathematics?* Moscow: MTNMO, 2002. (In Russian)
- [2] V. P. Dorofeev, P. P. Trokhimchuck. *Computer Sciences and Synthesis: Retrospective and Perspective*. In: *Advanced in computer science*, vol. 13, ch. 1, pp. 1-32, Ed. Mukesh Singla. New Delhi, AkiNik Publications, 2022.
- [3] F. H. George. *Philosophical Foundations of Cybernetics*. London: Abacus Press, 1979.
- [4] A. I. Kuhtenko. *Cybernetics and Fundamental Science*. Kyiv: Naukova Dumka, 1987. (In Russian)
- [5] N. N. Nepeyvoda. *Applied logic*. Novosibirsk: University Press, 2001. (In Russian)
- [6] I. Ruzha. *Foundations of mathematics*. Kyiv: Vyshcha shkola, 1981. (In Russian)
- [7] P. P. Trokhimchuck. *Foundations of Mathematics: Retrospective and Perspective*. In: *Recent Research Trends in Mathematics*. Ed. R. Mehta, M. N. Sharma, vol. 3, ch.3. pp. 41-71. New Dehly: Integrated Publications, 2023.
- [8] P. P. Trokhimchuck. *Theories of Everything: Past, Present, Future*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2021.
- [9] N. Wiener. *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge: MIT Press, 1985.
- [10] S. Wolfram. *Metamathematics: Foundations & Physicalization*. Leipzig: Wolfram Media, 2022.

## ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСФОРМЕРІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ПЛОСКИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

Благітко Богдан Ярославович, Миронюк Дмитро Мирославович

Львівський національний університет імені Івана Франка

[blagitko@gmail.com](mailto:blagitko@gmail.com) , [myronyukdmytro@gmail.com](mailto:myronyukdmytro@gmail.com)

### Вступ.

Однією із основних задач комп'ютерних технологій є пошук та виділення об'єктів на зображенні. Домінуючими тут виступають підходи, які базуються на основі двоетапного методу: спочатку відбувається виділення основних властивостей зображення, що є основою для подальшої роботи. Другим етапом є регресійний, який у свою чергу відповідає за класифікацію виділених властивостей зображення та виділення відповідної зони. Перевагами такого типу архітектур є їх точність на об'єктах різних розмірів, достатня стійкість системи та хороша швидкість, яка, однак, є недостатньою для сучасних систем детектування. Особливо цей недолік проявляється під час використання у системах на основі мобільних та менш потужних пристроях. Такі архітектури нейронних мереж не дають змогу реалізувати виявлення об'єктів з достатньою швидкістю, що впливає на загальну швидкість алгоритмів. Приклади таких архітектур, як Fast-RCNN та Faster-RCNN, наведені в [1].

Удосконаленням систем виявлення об'єктів можна вважати одноетапні системи на основі алгоритму детектування YOLO [2], які останніми роками стали швидким та досить точним рішенням для роботи на менш потужних платформах. На відміну від двоетапних систем, цей алгоритм використовує зонування зображень за один прохід (шляхом поділу на квадрати та роботою з ними окремо). Визначення об'єкта на зону проводиться оцінкою відстані від центра кожного квадрата до зони об'єкта (якоря, який накладається на ціле зображення). Таким чином проводиться вибірка та оцінка найкращих зон для знаходжень об'єктів. Станом на 2022 рік архітектура YOLOv4 [2] пережила 7 поколінь покращень і є однією із основних для детектування об'єктів на мобільних платформах.

Наступним логічним кроком була спроба використання архітектур - трансформерів, які дуже добре себе проявили як основний інструмент сучасної обробки тексту. Один із таких підходів — часткові трансформери, які у своїй суті є дворівневими мережами, де на першому рівні виокремлюються необхідні властивості зображень, а на наступному етапі розбиваються на зони та кодуються за допомогою мережі - кодувача. Для визначення об'єкта кодоване зображення пропускається через мережу — розкодовувач як виконання зворотної дії. Прикладом такої мережі є DETR (DEtection TRansformer) від Facebook AI research [3,4].

### Принцип роботи мережі — трансформера для виявлення об'єктів.

Підхід DETR, який використаний для дослідження у цій роботі, можна розділити на такі блоки:

1. Виокремлення карт властивостей (Backbone). Початковим етапом обробки є звична для багатьох схем згортова нейронна мережа, що перетворює вхідне зображення на карти властивостей з набагато меншою кількістю інформації.

2. Кодувач мережі — трансформера. На початковому етапі відбувається перемноження зі згорткою  $1 \times 1$  для зменшення кольорової розмірності мап та подальше згортання до одноканальної схеми. Це потрібно для синхронізації входу з кодувачем, який очікує послідовність як вхідні дані. Кожен рівень кодера має стандартну архітектуру і складається з модуля самоконтролю з кількома головками та мережі прямого зв'язку (FFN). Оскільки архітектура трансформера є інваріантною до перестановок, то вона доповнюється її фіксованими позиційними кодуваннями, які додаються до вхідних даних кожного рівня.
3. Декодувач мережі — трансформера. Декодер дотримується стандартної архітектури трансформера, перетворюючи  $N$  вбудовувань розміру  $d$  за допомогою багатоголових механізмів звернення до кодер-декодер. Модель декодує  $N$  об'єктів паралельно на кожному рівні декодера.
4. Повнозв'язна мережа для прогнозу класу та розміщення. Остаточний прогноз обчислюється за допомогою 3-шарового перцептрона з функцією активації ReLU та прихованим розміром  $d$ , а також шару лінійної проекції. Повнозв'язна мережа прогнозує нормалізовані координати центру, висоту та ширину кожного з  $N$  обмежувальних прямокутників вхідного зображення.
5. Лінійний шар прогнозує мітку класу за допомогою функції softmax. Оскільки ми передбачаємо набір фіксованого розміру з  $N$  обмежувальних прямокутників, де  $N$  зазвичай набагато більше, ніж фактична кількість цікавих об'єктів на зображенні, використовується додаткова спеціальна мітка класу  $\emptyset$ , щоб показати, що жоден об'єкт не виявлено. У класичних згорткових архітектурах такий клас позначається як «фон».

#### **Навчання моделі трансформера. Дані для навчання та параметри процесу.**

Техніка виявлення об'єктів на основі глибокого навчання має багато застосувань у повсякденному житті [5]. Для навчання моделі нейронної мережі було використано власний набір даних, що містить 300 зображень 4 категорій, які були натреновані для розпізнавання об'єктів. Загальні характеристики набору наведено у таблиці 1.

Характеристики навчального набору даних. **Таблиця 1.**

№	Характеристика	Значення
1	Кількість навчальних зображень	300 + 30 (тренувальний та валідаційний набір даних)
2	Кількість класів	4
3	Аугментація	так (повороти, афінні перетворення, масштабування)
4	Розмір	224x224 RGB

Для навчання використовувались стандартні попередньо натреновані моделі на наборі даних “Математичне та комп'ютерне моделювання ImageNet” із пакету стандартних моделей, що поставляються командою FAIR разом із сирцевим кодом підходу DETR для програмного каркасу Pytorch. При тестуванні також було використано фотографії валідаційного набору даних. Виконання навчання було проведене за допомогою багатоцільової платформи для машинного навчання Anaconda на основі мови Python.

**Результати навчання.**

В результаті роботи реалізованої мережі — трансформера було виявлено 59% об'єктів на плоских зображеннях у вигляді фотографій 250\*250 пікселів.

**Висновок.**

Результати тестування навчених моделей є задовільними, хоч і далекими від розпізнавання у реальному часі.

***Список літератури***

1. Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, and Jian Sun. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. arXiv: 2016.1506.01497v3 [cs.CV] 6 Jan 2016. P. 1-14. URL: [https:// arXiv.org/pdf/1506.01497.pdf](https://arXiv.org/pdf/1506.01497.pdf).
2. Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy, Hong-Yuan Mark Liao. ScaledYOLOv4: Scaling Cross Stage Partial Network. arXiv: 2011.08036v2 [cs.CV] 22 Feb 2021. P. 1-10. URL: [https:// arXiv.org/pdf/2011.08036.pdf](https://arXiv.org/pdf/2011.08036.pdf).
3. Carion N., Massa F., Synnaeve G., Usunier N., Kirillov A., Zagoruyko S. Endto-End Object Detection with Transformers. arXiv: 2005.12872v3 [cs.CV] 28 May 2020. P. 1-26. URL: [https:// arXiv.org/pdf/2005.12872.pdf](https://arXiv.org/pdf/2005.12872.pdf).
4. DETR: End-to-End Object Detection with Transformers. URL: <https://github.com/facebookresearch/detr>
5. Goodfellow I., Bengio Yo., Courville A. Deep Learning. A MIT Press Book. MIT Press. 2016. 716 p.



## Аналітичність і інші властивості функціоналів

$$I(f, p) = \int_A |f(t)|^p dt, \text{ як функцій змінної } p.$$

**Бушев Д.М.**

Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк

*bushev-d@ukr.net*

Встановлено, що для кожної функції  $f(t)$  нерівної нулю, майже скрізь на вимірній за Лебегом множині функціонали  $I(f, z) = \int_A |f(t)|^z dt$ , як функції комплексної змінної  $z = p + iy$  – неперервні на області визначення і аналітичні на множині всіх внутрішніх точок цієї області. Функції  $I(f, p)$ , як функції дійсної змінної  $p$ , строго опуклі донизу, логарифмічно опуклі на області визначення. Ці властивості необхідні для встановлення аналогічних тверджень для функціоналів  $n(f, p) = \left( \frac{1}{\mu(A)} \int_A |f(t)|^p dt \right)^{\frac{1}{p}}$ , які використовуються в багатьох розділах математики і не тільки в математиці. Ці чудові властивості функції  $n(f, p)$  дадуть можливість встановити для функцій і класів функцій з простору  $L_{q(A)}$ ,  $0 < q \leq \infty$  неперервність і не спадання основних апроксимаційних характеристик на сегменті  $[0, q]$  і в деяких випадках їх аналітичність, і уникнути використання примітивного табличного методу оцінки цих характеристик.

Доведені допоміжні твердження про аналітичність інтегралів залежних від параметра, які можуть мати і самостійний інтерес.

**Лема 1. (про аналітичність інтегралів залежних від параметра).**

Нехай функція  $g(z, t)$  двох комплексних змінних  $z$  і  $t$  майже при всіх значеннях  $t$ , які належать спрямлювальній кривій  $\overline{AB}$ , аналітична по змінній  $z$  в області  $G$  і інтеграл від модуля функції  $g(z, t)$  по кривій  $\overline{AB}$  обмежений на довільній простій спрямлювальній замкненій кривій  $\gamma$ , яка міститься в  $G$ , тобто

$$\sup_{u \in \gamma} \int_{\overline{AB}} |g(u, t)| dt \leq M_\gamma.$$

Тоді інтеграл  $\int_{\overline{AB}} g(z, t) dt = F(z)$ , залежний від параметра  $z$  є аналітичною функцією в області  $G$  і в кожній точці  $z \in G$ , для кожного натурального  $n$  похідна  $n$ -го порядку від інтеграла дорівнює інтегралу по кривій  $\overline{AB}$  від похідної  $n$ -го порядку по змінній  $z$  підінтегральної функції  $g(z, t)$ , тобто

$$(\forall n \in \mathbb{N}) \wedge (\forall z \in G) \implies (F^{(n)}(z) = \int_{\overline{AB}} g_{z^n}^{(n)}(z, t) dt).$$

**Наслідок. (про аналітичність інтеграла залежного від параметра)**

Нехай функція  $g(z, t)$  від комплексної змінної  $z$  і від дійсної змінної  $t$  майже при всіх значеннях  $t$ , що належать вимірній за Лебегом множині  $A$  аналітична по змінній  $z$  в області  $G$  і інтеграл від модуля функції по множині  $A$  обмежений на довільній замкненій обмеженій множині  $F \subset G$ , тобто

$$\sup_{u \in F} \int_A |g(z, t)| dt \leq M_F.$$

Тоді інтеграл залежний від параметра  $z$   $\Phi(z) = \int_A g(z, t) dt$

є аналітичною функцією в області  $G$  і для кожного  $n \in \mathbb{N}$  і кожного  $z \in G$  справедлива рівність  $\Phi^{(n)}(z) = \int_A g_{z^n}^{(n)}(z, t) dt$ .

1. D. M. BUSHEV AND I. V. KAL'CHUK. Methods of Functional Analysis and Topology Vol. 25 (2019), no. 4, pp. 339–359

«Analyticity and other properties of functional  $I(f, p) = \int_A |f(t)|^p dt$  AND  $n(f, p) = \left(\frac{1}{\mu(A)} \int_A |f(t)|^p dt\right)^{\frac{1}{p}}$ , as functions of variable  $p$ ».

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН $HS^*$ -ГІСТОГРАМ КОЛЬОРУ ПРИ МАСШТАБУВАННІ ТА ОБЕРТАННІ ЗОБРАЖЕНЬ

Вельгош С.Р., Вельгош А.С., Фургала Ю.М.

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна, e-mail: serhiy.velhosh@lnu.edu.ua

Виявлення об'єктів на зображеннях здійснюється за сукупністю їх ознак, характер яких може бути самим різним. Ці особливості зазвичай поділяються на три рівні: нижній, який включає колір і текстуру, середній, що аналізує контури і обриси та верхній, де розглядаються семантичні та статистичні характеристики [1–3]. Існують також методи, засновані на аналізі гістограм інтенсивності окремих об'єктів, як в монохромному, так і в кольоровому представленні. У цифровій обробці зображень найчастіше використовують гістограми кольору у системі  $RGB$ . Однак найбільш близькими до спектрального представлення кольору є системи  $HSL$ ,  $HSV$  і  $HSI$  (загальне позначення  $HS^*$ ), які здійснюють опис кольору у циліндричній системі координат, де колір є кутовою координатою.

Проаналізовано можливість використання гістограм кольору, створених у просторі кольорів  $HS^*$ , для задач ідентифікації об'єктів на зображенні. Дослідження проводилися для графічних форматів  $*.bmp$  та  $*.jpg$ . Аналіз гістограм здійснювався шляхом їх порівняння на основі розрахунку коефіцієнта взаємної кореляції  $R$ . Дослідження проводилися для стандартних зразків набору даних *Caltech 101 Dataset* [4], а також для набору власних тестових зображень.

У задачах розпізнавання розмір об'єктів на зображенні часто відрізняється від розміру шаблону. Тому ми спробували оцінити межі використання  $H$ -гістограм для порівняння зображень із широкими варіаціями їх розмірів. Дослідження зміни коефіцієнта взаємної кореляції  $R$  при зменшенні розміру зображення в  $2^n$  разів ( $n = 1 \dots 9$ ) показують, що використання  $H$ -гістограм дозволяє успішно розпізнавати зображення за кольоровими ознаками при зменшенні його розміру до 128 разів.

Також досліджено залежність коефіцієнта взаємної кореляції  $H$ -гістограм при обертанні тестових зображень. Кут повороту змінювався від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Незначне відхилення  $R$ -коефіцієнта від одиниці для більшості досліджуваних зразків дозволяє припустити можливість використання запропонованого методу не тільки для порівняння стиснутих зображень, але й повернутих.

Результати дослідження показують можливість використання  $H$ -гістограми для порівняння кольорових зображень і подальшого розпізнавання їх фрагментів під впливом факторів, що погіршують якість зображення, що дозволяє використовувати цей підхід у системах пошуку зображень на основі вмісту (*CBIR - Content Based Image Retrieval*).

В подальшому планується побудова дескриптора аналізу кольорових зображень на основі  $H$ -гістограми, який інваріантний до масштабування та обертання.

1. Burger W. Principles of Digital image processing: Core Algorithms / [W. Burger, M. J. Burge]. - Springer, 2009. – 341 p.
2. Bakker E. Semantic video retrieval using audio analysis / E. Bakker, M. Lew // International Conference on Image and Video Retrieval. Lecture Notes in Computer Science. – 2002. – Springer. - Vol. 2383. - P. 260–267.
3. Русин Б. П. Системи синтезу, обробки та розпізнавання складно-структурованих зображень / [Б. П. Русин]. - Л.: Вертикаль, 1997. - 264 с.
4. Fei-Fei L. Learning generative visual models from few training examples: an incremental Bayesian approach tested on 101 object categories / L. Fei-Fei, R. Fergus, P. Perona // IEEE 2004 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop.

## ОДНЕ УЗАГАЛЬНЕННЯ ТЕОРЕМИ КОШІ ДЛЯ ДИФЕРЕНЦІЙОВНИХ ФУНКЦІЙ НА ВИПАДОК КІЛЬКОХ ЗМІННИХ

Курченко Олександр Олексійович

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, oleksandr.kurchenko@knu.ua

Синявська Ольга Олександрівна

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», olga.syniavska@uzhnu.edu.ua

Класичні теореми диференціального числення Ферма, Ролля, Лагранжа, Коші [1] лежать в основі математичного аналізу функції однієї змінної і широко застосовуються при доведенні різноманітних тверджень, розв'язуванні прикладів. У даній роботі наведені узагальнення деяких таких теорем, зокрема теорем Ролля, Лагранжа, Коші на випадок диференційовних функцій кількох змінних. Раніше два узагальнення теореми Коші для диференційовних функцій однієї змінної були опубліковані у статті [2]. Дослідження щодо узагальнення теорем Лагранжа та Коші для диференційовних функцій кількох змінних також проводилось у роботах [3-5].

Нехай  $t = (t_1, t_2, \dots, t_m) \in \mathbb{R}^m$ ,  $h = (h_1, h_2, \dots, h_m)$ ,  $h_i > 0, 1 \leq i \leq m$ ;  $\Pi = [t_1, t_1 + h_1] \times [t_2, t_2 + h_2] \times \dots \times [t_m, t_m + h_m]$  –  $m$ -вимірний паралелепіпед у евклідовому просторі  $\mathbb{R}^m$ ;  $f: \Pi \rightarrow \mathbb{R}$  – дійсна функція  $m$  дійсних змінних. Нехай, далі,  $s = (s_1, s_2, \dots, s_m) \in \Pi$ ,  $d_i > 0, 1 \leq i \leq m$  і надамо змінній  $s_j$  приросту  $d_j$  так, що  $s_j + d_j \in [t_j, t_j + h_j]$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ .

**Означення 1.** Нехай  $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ . Приростом функції  $f$ , що відповідає приросту  $d_j$  змінної  $s_j$ , у точці  $s$  називається величина

$$\Delta_{d_j}^{(j)} f(s) = f(s_1, \dots, s_{j-1}, s_j + d_j, s_{j+1}, \dots, s_m) - f(s_1, \dots, s_{j-1}, s_j, s_{j+1}, \dots, s_m).$$

**Означення 2.** Повним приростом ( $m$ -приростом) функції  $f$  на  $m$ -вимірному паралелепіпеді  $\Pi = [t_1, t_1 + h_1] \times [t_2, t_2 + h_2] \times \dots \times [t_m, t_m + h_m]$  називається величина

$$\Delta_{\Pi} f = \Delta_{h_m}^{(m)} \Delta_{h_{m-1}}^{(m-1)} \dots \Delta_{h_1}^{(1)} f(t_1, t_2, \dots, t_m).$$

Нехай  $\Pi = [a_1, b_1] \times [a_2, b_2] \times \dots \times [a_m, b_m]$  – паралелепіпед у  $m$ -вимірному просторі  $\mathbb{R}^m$ , функція  $f: \Pi \rightarrow \mathbb{R}$ . Покладемо  $t_i = a_i$ ,  $h_i = b_i - a_i$ ,  $1 \leq i \leq m$ . Тоді паралелепіпед  $\Pi = [t_1, t_1 + h_1] \times [t_2, t_2 + h_2] \times \dots \times [t_m, t_m + h_m]$ , а повний приріст функції  $f$  на  $\Pi$  має вигляд  $\Delta_{\Pi} f = \Delta_{h_m}^{(m)} \dots \Delta_{h_1}^{(1)} f(t_1, t_2, \dots, t_m)$ .

**Теорема 1.** Нехай  $\Pi = [a_1, b_1] \times [a_2, b_2] \times \dots \times [a_m, b_m]$  – паралелепіпед у  $m$ -вимірному просторі  $\mathbb{R}^m$ , функції  $f, g: \Pi \rightarrow \mathbb{R}$  задовольняють умови:

1)  $f, g \in C^{(m)}(\Pi)$ ;

2)  $\forall x = (x_1, x_2, \dots, x_m) \in \Pi: \frac{\partial^m g(x_1, x_2, \dots, x_m)}{\partial x_1 \partial x_2 \dots \partial x_m} \neq 0$ .

Тоді існує така точка  $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_m) \in \Pi$ , що

$$\frac{\Delta_{\Pi} f}{\Delta_{\Pi} g} = \frac{\frac{\partial^m f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m)}{\partial x_1 \partial x_2 \dots \partial x_m}}{\frac{\partial^m g(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m)}{\partial x_1 \partial x_2 \dots \partial x_m}}.$$

Нехай  $a > 0$ ,  $m$ -вимірний паралелепіпед  $\Pi = [0, a]^m$ ;  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m) \in (0, a]^m$ ,  $m$ -вимірний паралелепіпед  $\Pi_x = [0, x_1] \times \dots \times [0, x_m]$ ; функції  $f, g: \Pi \rightarrow \mathbb{R}$ .

**Теорема 2.** Нехай функції  $f, g: \Pi \rightarrow \mathbb{R}$  задовольняють умови:

1)  $f, g \in C^{(m)}(\Pi)$ ;

2)  $\forall x = (x_1, x_2, \dots, x_m) \in \Pi: \frac{\partial^m g(x_1, x_2, \dots, x_m)}{\partial x_1 \partial x_2 \dots \partial x_m} \neq 0$ ;

3) існує  $m$ -кратна границя

$$\lim_{x_1 \rightarrow 0+, \dots, x_m \rightarrow 0+} \frac{\frac{\partial^m f(x_1, \dots, x_m)}{\partial x_1 \dots \partial x_m}}{\frac{\partial^m g(x_1, \dots, x_m)}{\partial x_1 \dots \partial x_m}} = p \in \mathbb{R} \cup \{-\infty, +\infty\}.$$

Тоді існує  $m$ -кратна границя  $\lim_{x_1 \rightarrow 0+, \dots, x_m \rightarrow 0+} \frac{\Delta_{\Pi_x} f}{\Delta_{\Pi_x} g} = p$ .

**Приклад 1.** Знайти подвійну границю

$$\lim_{x \rightarrow 0+, y \rightarrow 0+} \frac{\cos(x+y) - \cos x - \cos y + 1}{\cosh x + \cosh y - \cosh(x+y) - 1}, \text{ де } \cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}, x \in \mathbb{R}.$$

Розв'язання. Розглянемо функції  $f(s, t) = \cos(s + t)$ ,  $g(s, t) = -\cosh(s + t)$ ,  $s, t \in [0, 1]$  і покладемо  $\Pi_{xy} = [0, x] \times [0, y]$ ,  $x, y \in (0, 1]$ . Маємо:

$$\Delta_{\Pi_{xy}} f = \cos(x + y) - \cos x - \cos y + 1; \Delta_{\Pi_{xy}} g = \cosh x + \cosh y - \cosh(x + y) - 1;$$

$$\forall x, y \in [0, 1]: \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x \partial y} = -\cos(x + y), \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x \partial y} = -\cosh(x + y) \neq 0,$$

$$\lim_{x \rightarrow 0+, y \rightarrow 0+} \frac{\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x \partial y}}{\frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x \partial y}} = \lim_{x \rightarrow 0+, y \rightarrow 0+} \frac{-\cos(x + y)}{-\cosh(x + y)} = 1.$$

**Приклад 2.** Знайти потрійну границю

$$\lim_{x \rightarrow 0+, y \rightarrow 0+, z \rightarrow 0+} \frac{\sin(x + y + z) - \sin(x + y) - \sin(x + z) - \sin(y + z) + \sin x + \sin y + \sin z}{e^{x+y+z} - e^{x+y} - e^{x+z} - e^{y+z} + e^x + e^y + e^z - 1}.$$

Розв'язання. Розглянемо функції  $f(s, t, u) = \sin(s + t + u)$ ,  $g(s, t, u) = e^{s+t+u}$ ,  $s, t, u \in [0, 1]$  і покладемо  $\Pi_{xyz} = [0, x] \times [0, y] \times [0, z]$ ,  $x, y, z \in (0, 1)$ . Маємо:

$$\Delta_{\Pi_{xyz}} f = \sin(x + y + z) - \sin(x + y) - \sin(x + z) - \sin(y + z) + \sin x + \sin y + \sin z;$$

$$\Delta_{\Pi_{xyz}} g = e^{x+y+z} - e^{x+y} - e^{x+z} - e^{y+z} + e^x + e^y + e^z - 1, x, y, z \in (0, 1);$$

$$\forall x, y, z \in [0, 1]: \frac{\partial^3 g(x, y, z)}{\partial x \partial y \partial z} = e^{x+y+z} \neq 0.$$

$$\lim_{x \rightarrow 0+, y \rightarrow 0+, z \rightarrow 0+} \frac{\frac{\partial^3 f(x, y, z)}{\partial x \partial y \partial z}}{\frac{\partial^3 g(x, y, z)}{\partial x \partial y \partial z}} = \lim_{x \rightarrow 0+, y \rightarrow 0+, z \rightarrow 0+} \frac{-\cos(x + y + z)}{e^{x+y+z}} = -1.$$

1. Дороговцев А. Я. Математичний аналіз: підручник. У двох частинах. Частина 1. Київ : Либідь, 1993. 320 с.
2. Курченко О. О., Рабець К. В. Два узагальнення теореми Коші для диференційованих функцій у курсі математичного аналізу. *Науковий часопис національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова. Серія 3: Фізика і математика у вищій і середній школі.* 2009. Вип. 5. С. 104–114.
3. Abian A. Generalizing the Generalized Mean-Value Theorem. *The American Mathematical Monthly.* 1981. Volume 88, No. 7. P. 528–530. <https://doi.org/10.2307/2321759>
4. Bailey D.F., Fix G.J. A generalization of the mean value theorem. *Applied Mathematics Letters.* 1988. Volume 1, Issue 4. P. 327–330. [https://doi.org/10.1016/0893-9659\(88\)90143-7](https://doi.org/10.1016/0893-9659(88)90143-7).
5. Matkowski J. Generalizations of lagrange and cauchy mean-value theorems. *Demonstratio Mathematica.* 2010. Volume 43, No. 4. P. 765–774. <https://doi.org/10.1515/dema-2010-0405>

## ОДИН МЕХАНІЗМ СТОХАСТИЧНОСТІ В ТЕЧІЯХ СЕРЕДОВИЩ З ПАМ'ЯТТЮ

Макаренко Олександр Сергійович

Інститут прикладного системного аналізу НТУУ ім. І. Сикорського

[makalex51@gmail.com](mailto:makalex51@gmail.com)

Питання дослідження турбулентних явищ мають багато аспектів, досягнень та застосувань [1, 2]. Незважаючи на всі досягнення, ще залишаються не до кінця вирішеними деякі принципи питання. Одне з них це механізм виникнення турбулентної поведінки. Звичайно базовими при цьому приймаються система рівнянь Нав'є – Стокса (для гідродинамічної турбулентності). Рівняння Нав'є – Стокса є рівняннями параболічного типу (дисипативної природи). Але такі рівняння не допускають потік енергії від великомасштабних структур до менших структур. При цьому допускається зворотній процес – від малих до великих масштабів. Насправді турбулентні течії є дуже нерівноважними і відповідно потребують більш адекватно опису, ніж рівняння Нав'є – Стокса. Такі рівняння (гіперболічне рівняння теплопровідності та гіперболічна модифікація рівнянь Нав'є – Стокса) описані, наприклад, в [3, 4]. Там наведена велика кількість розгляду конкретних задач.

Одна важлива особливість, що була знайдена при цьому є певна порогова поведінка.

Основною відмінністю таких рівнянь є наявність оператора другого порядку, що визначає тип рівнянь з певною обмеженою швидкістю поширення збурень. Зауважимо, що такі рівняння відповідають в'язко-пружній поведінці середовищ. Також це відповідає врахуванню ефектів пам'яті (релаксації) в потоці медіа. Раніше було показано (див. [3, 4]), що при швидкості потоку  $U_{flow}$ , вищій за швидкість поширення збурення  $V_{perturb}$ , визначену гіперболічним оператором другого порядку, виникають складні коливальні розв'язки, яких не мають класичні параболічні рівняння Нав'є – Стокса. Можна припустити, що саме така поведінка розв'язків при умовах в зонах течії, що при швидкості течії більше швидкості поширення збурення, є джерелом ускладнення розв'язків при збільшенні швидкості течії. І цей процес є одним із можливих механізмів турбулентності. Зазначимо, що ускладнення розв'язків такого типу можна розглядати як аналог випромінювання Вавилова-Черенкова при високих швидкостях руху елементарних частинок у суцільних середовищах. Також в [3, 4] описані приклади розв'язків гіперболічного узагальнення рівнянь Нав'є - Стокса, коли з початково заданих початкових умов вихору вихори множаться з одночасним зменшенням їх розмірів. Тобто це описує процес передачі енергії від більшого масштабу до меншого. Такий процес спостерігається в реальній турбулентності і відсутній в класичних рівняннях Нав'є - Стокса.

Описані узагальнення гідродинаміки дозволяють підійти до розуміння деяких аспектів турбулентності, а саме, механізму виникнення турбулентної поведінки. Звісно, сучасний стан розвитку теоретичної фізики дозволяє в принципі вирішити всі проблеми турбулентності (згадаємо статистичну механіку, статистичну теорію нерівноважних систем, теорію флуктуацій). Але незважаючи на загальні адекватні принципи, потрібні постановки конкретних прикладів для дослідження турбулентності. Узагальнена гідродинаміка, згадана вище, забезпечує такі можливості. Одна з проблем є виникнення стохастичності в турбулентних процесах. Тут опишемо кілька можливостей.

1. Розглянемо спрощений приклад. Нехай маємо ламінарну течію з однаковою швидкістю течії  $U$ . Відомо, що в гідродинамічних середовищах присутні флуктуації, які мають специфічну структуру і деякий розподіл флуктуацій. Тут цікаві більш за все флуктуації швидкості. Якщо базовими рівняннями приймаються рівняння Нав'є – Стокса, то як правило ці розподіли є стаціонарні. У випадку узагальнених рівнянь ситуація дає

більше можливостей. Якщо амплітуда швидкостей (разом з флуктуаціями) менше ніж  $U$ , то поведінка потоку та ж сама, що у параболічних рівнянь Нав'є – Стокса. Але якщо середня швидкість  $U + F(x,t)$  плюс флуктуації  $F(x,t)$  більше  $V_{perturb}$ , то такі флуктуації  $F(x,t)$  починають зростати, причому збільшуються як амплітуда таких флуктуацій, так і їх частота (тобто характерна довжина осциляцій зменшуються, а їх кількість на одиницю довжини збільшується). Тоді тільки флуктуації, що задовольняють умові

$$U + F(x,t) > V_{perturb} \quad (1)$$

зростають і отримують розподіл за амплітудою та розміром. Таким чином, в течіях, що описуються розглянутою моделлю гідродинаміки існує специфічний механізм підсилення флуктуацій, який може приводити до проявів турбулентної поведінки

2. Більш складний варіант, коли характерна швидкість  $V_{perturb}(x,t)$  не є константою, а є функцією простору та часу, (або й інших параметрів), є функцією простору та в різні моменти часу, умови типу (1) можуть бути різними і, відповідно, будуть народжуватись різні розподіли ймовірностей для швидкості. В цьому випадку поле швидкостей виступає як трансформер вхідних мікрофлуктуацій.

3. Запропонований механізм також може призводити до виникнення стохастичності при не стохастичних (без флуктуацій) початкових умов. Це можливо при перевищенні порога  $V_{perturb} = const$  (а тим більше у випадку  $V_{perturb}(x,t)$ ). Тоді при  $U + F(x,t) > V_{perturb}$ , і особливо при  $U(x,t) \rightarrow infinity$  (при певних умовах) частота осциляцій на одиницю довжини зростає і при певних умовах при граничному переході може продукувати багатозначні розв'язки з випадковими властивостями. Зауважимо, що в такому випадку маємо справу з режимами з загостренням. З іншого боку в реальності в турбулентності існують обмежуючі механізми, наприклад нелокальність.

4. В принципі, на рівні узагальнених рівнянь гідродинаміки крім пам'яті та нелокальності можна враховувати ще й антиципацію (випередження). Тоді теж при певних умовах можна чекати багатозначних розв'язків і, відповідно, проявів стохастичності. Зауважимо, що багатозначність, як можливість для турбулентності запропонував ще в 30-х роках минулого сторіччя. Ж. Лере

5. Механізм, описаний тут можна також запропонувати для можливостей пояснення перемежаємості (intermittency) при переході від ламінарної до турбулентної течії. До речі, слід зауважити, що схоже на те, що поведінка систем при моделювання перемежає мості нагадує (а можливо і є) розв'язками – химерами, тобто розв'язками які певний час ведуть себе суттєво по-різному в різних частинах простору та на різних часових проміжках (наприклад ламінарні течії з вкрапленням хаотичних структур).

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbulence>

2. U. Frish Turbulence. The legacy of A.N. Kolmogorov. Cambridge University Press. 1996. 296 p.

3. A. Makarenko S. Skurativskyi V. Vladimirov Hyperbolic hydrodynamics with memory. Models and solutions. Lambert Academic Publishing, 2021. 320 p ISBN 978-620-4-19961-0

4. A. Makarenko, M. Moskalkov, S. Levkov On blow-up solutions in turbulence. Phys. Lett. A, 1997. Vol. A235, pp. 391 – 397.

## **ХИМЕРИ У ВИПАДКУ БАГАТОЗНАЧНИХ РІШЕНЬ.**

**Макаренко Олександр Сергійович**

Інститут прикладного системного аналізу НТУУ ім. І. Сикорського

[makalex51@gmail.com](mailto:makalex51@gmail.com)

Нелінійна наука вже близько ста років стрімко розвивається. Одним з нових напрямків є дослідження розв'язків-хімер, тобто розв'язків, які мають суттєво відмінну поведінку в різних областях простору або часу. Досліджено досить багато прикладів такої поведінки в різних системах. Однак у всіх прикладах з химерами розглядалися однозначні розв'язки. Можна припустити, що одним із можливих напрямків подальших досліджень у науці про химери є допущення до розгляду багатозначних розв'язків. Стаття присвячена опису деяких можливих дослідницьких постановок у цій галузі. Одним з прикладів є системи з сильним передбаченням.

### **1. ВСТУП**

Явища складності та синхронізації в технічних і природних системах останнім часом стали одними з ключових тем для дослідження у філософії, фізиці, гуманітарних і біологічних науках. Це пов'язано з глобалізацією процесів, багаторівневими ієрархічними структурами, взаємозв'язками між елементами, існуванням багатьох підпроцесів з різними часовими та просторовими масштабами.

Теорія синхронізації має історію близько двох століть і більш-менш чітко визначений перелік тем [1, 2]. Зазвичай об'єктами дослідження синхронізації є сукупності елементів з внутрішньою динамікою, з набором границь між елементами та типами поведінки в таких системах.

Сучасний розвиток теорії та практики в галузі синхронізації має багато різних напрямків. Зазвичай, характер конкретної галузі дослідження слідує за конкретними новими дослідницькими проблемами і новими об'єктами.

Одним з нових напрямків нелінійної науки, що швидко розвивається, є вивчення так званих химер як розв'язків нелінійних рівнянь. Грубо кажучи, це розв'язки розподілених систем з когерентною та некогерентною поведінкою розв'язків у різних областях простору [4-9].

В усіх випадках дослідження химер дотепер розглядалися об'єкти з однозначними розв'язками (з.д.р., ланцюжки відображень, ланцюжки осциляторів тощо). Це пов'язано з тим, що більшість моделей для багатьох різних процесів мають лише **ОДНОЗНАЧНІ** розв'язки. Однак зараз стає все більш очевидним, що слід також розглядати випадки, коли модельні розв'язки процесів мають **БАГАТОЗНАЧНІ** розв'язки. Не роблячи тут спеціального огляду, згадаємо деякі області, де вивчення багатозначності є важливим: механічні системи з тертям, інтерпретація Еверетта у квантовій механіці, недостатньо визначені системи, керовані системи, деякі моделі гідродинаміки тощо. Також відзначимо можливість багатозначності в системах з сильною антиципацією (передбаченням) - так званою гіперінкурентністю [11-14].

### **2. ЗАГАЛЬНІ РОЗПОДІЛЕНІ СЕРЕДОВИЩА З ВИПЕРЕДЖЕННЯМ**

Зауважимо для ілюстрації, що у випадку дискретних часових рівнянь з сильним передбаченням вони мають вигляд: (Д. Дюбуа [11]) "Визначення дискретної системи з сильним передбаченням: це система, яка обчислює поточний стан в момент часу  $t$  як функцію минулих станів,  $t-3, t-2, t-1, \dots$ , теперішнього стану і стану в майбутньому  $t+1, t+2, t+3, \dots$



$$\begin{aligned} x(t+1) &= f(\dots, x(t-2), x(t-1), \\ x(t), x(t+1), x(t+2), \dots) \end{aligned}, \quad (1)$$

де варіація в майбутньому часі обчислюється опосередковано з рівняння.

### 3. ДО "ХИМЕРНИХ" СТАНІВ В АНТИЦИПАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Ще однією дуже перспективною темою для досліджень у галузі синхронізації є аналоги "химерних" станів у випадку систем з випередженням. Нагадаємо, що стани-"химери" - це дуже неоднорідні перехідні рішення, коли різні типи поведінки співіснують у просторі [3-9].

"Химерні" стани - це рішення в ланцюжках елементів або в розподілених середовищах, які мають різну поведінку в різних областях простору. Наприклад, такі системи можуть мати співіснуючі області з хаотичною та "гладкою" поведінкою в різних місцях простору.

Наступними загальними прикладами з "химерними" станами є наступні: Прийнято вважати, що основним джерелом існування "химерних" станів є нелокальність у рівняннях. Зауважимо, що нелокальність, описана в [7-9, 10], суттєво розширює випадки з передбачуваним походженням "химер". Але можливості "химер" у системах з передбаченням є абсолютно новими. Як приклади можна згадати можливості "багатозначних химер", співіснування різних "химер" на різних гілках багатозначних розв'язків, співіснування "химер" і "гладкої" поведінки на різних гілках розв'язку. Наступний приклад - ланцюжки випереджальних осциляторів:

### 4. МОЖЛИВІ ПРОБЛЕМИ З ХИМЕРАМИ У ВИПАДКУ БАГАТОЗНАЧНОСТІ

Як згадувалося вище, прикладом систем з багатозначними розв'язками є системи з сильним випередженням. Тому тут ми проілюструємо деякі з можливих постановок задач у галузі дослідження химер. Такі системи вивчалися раніше для моделей клітинних автоматів [12, 13], нейронних мереж [12] та дискретних динамічних систем [14].

Зважаючи на можливу багатозначність розв'язків, можна запропонувати низку нових постановок задач у галузі дослідження химер.

1. Чисельні дослідження моделей з багатозначними розв'язками, де можна очікувати появу одновимірних аналогів. Слід вважати, що такі дослідження є першими необхідними кроками у вивченні химер у багатозначному випадку (назвемо їх багатозначними химерами). Але і в цьому випадку виникає багато складних проблем, навіть для одновимірних систем, і, наприклад, при візуалізації результатів обчислень. Тому нам потрібно буде розробити відповідні методи для перцептивного представлення багатозначних функцій. Ще складнішим є випадок дво- та тривимірних систем у просторі. Наприклад, цілком ймовірно, що в майбутньому будуть досліджені багатозначні аналоги сітчастих кілець-химер, набору паралельних структур, тощо. (наприклад, багатозначні аналоги структур з [10]).

2. Теоретично існує проблема строгого визначення багатозначних химер. Це також піднімає проблему введення індексів, за допомогою яких багатозначні розв'язки можуть бути перевірені на наявність химер. Інтерес може представляти і зворотна задача, тобто пошук моделей і початкових умов, які можуть породжувати химери зі специфічними властивостями.

3. Наступний блок проблем виникає при вивченні особливостей багатозначних розв'язків, а саме існування різних гілок розв'язку. Однією з перших цікавих проблем є те, чи можуть виникати різні химери на різних гілках багатозначного розв'язку. Наприклад, це

призводить до питання про те, чи можуть химери існувати на одних гілках і не існувати на інших.

4. Можлива багатозначність химер призводить до несподіваних проблем на стику нелінійної науки та обчислювальної теорії. А саме, чи можуть химери використовуватися в обчислювальній теорії для емуляції логічних операцій, причому незалежно на різних гілках.

5. "Переривчастість" в гідродинаміці є іншим прикладом для дослідження химер, включаючи багатозначний випадок.

### ВИСНОВОК

Таким чином, в даній роботі ми пропонуємо розглянути проблему складної поведінки та синхронізації для нового класу об'єктів, а саме для ланцюгів та мереж з передбачуваною багатозначністю (наприклад, для систем з сильним очікуванням). Передбачувана багатозначність рішень призводить до нових цікавих властивостей в рамках вже існуючих концепцій. Але також можуть з'явитися нові властивості (наприклад, неоднорідна багатозначна синхронізація), які є дуже перспективними для подальших досліджень. Існують також докази необхідності застосування багатозначних аналогів груп, геометрій та симетрій багатозначних об'єктів, включаючи багатозначні потоки та напівпотоки, а також методів теорії операторів. Також новим може бути розгляд роздування розв'язків у багатовимірних випадках, включаючи роздування вибраної гілки розв'язку.

Ми описали лише перші результати досліджень і лише деякі нові передбачувані форми дослідницьких задач. Однак очевидна математична новизна запропонованих проблем і ймовірна велика важливість у застосуваннях (наприклад, у соціальних системах, теорії обчислень і обробки сигналів, дослідженнях свідомості тощо) зумовлюють необхідність подальшого розвитку досліджень.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. E. Mosekilde, Yu. Maistrenko, D. Postnov. Chaotic synchronisation: applications to living systems. World Science, Singapore, 2002.
2. A. Pikovsky, M. Rosenblum, J. Kurths. Synchronisation: a universal concept in the nonlinear sciences. Cambridge University Press, 2001.
3. Y. Kuramoto, D. Battogtokh. Coexistence of coherence and incoherence in nonlocalized coupled phase oscillators // Nonlinear Phenomena Complex Sys-tems. 2002. Vol. 5, pp. 380-385.
4. D. Abrams, S. Strogatz. Chimera states for coupled oscillators // Phys. Rev. Letters. - 2004. - 93. - P. 174102-174105.
5. Workshop "Chimera States: From Theory and Experiments to Technology and Living Systems" 16-20 May 2022. Dresden, Max Planck Institute for Complex Systems Physics. <https://www.pks.mpg.de/>
6. E. Schöll. Chimeras in physics and biology: Synchronization and desynchronization of rhythms. Nava Acta Leopoldina, 2020. Vol. 425, pp. 67-95.
7. I. Omelchenko., Yu. Maistrenko, P.E. Hovel, E. Schöll. Loss of coherence in dynamical networks: Spatial chaos and chimera states // Phys. Rev. Letters. — 2011 — **106**. — P. 234102.
8. Yu. Maistrenko., O. Sudakov., O. Osiv., V. Maistrenko 073037. Chimera states in three dimensions. New. J. of Physics. 2015. Vol. 17, 3 D
9. V. Maistrenko., O. Sudakov., Yu. Maistrenko Spiral wave chimeras for coupled oscillators with inertia. Eur. Phys. J. Spec. Top. 2020. Vol. 229. Pp. 2327 – 2340.
10. A. Makarenko, S. Skurativskiy., V. Vladimirov. *Hyperbolic hydrodynamics with memory. Models and solutions On the memory of V. A. Danylenko, who was the initiator of investigations* Lambert Academic Publishing, 2021. 320 p
11. D. Dubois. Generation of fractals from incursive automata, digital diffusion and wave equation systems // BioSystems. — 1997. — **43**. — P. 97–114.
12. A. Makarenko. Systems and models with anticipation in physics and applications. Journal of Physics: Conference Series. 2012. vol. 394(1), 012026, 6 p.
13. A. Makarenko. Cellular automata with strong anticipation: contribution to modeling, computation and automata theory. Proc. 28 Int. Conf. on System Research, Informatics and Cybernetics, Vol. I. Baden-Baden, Germany, August 2016. Pp.33-35
14. A. Makarenko., A. Stashenko. Some two- steps discrete-time anticipatory models with 'boiling' multivaluedness. AIP Conference Proceedings, vol.839, Computing Anticipatory Systems CASYS – Seventh Int. Conf. Liege, Belgium, August 2005, ed. Daniel M. Dubois, USA, pp. 265-272.

## ПАРАДОКС ВЕЛИКИХ МОЖЛИВОСТЕЙ

Пастернак Роман Михайлович

Луцький національний технічний університет, e-mail: [Roman\\_@ukr.net](mailto:Roman_@ukr.net)

Загальноприйнято вважається, що збільшення кількості можливостей веде до росту імовірності скористатись якоюсь з них. Це твердження настільки очевидне, що не потребує доведення і вважається аксіомою. Але не тут-то було!

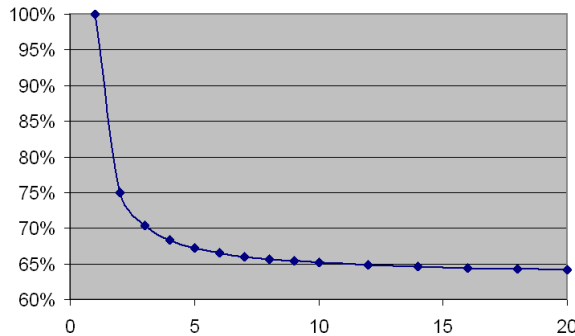
Розглянемо задачу, в якій можливість рандомно приходить до одного з учасників процесу, причому кількість можливостей рівна кількості учасників процесу, а успіхом учасника процесу вважається надходження хоча б одної можливості. Для любителів все відібрати і поділити порівну наголошую – задача сформульована по-іншому.

Перший парадокс – це 100% шансу на успіх, коли учасник процесу один. Він не має конкурентів і можливість безальтернативно приходить до нього. Збільшення ж кількості учасників дає шанс, що до когось ця можливість може не прийти взагалі.

Отже, шанс на успіх (прихід хоча б одної можливості) для учасника процесу, якщо в ньому беруть участь  $N$  учасників, буде

$$i = 1 - \left(1 - \frac{1}{N}\right)^N$$

Результат обчислення за даною формулою показано на графіку



Видно, що збільшення кількості учасників процесу веде до падіння шансу на успіх для кожного з них. Мається на увазі імовірність надходження хоча б одної можливості. В границі, коли  $N \rightarrow \infty$ ,  $i \rightarrow 1 - e^{-1}$ , тобто 63,212%. Комбінація кількох можливостей та її ймовірність є темою окремого дослідження. Це більше стосується можливостей особистісного росту залежно від величини системи.

На жаль, хоч ця задача і є чистою теорією, сферичним конем у вакуумі, вона має також наслідки в реальному світі. Люди звикли вважати, що великі системи дають більші можливості. Насправді ж, коли успіх (незважаючи на копітку і наполегливу працю) має свою долю випадковості, ця задача починає діяти.

Шанс позитивної відповіді при працевлаштуванні (навіть попри високу кваліфікацію) – рандомний, бо таких шукачів теж багато. Шанс приходу покупця до конкретного продавця – рандомний. Шанс залучити замовника – теж рандомний (він же має аналогічні альтернативи у великій системі). Навіть можливість для молодого людини знайти собі пару – теж падає у великих системах (а раптом є краща альтернатива).

Насправді ж реальність гірша, хоча б тому, що учасник, який вже досяг одного успіху, має більші шанси на повторний успіх (конкурентну перевагу), що погіршує шанси на успіх інших учасників. Перший стає лідером і отримує більше, залишаючи мало шансів аутсайдерам.

Так і живемо.

**ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ  
ТЕХНОЛОГІЇ**  
**PROBLEMS OF IMPLEMENTING VERTICAL  
INFORMATION TECHNOLOGY**

**Петришин Михайло Любомирович**

*Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника,  
кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем, m.l.petryshyn@pnu.edu.ua*

**Petryshyn Lubomyr**

*AGH University of Krakow, dept. of Enterprise Management, Poland, lpetr@agh.edu.pl*

Впровадження засобів інформаційної технології (ІТ) є ефективним чинником реорганізації та вдосконалення народного господарства України, забезпечує ефективне управління ресурсами та дозволяє покращити комунікацію між різними секторами економіки. Базові положення інформатизації передбачені в Законі України «Про Національну програму інформатизації» [1]. При цьому важливою проблемою є вдосконалення теорії, методів та реалізації засобів формування, перетворення, руху, цифрової обробки та архівування повідомлень [2, 3], вирішення якої ґрунтується на формуванні нових вимог до компонентів ІТ, включаючи:

- реалізацію давачів з мережевим інтелектом;
- підвищення завадозахищеності повідомлень, що формуються;
- підвищення швидкодії функціональних компонентів системи;
- зменшення кількості перетворень повідомлень та елементів середовища інфообміну;
- підвищення регулярності структури обчислювальних середовищ;
- підвищення технологічної та експлуатаційної надійності;
- зниження енергоспоживання та вартості виробництва.

Якісні зміни у розвитку сучасної ІТ зумовлені переходом від аналогових до цифрових систем, які забезпечують значно вищі техніко-економічні показники [2]. Важливу роль у таких системах виконують процедури перетворення форми інформації (ПФІ) та цифрової обробки повідомлень [2-4]. Світовий досвід показує, що перспективним є використання на всіх рівнях інформаційних систем єдиного базису дискретних перетворень [3, 4]. Ефективними, зокрема, виявились теоретико-числові перетворення (ТЧП), що більш повно враховують специфіку цифрового представлення сигналу. Останнім часом математичні моделі ТЧП, побудовані з використанням апарату теорії полів Галуа, скінчених кілець та абстрактних алгебраїчних систем, набули розповсюдження завдяки ряду переваг [3, 4]:

- наявність єдиного методологічного підходу до реалізації ІТ;
- більш повне врахування структури цифрового сигналу та дискретної форми представлення інформації;
- спрощення процедури моделювання обчислювальними системами та зменшення апаратних затрат на реалізацію спеціалізованих пристроїв;
- розглядання задач ПФІ та цифрової обробки сигналів з єдиної позиції разом із задачами проектування відповідних спеціалізованих цифрових засобів.

При реалізації системних функцій ІТ актуальними є ряд фундаментальних задач, які охоплюють вибір кодової системи та її базисних функцій, встановлення функціоналів взаємоперетворень та кодування на етапах формування, перетворення, передачі, обробки та зберігання цифрових даних [2-4]. Світовою практикою побудови сучасних інформаційних систем та результатами новітніх наукових досліджень показано, що виключне застосування відомих базисів (наприклад, найбільш поширених Радемахера, Уолша чи інших) не є оптимальним і не задовольняє більшості вимог у зв'язку з виродженістю системних властивостей базису [3, 4]. Крім того, неповнота теоретичного обґрунтування відомих базисів, їх перехідних та проміжних форм істотно обмежують галузі їх широкого застосування та спричиняють непродуктивні надлишкові процедури кодування та обробки даних, що в цілому призводить до зниження швидкодії, рівня завадозахищеності та значного зростання вартості реалізації систем ІТ.

Таким чином, проблема вибору та реалізації типу ІТ в складних інформаційних системах полягає у принциповому вирішенні застосування необхідного базису кодової системи [2, 4]. Широкого застосування набувають методи, що ґрунтуються на використанні математичного апарату теоретико-числових перетворень (ТЧП), комутативної алгебри, теорії матриць, циклічних груп, скінчених полів, та полів Галуа [3, 4]. Техніка ПФІ в базисі Галуа до сьогодні була вельми далека від завершення та її структури сучасних обчислювальних систем недостатньо орієнтовані на виконання дій в кодах Галуа внаслідок неповної розробки теорії та узагальнення міжбазисних перетворень, що зумовило необхідність розробки в першу чергу математичного узагальнення методів міжбазисних ТЧП, а на їх основі реалізації вискоелективних засобів взаємоперетворень та обробки повідомлень в базисі Галуа.

Здійснення ТЧП у полях Галуа забезпечує ряд особливих властивостей кодів для ПФІ. Природа рекурсивного впорядкування елементів кодових послідовностей Галуа дозволяє перейти до вертикальної ІТ, зменшити обсяги інформаційних потоків, що циркулюють в мережі, та підвищити техніко-економічну ефективність застосування обчислювальних систем [3, 4]. Результати досліджень дозволили визначити перспективним розвиток наукового напрямку, який передбачає узагальнення існуючих та розробку нових теоретичних положень ПФІ в кодових системах Галуа, на основі яких реалізуються науково обґрунтовані методи та засоби технічної реалізації вертикальної ІТ з застосуванням кодів Галуа.

Дослідження проведено з метою розвитку вертикальної ІТ на основі розробки узагальненої теорії, методів та технічних засобів формування, перетворення та обробки цифрових повідомлень в базисі Галуа. Для досягнення цієї мети було застосовано системний підхід та вирішено ряд основних завдань наукового дослідження. Зокрема, було розроблено математичний апарат міжбазисних перетворень функцій та проведено аналіз теоретико-числових основ кодових систем Галуа; створено теоретичні основи ідентифікації імпульсних джерел повідомлень, а також засобів формування послідовностей Галуа; розроблено методи та засоби побудови кодових шкал Галуа та аналого-цифрового перетворення з вихідними кодами Галуа; розроблена теоретична база застосування кодових послідовностей Галуа для реалізації мережевих захищених

протоколів, зменшення надлишковості повідомлень, що формуються та архівуються в інформаційних системах; структурно і апаратно забезпечено ефективні процедури кодування, цифрової маніпуляції, ущільнення та декодування повідомлень, алгоритмічного і схематехнічного проектування технічних засобів ПФІ і цифрової обробки повідомлень, систем та мереж на основі кодових систем Галуа. Також було створено комплекси технічного забезпечення інформаційних мереж розподілених систем управління промисловими об'єктами та технологічними установками і впроваджено їх в промисловості.

Вирішення проблеми здійснювалось з врахуванням розвитку таких перспективних напрямків, як застосування та перехід до створеної вертикальної ІТ і ТЧП в кодових системах Галуа; розпаралелювання обробки інформації; регуляризація та підвищення однорідності операційних середовищ. Вирішення вказаних завдань вимагало узагальнення, перегляду, розвитку та вдосконалення традиційних підходів до реалізації ІТ. При цьому застосовано математичний апарат теорії інформації, дискретних ортогональних функцій та рядів, абстрактних алгебраїчних систем, міжбазисних ТЧП, матричних операцій та теорії кодових систем. Використання математичного апарату теорії кодування дозволило розробити нові методи та алгоритми обробки даних. Дискретні ортогональні функції та ряди є важливими елементами обробки сигналів, а абстрактні алгебраїчні системи дозволяють моделювати складні процеси. Міжбазисні ТЧП та матричні операції є ключовими елементами обробки даних в сучасних ІТ системах. Використання цих методів та технік дозволило розробити нові інформаційні технології та забезпечити високу ефективність та продуктивність ІТ систем.

Вказані напрямки розвитку є важливими для підвищення ефективності та продуктивності обробки інформації в сучасних ІТ системах. Застосування вертикальної ІТ і ТЧП в кодових системах Галуа дозволяє забезпечити більш ефективну обробку даних, знизити надлишковість повідомлень та забезпечити захист від мережевих завад. Розпаралелювання обробки інформації дозволяє прискорити обробку даних та забезпечити розподілену обробку великих обсягів інформації. Регуляризація та підвищення однорідності операційних середовищ дозволяє забезпечити стабільну та надійну роботу ІТ систем.

При розробці засобів ПФІ були використані методи міжбазисних перетворень, розрідженого та кодового формування повідомлень, послідовних та паралельних рекурсивних упорядкувань, теорії ймовірностей та завадостійкого кодування інформації. При розробці засобів інфообміну, декодування та цифрової обробки даних були використані теорія сигналів, алгоритмів, зв'язку, спектрального та кореляційного аналізу, основні положення теорії розпізнавання образів, методи статистики та оцінки статистичних зв'язків, теорія функціональних перетворень та цифрових автоматів, зменшення надлишковості повідомлень.

Новизна проведених досліджень полягала у системному підході до реалізації сукупності процедур формування, АЦ перетворення, передачі-прийому, декодування, цифрової обробки, архівування, відображення та організації процесу інформаційного

обміну, що підпорядковуються єдиним вимогам вертикальної ІТ при реалізації кожної з процедур у комплексі.

Отримані наукові результати дозволили розробити засоби реалізації основних системних функцій формування, перетворення форми та цифрової обробки даних у кодах Галуа, що забезпечили можливість контролю в реальному часі інтегральних та миттєвих характеристик стану джерел інформації, високу швидкодію та точність перетворення, високий ступінь завадозахисту та достовірність обміну даними, зменшення обсягів повідомлень в мережі та вартості систем, на основі яких реалізовано методи та засоби побудови вертикальної ІТ. Використання розроблених засобів реалізації вертикальної ІТ забезпечує можливість побудови цифрових систем автоматизованого керування складними розподіленими процесами, об'єктами та системами, а також автоматизацію наукових експериментів з високими показниками надійності та достовірності результатів дослідження за низьких витрат на розробку, впровадження та експлуатацію.

### ***Список літератури***

1. Закон України «Про Національну програму інформатизації» Документ 2807-ІХ, чинний. Прийняття від 01.12.2022. [Онлайн]: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-20#Text> (доступ 04.05.2023 р.)
2. Petryshyn L.B., “Theory of digital data processing in the ICT,” In monography *Advances in ICT for Business, Industry and Public Sector*. Springer International Publishing Switzerland. 2015. –pp. 157-170.
3. Milne J.S., “Fields and Galois Theory,” 2022, 144 p. [Online]. Available: <https://www.jmilne.org/math/CourseNotes/FT.pdf> (accessed Mai 04, 2023).
4. “Arithmetic operations in Galois Field,” [Online]. Available: <https://math.stackexchange.com/questions/245621/arithmetic-operations-in-galois-field> (accessed Mai 04, 2023).

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОНТЕНТОМ У КОРПОРАТИВНІЙ СФЕРІ

**Сахнюк П.В., Замуруєва О.В., Федосов С.А.**

*Волинський національний університет імені Лесі Українки,  
кафедра теоретичної та комп'ютерної фізики імені А.В. Свідзинського,  
пр. Волі, 13, Луцьк, 43000, Україна  
e-mail: [pavlosakhniuk8@gmail.com](mailto:pavlosakhniuk8@gmail.com)*

Більшість корпорацій та установ різного спрямування та масштабу використовують веб-технології для створення власних веб-порталів. Одним з основних завдань підтримки таких порталів і сайтів є управління контентом. Для його реалізації використовують спеціальні системи управління контентом. При виборі такої системи часто обираються найпопулярніші варіанти, що не завжди оптимально підходить для потреб установи чи бізнесу у контексті специфіки їх роботи, галузі, масштабу та інших характеристик. Таким чином є необхідність знайти гнучкі альтернативи для найпоширеніших систем і виокремити оптимальні та ефективні сценарії їх використання для забезпечення потреб установ різного спрямування. Однією з таких альтернатив може слугувати система управління контентом з відкритим вихідним кодом TYPO3 CMS, яку доцільно проаналізувати та порівняти з іншою популярною аналогічною системою за параметрами поширення та оптимальними варіантами застосування для задоволення потреб інституцій та бізнес-клієнтів різного спрямування. Цього застосовуємо параметризацію.

Аналіз та дослідження можливостей різних систем управління контентом проводяться останнім часом з різною метою – зокрема робота [1] досліджує питання вибору оптимальної системи управління контентом для регіональної газети, у дослідженні ключовими варіантами фігурують TYPO3 і Drupal. У [2] розглянуті особливості поширення та використання найпопулярніших систем управління контентом. Важливим дослідженням також є аналіз сучасних CMS, виділення ключових завдань та елементів актуальних веб-порталів у освітній сфері та аналіз на цій основі Drupal та TYPO3 CMS для вибору оптимального варіанту для освітніх закладів [3].

В дослідженні проведено аналіз даних щодо використання та поширення систем управління контентом у веб-ресурсі Similar Tech за ключовими словами «Drupal», «TYPO3». Виділено аспекти використання пов'язані з поширеністю, трендами популярності, галузями застосування, географічною прив'язкою та масштабом веб-ресурсів, котрі використовують відповідні технології. Досліджено основні модулі систем TYPO3 CMS та Drupal у контексті сумісності з основними вимогами до веб-продуктів. Здійснено порівняльний аналіз основних функцій систем, виділено ключові особливості та оптимальні сценарії використання.

Обидві системи керування вмістом є потужними інструментами з перевагами та недоліками. Отже, головне питання полягає в тому, з якою метою буде використовуватись система. Drupal краще підходить спеціалізованим веб-сайтам та сайтам в області соціальних спільнот. TYPO3 переважає серед середніх і великих компаній, які потребують потужної адміністративної панелі, роботи з багатьма доменами та сайтами.

### Список літератури

1. Йозеф Макс Хайда (2015) WordPress, Drupal, Joomla та TYPO3. Порівняння CMS з відкритим вихідним кодом та оцінка вартості для регіональної газети (Книга), Мюнхен, GRIN Verlag, 14 с.
2. Георгіос Дімуліс (2014) Огляд ринку, порівняння та аналіз переваг провідних систем керування веб-контентом з відкритим кодом (Книга), Мюнхен, GRIN Verlag, 72 с.
3. Йоганнес Крюгер (2006) TYPO3 як CMS для шкіл. Розвиток шкільної платформи (Книга), Мюнхен, GRIN Verlag, 124с.



## ФУНКЦІЯ РОЗПОДІЛУ ПРОСТИХ ЧИСЕЛ

Студницький Матвій Андрійович

Національний університет імені Тараса Шевченка, студент 2 курсу

механіко-метематичного факультету

e-mail: matvii.157@gmail.com

**Актуальність дослідження:** Гіпотеза Рімана є однією із найвідоміших проблем математики, що належить до проблем тисячоліття. Найвідомішою вона є з двох причин – по-перше, багатьма науковцями було зроблено спроби довести або спростувати її, проте жодне із відомих нам доведень чи спростувань не були визнані математичною спільнотою як справедливі, а по-друге, існує досить багато математичних фактів, що впливають із справедливості гіпотези Рімана. Крім того, гіпотеза Рімана тісно пов’язана із багатьма складними фізичними явищами (серед відомих нам таких явищ – поведінка так званої «сталі тонкої структури», квантовий хаос тощо).

Можна прийти до висновку про те, що досить цікаво було б дослідити твердження гіпотези Рімана на предмет наявності еквівалентних тверджень, перевірка доведення (чи спростування) яких не вимагатиме надто багато часу та зусиль. Кохом було доведено, що справедливість гіпотези Рімана еквівалентна справедливості оцінки функції розподілу простих чисел наступним чином:

$$\pi(x) = Li(x) + O((\sqrt{x}) \ln x) \text{ при } x \rightarrow +\infty$$

Тому, одним із можливих шляхів дослідження гіпотези Рімана є розгляд та аналіз асимптотичних формул для функції розподілу простих чисел з метою їх аналізу на предмет виконання або не виконання співвідношення виведеного Кохом. Таким чином, доцільним видається аналіз асимптотичних співвідношень, для функції розподілу простих чисел.

**Об’єкт дослідження** - функція розподілу простих чисел.

**Предмет дослідження** - аналіз та пошук апроксимаційних моделей функції розподілу простих чисел.

**Мета дослідження** - проаналізувати існуючі моделі апроксимації значень функції розподілу простих чисел, знайти нові способи апроксимації функції розподілу простих чисел, зокрема шляхом використання нескінченних рядів та їхніх часткових сум.

**Завдання дослідження:**

- **Довести** те, що множина простих чисел є нескінченною;
- **Проаналізувати** поняття функції  $\pi(x)$  та розглянути питання пошуку функції, що даватиме задовільно точне наближення функції розподілу простих чисел;
- **Здійснити** дослідження існуючих апроксимаційних моделей функції розподілу простих чисел;
- **Запропонувати** власні апроксимаційні моделі функції розподілу простих чисел на основі функції Лежандра загального вигляду, розкладу деяких функцій у ряди, на основі ряді із використанням інтегрального логарифма.

**Наукова новизна:** внаслідок здійснення дослідження було отримано кілька абсолютно нових результатів у сфері асимптотичного наближення та апроксимації функції розподілу простих чисел за допомогою рядів. Отримані висновки було доведено, спираючись на самостійно розроблений алгоритм доведення розглянутих тверджень.

**Підсумовуючи**, приходимо до висновку про те, що в процесі дослідження нами функції розподілу простих чисел ми здійснили аналіз функцій, що апроксимують  $\pi(x)$ , котрі були запропоновані Лежандром, Гаусом та Чебишевим, порівнявши точність апроксимації формулами запропонованими ними значень  $\pi$ -функції для відповідних значень аргументу. В результаті здійснення дослідження ми отримали досить багато функцій, асимптотично

еквівалентних до  $\pi$ -функції, подальше дослідження поведінки яких дозволить здійснити прогрес у доведенні (або спростуванні) асимптотичної рівності запропонованої Кохом, а тому і гіпотезі Рімана. Крім того, за допомогою отриманих функцій, із задовільною точністю можна знаходити наближене значення кількості простих чисел менших або рівних за задане число.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:**

- 1) Mestrovic R. Euclid's theorem on the infinitude of primes: a historical survey of it's proofs. Maritime faculty Kotor, University of Montenegro. 2018, 1-2. URL: <https://arxiv.org/abs/1202.3670>
- 2) Legendre A. M. Theorie des nombres en deux volumes. V. 1. Chez Firmin Didot Freres, Libraires. Paris, 1830, 65-70. URL: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k42612x.texteImage>
- 3) Gauss's letter to Encke // URL: [https://science.larouchepac.com/gauss/ceres/PDF/SourceBook/GaussWorks/PJM\\_Gauss\\_1849\\_EnckeCorresp.pdf](https://science.larouchepac.com/gauss/ceres/PDF/SourceBook/GaussWorks/PJM_Gauss_1849_EnckeCorresp.pdf)
- 4) Logarithmic integral function: website.  
URL: <https://mathworld.wolfram.com/LogarithmicIntegral.html>
- 5) Exponential integral function: website.  
URL: <https://mathworld.wolfram.com/ExponentialIntegral.html>
- 6) Prime counting function: website.  
URL: <https://mathworld.wolfram.com/PrimeCountingFunction.html>

## СТРУКТУРА BACKEND ФРЕЙМОРКІВ

*Ступінь А.П.*

*Волинський національний університет імені Лесі Українки, [dimedrov123@gmail.com](mailto:dimedrov123@gmail.com)*

Backend фреймворк - це набір інструментів, бібліотек та стандартів, які використовуються для розробки серверних додатків. Він дозволяє розробникам зосередитися на бізнес-логіці своїх додатків, не турбуючись про низькорівневі деталі, пов'язані з роботою з базами даних, мережевою взаємодією, обробкою запитів і тощо [1].

Backend фреймворки зазвичай мають вбудовану підтримку різних протоколів, таких як HTTP, WebSocket, TCP/IP, а також допоміжні функції для обробки даних, такі як серіалізація та десеріалізація даних у форматах JSON, XML тощо.

Найпоширеніші backend фреймворки: Flask, Django, Ruby on Rails, Express.js, Laravel, Spring Framework та Node.js. Вони надають розробникам можливість ефективно розробляти серверні додатки за допомогою високорівневих абстракцій та стандартів, що дозволяє зменшити затрати на розробку та зменшити кількість помилок.

Всі фреймворки беруть за основу певну архітектурну модель, найпоширеніша з них це - MVC (Model-View-Controller), що являє собою архітектурний шаблон програмного забезпечення, який використовується в багатьох фреймворках розробки веб-додатків. Цей шаблон розділяє додаток на три основні компоненти:

1. модель (Model) - це клас або структура даних, яка представляє базу даних та забезпечує доступ до даних відповідно до правил і обмежень, визначених в базі даних. Ця модель забезпечує роботу з базою даних та дозволяє розробникам отримувати доступ до даних відповідно до потреб додатка.
2. представлення (View) - це компонент, який забезпечує відображення даних на стороні сервера. Вони можуть бути використані для генерації HTML сторінок з даними, які були отримані з бази даних або інших джерел.
3. контролер (Controller) - це основний шар фреймворку, який відповідає за обробку вхідних запитів та взаємодію з базою даних [2].

Окрім архітектурної моделі MVC, існує також багато інших моделей, які використовуються для розробки програмного забезпечення.

1. MVVM (Model-View-ViewModel) - подібно до MVC, MVVM розділяє додаток на три основні компоненти: модель, представлення та модель представлення. Модель представлення служить посередником між представленням та моделлю, що дозволяє більш ефективно керувати даними та станом додатку[3].
2. MVP (Model-View-Presenter) - подібно до MVC, MVP розділяє додаток на три основні компоненти: модель, представлення та презентер. Презентер виступає як посередник між моделлю та представленням, що дозволяє розділити логіку відображення даних від логіки обробки даних[4].
3. Clean Architecture - ця модель розділяє додаток на окремі рівні залежності, що дозволяє додатку бути більш гнучким та легко змінюватись з часом. Ця модель

дозволяє розділити додаток на окремі рівні, включаючи представлення, домен та інфраструктуру.

4. Hexagonal Architecture - ця модель також відома як Ports and Adapters або Ports and Adapters Architecture. Вона орієнтована на поділ додатку на дві основні частини: ядро додатку та зовнішні компоненти. Ядро додатку містить бізнес-логіку та моделі даних, а зовнішні компоненти забезпечують взаємодію з зовнішніми системами[5].

Ці моделі, так само як і MVC, допомагають розділити логіку додатку на окремі компоненти, що дозволяє забезпечити більшу масштабованість та підтримку додатків. Крім того, вони також дозволяють більш ефективно керувати кодом та забезпечувати більшу перевикористовуваність.

#### Список використаних джерел:

1. Програма Model-View-Controller MVC - що це, особливості і опис. Київ, 2018.  
[URL:https://hi-news.pp.ua/kompyuteri/14628-programa-model-view-controller-mvc-scho-ce-osoblivost-opis.html](https://hi-news.pp.ua/kompyuteri/14628-programa-model-view-controller-mvc-scho-ce-osoblivost-opis.html) (дата звернення 14.05.2023).
2. Що таке MVC? - Робота та переваги - Сфера та кар'єра. Education-WIKI.com: веб-сайт. URL:<https://uk.education-wiki.com/3886982-what-is-mvc> (дата звернення 13.05.2023)
3. Data binding and MVVM. 2022. learn.microsoft.com: веб-сайт. URL:  
<https://learn.microsoft.com/uk-ua/windows/uwp/data-binding/data-binding-and-mvvm> (дата звернення 15.05.2023)
4. Presentation Model. 2010. learn.microsoft.com: веб-сайт.  
[URL:https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/msp-n-p/ff921080\(v=pandp.20\)?redirectedfrom=MSDN](https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/msp-n-p/ff921080(v=pandp.20)?redirectedfrom=MSDN) (дата звернення 15.05.2023)
5. What is Hexagonal Architecture? 2022. adservio.fr: веб-сайт.  
[URL:https://www.adservio.fr/post/hexagonal-architecture-meaning-principles-benefits](https://www.adservio.fr/post/hexagonal-architecture-meaning-principles-benefits) (дата звернення 12.05.2023)

## Сумація тригонометричного ряду в задачі про рівняння теплопровідності

**Шутовський А. М., Сахнюк В. Є.**

Волинський національний університет імені Лесі Українки,  
кафедра теоретичної та комп'ютерної фізики,  
пр. Волі, 13, Луцьк, 43000, Україна  
e-mail: [shutovskvi.arsen@vnu.edu.ua](mailto:shutovskvi.arsen@vnu.edu.ua)

Нехай ми маємо крайову задачу

$$\rho \frac{\partial U}{\partial \rho} + \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

в одиничному крузі ( $0 < \rho < 1$ ) за наявності граничної умови

$$\lim_{\rho \rightarrow 1} U(\rho, x) = f(x). \quad (2)$$

Якщо  $t = -\ln(\rho)$ , то диференціальне рівняння другого порядку в частинних похідних (1) перетворюється на рівняння теплопровідності [1–3]. Ми будемо вважати, що для функції  $f(x)$  має місце умова  $f(x + 2\pi) = f(x)$ , внаслідок чого формальний розв'язок крайової задачі (1) із граничною умовою (2) можна подати у вигляді так званого інтеграла Вейерштрасса

$$W(\rho; f; x) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(y) \left\{ \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{+\infty} \rho^{k^2} \cos k(x - y) \right\} dy \quad (3)$$

Метою даної роботи є підсумовування ряду Фур'є у фігурних дужках формули (3). Для цього застосовуємо параметризацію

$$\rho^{k^2} \cos k(x - y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} d\xi \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\pm i\xi\eta} \rho^{k(1+|\eta|)} \cos[k(x + \xi - y) - \xi] d\eta$$

з метою перетворити формулу (3) на формулу

$$W(\rho; f; x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d\xi}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\pm i\xi\eta} \{P(\rho^{1+|\eta|}; f; x + \xi) \cos(\xi) + \bar{P}(\rho^{1+|\eta|}; f; x + \xi) \sin(\xi)\} d\eta,$$

у якій фігурують позначення для інтеграла Пуассона

$$P(\rho; f; x) = \frac{1 - \rho^2}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{f(y) dy}{1 - 2\rho \cos(x - y) + \rho^2}$$

та спряженого інтеграла Пуассона

$$\bar{P}(\rho; f; x) = -\frac{\rho}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{f(t + x) \sin(t)}{1 - 2\rho \cos(t) + \rho^2} dt.$$

### Список літератури

- [1] Cannon, John Rozier. *The one-dimensional heat equation*. Encyclopedia of Mathematics and its Applications, vol. 23, Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company, Advanced Book Program. 1984.
- [2] Evans, Lawrence C. *Partial Differential Equations*, Graduate Studies in Mathematics, vol. 19 (2nd ed.), Providence, RI: American Mathematical Society. 2010.
- [3] Thambynayagam, R. K. M. *The Diffusion Handbook: Applied Solutions for Engineers*, McGraw-Hill Professional. 2011.

## **Правда о COVID-19**

**Йоичи Арай**

Национальный Медицинский Университет имени О.О. Богомольца  
[yoichiarai@yahoo.de](mailto:yoichiarai@yahoo.de)

То, что происходит сейчас, является глобальным преступлением. Коронавирус действительно существует? Когда я отправляю открытый вопрос в Министерство здравоохранения, труда и социальной защиты населения по этому поводу, ответ всегда «не может быть проверен» и «не может подтвердить наличие коронавируса». Когда открытая анкета была разослана правительствам 47 префектур Японии, правительства 47 префектур ответили одним и тем же предложением: «Доказательств коронавируса нет».

Но почему можно создать вакцину против того, существование чего нельзя доказать? Принято считать, что невозможно создать вакцину, если существование вируса не может быть подтверждено. Так из чего состоит нынешняя вакцина от COVID-19? Он содержит искусственную нуклеиновую кислоту, называемую мРНК, и большое количество оксида графена, анализируемого компьютером. Это факт и он доказан.

Итак, почему люди вакцинируются? Каков мотив? Этот оксид графена оказывает крайне вредное воздействие на организм человека. Известно, что оксид графена в крови разрушает клетки крови. Вот почему так много людей, у которых кровь густая и глинистая, как после прививки от COVID-19. Также было обнаружено, что позже он превращается в кровяной сгусток, называемый ге-ма-то-ма. Почему мы делаем прививки, хотя знаем так много причин? Какова цель правительства? Почему правительство так хочет, чтобы люди были вакцинированы? Зачем правительству заставлять население делать прививки от несуществующего вируса? Коронавирус 567, COVID-19, не существует. Следовательно, это не может быть доказано. Тем не менее, правительство угрожало людям. Как ты угрожал мне?

Правительство приказало населению пройти ПЦР-тест. Национальный центр инфекционного контроля скрыл значение КТ этого теста ПЦР и сообщил об этом общественности. Если стандартное значение КТ поднять с 25 до 45 и провести ПЦР-тесты, все люди будут положительными. И внедрив этот поддельный ПЦР-тест, правительство немедленно отправило людей на двухнедельный карантин. На самом деле, когда человек жалуется на симптомы другого заболевания и попадает в больницу, его сначала заставляют пройти ПЦР-тест. Этот ПЦР-тест совершенно не способен отличить простуду от коронавируса. Получив этот совершенно неразличимый ПЦР-тест, пациент слепо подчиняется властям государства и оказывается на двухнедельном карантине в больнице или гостинице и вынужден оплачивать двухнедельное проживание.

Однако постепенно махинации правительства были разоблачены. Правительство разослало уведомления врачам по всей стране, чтобы скрыть свои проступки. Другими словами, у правительства есть приказ не проводить тесты на грипп. Почему вы не проверяетесь на грипп? Есть тесты на грипп. Вместо этого стоит сделать ПЦР-тест и дать положительный результат. Таким образом, причина смерти всех пациентов была написана в свидетельстве о смерти, что они умерли от коронавируса. Даже у людей, погибших в автомобильных авариях, в свидетельствах о смерти писали, что они умерли от коронавируса. Что правительство хочет сделать, навязывая такие вещи? Теперь я вижу, что хочет сделать государственная власть.

Позволив населению вакцинироваться против вируса, которого никогда не существовало, государственная власть вложила в вакцину настоящий вирус. При этом в вакцину добавили

оксид графена. Тем самым нация осознала необходимость вакцинации своих граждан. Однако намерения правительства были потеряны.

На днях 190 человек заразились коронавирусом в больнице на Окинаве. Девяносто процентов инфицированных получили две или более вакцины против COVID-19. Какова была цель вакцинации? Вакцины используются для предотвращения инфекционных заболеваний, но инфицированных в девять раз больше, чем непривитых. При этом погибли 64 человека. Более того, государство скрывало, что стало причиной гибели этих 64 человек. Врачи говорят, что 100% умерших были людьми, которым сделали прививку от COVID-19. Умер только тот, кому сделали укол. Для людей, которые не подвергались инъекциям, такой опасности нет.

Такие деформации, как дельта-штамм и лямбда-штамм, возникают, когда вы делаете инъекцию. Перед Олимпийскими играми в Токио было сказано, что эти штаммы взорвут инфекцию. Почему правительство может делать такие прогнозы заранее? Правительство, которое не может даже доказать существование вируса, может, как ни странно, предсказать вспышку штаммов. Astra Zeneca ранее проводила испытания на людях к югу от Лондона. В ходе эксперимента на людях погиб один человек. Дельта-штамм стал причиной смерти. После этого такой же эксперимент на людях начался в Бразилии с использованием вакцины другой компании. В то время появился штамм лямбда. Там погиб один человек. При попадании на вакцину появляются такие штаммы. Так что же это за акции?

Доктор Джуди Миковиц и вице-президент Pfizer рисковали своими жизнями, бегая по всему миру, предупреждая людей не делать прививки, но общественность их проигнорировала. В результате игнорирования последовательно появляются дельта-деформация, лямбда-деформация и следующая за ней деформация. Если производитель вакцины изменится, тип штамма изменится, даже если вакцинируется тот же человеческий организм. что это за акции? Это спайковый белок. Я не могу думать ни о чем другом. Другими словами, для того, чтобы внедрить шиповидный белок в человеческий организм населения, правительство долгое время терроризировало население с целью его вакцинации. Вот почему премьер-министр Есихидэ Суга заявил, что его цель — вакцинировать 60 миллионов человек. Почему такая квота на эту вакцину? Если вакцины действительно спасают жизни людей, такой квоты быть не может. Все должны быть вакцинированы.

Хотя этот штамм взрывоопасно заражает многих людей, он не так смертелен, как первоначально думали «головорезы». Это был их просчет. Будь то дельта-штамм или лямбда-штамм, в случае заражения он обладал способностью убивать людей. А если бы люди умирали один за другим, COVID-19 имел бы большой успех. Но фактическое количество смертей, их мало-0.4%. От простуды умирает больше людей. Во многих случаях люди с пневмонией или те, у кого уже есть собственные хронические заболевания, спровоцированы вирусом простуды и умирают. Хотя они говорят, что исследуют штамм, отчет об исследовании штамма еще не представлен. Поэтому те, кто планирует установить мировое правительство после депопуляции, думают, что им следует создать новую вакцину и создать более смертоносный штамм. Нынешние штаммы Delta и Lambda не могут убивать людей.

Что касается того, что значит поразить вакциной, мы уже знаем, что это не подавление инфекции. Это связано с тем, что люди, которые были вакцинированы, более подвержены заражению. Что будет дальше? Именно столько живет привитый человек.

К таким же результатам пришли исследователи всего мира. Мыши привиты от COVID-19 и живут всего 20 дней. Если перевести это в ожидаемую продолжительность жизни человека, то получится два года. Трудно заметить, что происходит внутри тела. Это

страшно, но люди не знают, что происходит внутри их тел. Прививка вызывает гематому в мозгу, и когда я смотрю на снимок, я с ужасом думаю, что такое ужасное случилось с моим мозгом из-за прививки. Правительственные бюрократы и политики, заставляющие своих граждан делать прививки, радуются этому страшному событию. Трудно понять их душевное состояние. Если через 100 лет появится криминальный психолог с гениальным мозгом, превосходящим Фрейда, он сможет объяснить механизмы их мозга. Однажды я брал интервью у человека, который был привит от COVID-19, и когда я спросил его: «Почему вы сделали прививку?», он ответил: «Потому что это вакцина». «Это не вакцина, это биохимическое оружие для убийства. То, что происходит сейчас, является глобальным преступлением.

Тот факт, что Нюрнбергский процесс состоялся после Второй мировой войны, мы все узнали на уроках истории. Этот процесс, как и токийский, проходил в Германии после окончания войны, но в этом новом процессе приняли участие 102,000 адвокатов и 6,000 врачей и исследователей, которые дали показания о вакцине. рекомендовали эту вакцину другим, политикам, врачам, медсестрам, которые ее сделали, и другим лицам, которые могли быть привлечены к ответственности. Это только вопрос времени, прежде чем этот суд состоится. Принуждение к вакцине против COVID-19 является величайшим гнусным преступлением в истории человечества.

Вы должны знать, что происходит в мире самостоятельно. Что вы выберете сейчас? Ежегодное число смертей от вакцинации против COVID-19 в Японии, как показывает статистика естественного движения населения, тревожно велико. Число погибших в Японии за последние три года составляет

**2019 --- 1,100,000 люди погибли**

**2020 --- 1,140,000 люди погибли**

**2021 --- 1,450,000 люди погибли**

**2022 --- 3,140,000 люди погибли**

Обычно основной причиной смерти японцев является рак, за ним следуют болезни сердца, старость и дорожно-транспортные происшествия, в три раза больше. Отныне ожидается, что число смертей в этом году превысит 1,000,000. Обычно число умерших на 1 миллион человек в этом году составляет 3.14 миллиона, а через год оно увеличится в четыре раза, то есть будет 12 миллионов. В десять раз больше смертей. Конечно, это не обычные причины смерти, такие как рак, болезни сердца и старость. Число умерших от коронавируса составляет около 30,000 человек. Правительство еще не назвало причину смерти, но маловероятно, что причина смерти такого большого числа смертей была вызвана вакцинацией против COVID-19. Во всем мире ситуация была бы гораздо более ужасной. Это нельзя сбрасывать со счетов как теорию заговора.

В ходе эксперимента в Токийском научном университете 100% крыс умерли через 20 дней после вакцинации против COVID-19. Также при вакцинации кошек от COVID-19 через два года погибло 100% кошек. В 2013 году Pfizer уже начала клинические испытания своей вакцины против COVID-19 на 200,000 человек. К августу 2022 года, спустя девять полных лет, в живых останется только пятеро. По состоянию на 3 мая 2023 года, то есть по прошествии двух полных лет, количество умерших в Японии равно населению двух из 47 префектур. Таким образом, к 2030 году население мира будет составлять менее половины нынешнего. Сейчас Япония вот-вот погибнет. Однако никто в Японии не знает этой реальности. Это потому, что они каждый день смотрят устройство для промывания мозгов, называемое телевидением.

1. <https://www.nicovideo.jp/watch/sm41813511>
2. <https://www.nicovideo.jp/watch/sm40548425>
3. <https://www.nicovideo.jp/watch/sm405851>



## **ВИПАДКИ ВРОСЛОГО НІГТЯ, КОМПЛЕКСНЕ ЛІКУВАННЯ: АНАЛІЗ КЛІНІЧНОГО ДОСВІДУ, АВТОРСЬКІ ПОГЛЯДИ**

**Вергун А.Р., Мацях Ю.М., Калитовська\* М.Б., Вергун О.М., Кравчук І.В.,  
Шалько І.В., Лиховид П.Б., Олексюк О.Б., Фостяк\*\* А.Є., Мокрецька\*\* Н.М.**

*Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького*

*\*КЗВО ЛОР «Львівська медична академія імені Андрія Крушинського»*

*\*\*Комунальне некомерційне підприємство “Львівське територіальне медичне об’єднання №2  
“Клінічна лікарня планового лікування, реабілітації та паліативної допомоги”, ВП “4-а лікарня”*

Як відомо та підтверджено нашими попередніми дослідженням операційне лікування врослого нігтя (ВН), як повноцінне хірургічне втручання, повинно бути декомпресійним (шляхом виконання резекції чи видалення нігтя ліквідувати патологічну компресію епоніхеальних тканин) та містити профілактичний (попереджувати виникнення рецидивів вrostання) компонент. Резекція та видалення нігтьової пластини (ВНП), елімінуючи врослий субстрат (край нігтя), не ліквідує епоніхеальний валик (субстрат для вrostання); тому ці методи, як самостійні операційні втручання, вважаємо паліативно-декомпресійними. Двохкомпонентні методи (резекція нігтьової пластини (РНП), або видалення нігтя (екстирпація чи абляція нігтьової пластини), доповнена висіченням зміненого епоніхія; також, – доповнена парціальною матриксектомією) є протирецидивними, висічення патологічно змінених епоніхеальних тканин елімінує субстрат для вrostання (епоніхеальний валик), а часткова крайова ексцизія матриксу ВН звужує нігтьову пластину, попереджуючи повторне вrostання, що дозволяє значно зменшити кількість рецидивів, тому такі операції ми вважаємо умовно-радикальними з протирецидивним компонентом.

Нами досліджено 414 випадків вrostання, зокрема оніхокриптозу як основного варіанту неускладненої та некомбінованої інкарнації нігтя та стверджено, що існує декілька варіантів вrostання: три основні типи змін епоніхеальних тканин, чотири варіанти вrostання краю нігтя та інші чотири варіанти клінічного перебігу захворювання. Патогенез інкарнації є достатньо складним і може представляти собою від 1 до 4 одномоментно існуючих «порочних кіл» (Circulus vitiosus),  $\chi^2=27,41$ ,  $p<0,01$ , коефіцієнт Спірмена у досліджуваних групах 0,552-0,617, що створює певні труднощі для повноцінного комплексного лікування та вимагає індивідуалізованого підходу для хірургічної корекції та ведення післяопераційного періоду. Оніхокриптоз, не асоційований з мікотичною патологією, проспективно виявлено у 148 осіб. Стверджено, що інфільтративно-серозна стадія при подальшій дії етіологічного чинника переходить у некротично-гнійну, в т.ч. з формуванням гіпергрануляцій. Нами оптимізовано клінічну класифікацію ВН; буквенно-числовим кодуванням максимально охоплено повний “спектр” клінічних варіантів ВН. Частіше первинно розвивається епоніхеальний абсцес, який

прориває назовні, проте патологічна компресія краєм нігтьової пластини залишається, захворювання переходить у хронічну некротично-гнійну стадію з утворенням вогнищевих некрозів та гіпергрануляцій. Хронічне некротично-гнійне запалення, у ряді випадків, внаслідок дії додаткового чинника (наприклад травми), може переходити у стадію гострого епоніхеального абсцесу. Наявність множинних деформацій краю нігтьової пластини: зазубреностей або (та) шатроподібної деформації нігтя або (та) ділянок розшарування й оніхолізу, на нашу думку, свідчить про значну ймовірність виникнення рецидиву. Такі зміни є прямим показом до виконання парціальної матриксектомії як додаткового протирецидивного компоненту хірургічного лікування. У 53,86% спостережень проспективної сувибірки нами констатовано оніхомікоз та врослий ніготь. Дистально- та проксимально латеральний оніхомікоз у таких випадках частіше носив характер вторинного захворювання,  $\chi^2=27,18$ ,  $p<0,01$ , коефіцієнт Спірмена у досліджуваних групах 0,588-0,617. Проте нерідко спостерігалися випадки патологічного вrostання мікотично зміненої нігтьової пластини, що особливо характерно для трихофітій у людей похилого віку,  $\chi^2=28,25$ ,  $p<0,01$ , коефіцієнт Спірмена у досліджуваних групах 0,552-0,612. Найбільш ефективними методами системної антимікотичної терапії вважаємо пульс-терапію флуконазолом, ітраконазолом та тербінафіном (флуконазол застосовано у 16%, тербінафін – у 17,95% та ітраконазол у стандартних фунгіцидних концентраціях – у інших 20,24% субвибірки), що забезпечує клінічне видужання у 65-80% хворих; серед місцевих препаратів оптимальним вважаємо застосування тербінафіну, що дозволяє досягти при комбінованій терапії понад 75% повного видужання при оніхомікозі ( $\chi^2=22,13$ ,  $p<0,01$ ), включаючи комбіновані випадки з виникненням оніхокриптозу; антимікотичними лаками (циклопірокс або аморолфін) сануємо залишені ділянки мікотично уражених нігтів з метою профілактики реінфекції операційних ран.

Консервативне лікування показане лише при інфільтративній фазі розвитку ВН – вrostання з інфільтратом епоніхеальних тканин. Усім хворим було проведено адекватне хірургічне лікування, яке крім стандартного декомпресійного етапу, – повного ВНП при наявності деструктивного оніхомікозу або РНП, містило протирецидивний компонент. Основними, поширеними в клінічній практиці, методами операційного втручання є ВНП та РНП, найчастіше крайова резекція. Практикується як доповнення до основного втручання, висічення патологічно змінених епоніхеальних тканин та парціальна маргінальна матриксектомія – часткова крайова ексцизія матриксу нігтя в ділянці вrostання шляхом механічного висічення або коагуляції діатермокаутером, CO<sup>2</sup> (карбондиоксидним) лазером чи фенолом. Алгоритм оптимального лікування пацієнтів у випадках поєданого ураження, – оніхомікозу та ВН полягав у видаленні ураженої нігтьової пластини, доповненому висіченням

патологічно змінених епоніхеальних тканин та парціальною маргінальною матриксектомією в ділянці вrostання; застосуванні у післяопераційному періоді місцевих та системних антимікотичних препаратів. З ложа уражених нігтів при вторинному ВН найбільш часто виділяли *T. Rubrum* (83%), *S. Albicans* (12%), рідше – *T. mentagrophytes* (5%). У хворих на облітеруючі захворювання артерій нижніх кінцівок нерідко можна виявити патологічне вrostання мікотично ураженої нігтьової пластини. Операцію у випадках виражених гіперкератотидних змін слід доповнювати протирецидивними заходами.

Нами запропоновано спосіб хірургічного доступу для виконання резекції при ускладненому оніхокриптозі (патент на корисну модель), що являє собою блоковидну епоніхеектомію та застосовується як експлоративний доступ при ускладненому ВН так комбінованих ураженнях. Для хірургічного лікування оніхокриптозу доцільно застосовувати черезепоніхеальний доступ до врослого краю нігтьової пластини, ефективність якого детермінується елімінацією зміненого епоніхія зі сторони вrostання, створенням можливості для адекватного виконання РНП, чіткою візуалізацією росткової зони та матрикса для виконання матриксектомії, можливістю розширення доступу для ревізії субоніхеальних структур, включаючи дистальний кінець нігтьової фаланги. При первинному експлоративному видаленні патологічно змінених епоніхеальних тканин візуалізується врослий край нігтьової пластини, що дозволяє інтраопераційно макроскопічно оцінити його морфологічні зміни та визначити оптимальний обсяг резекції нігтя. Візуалізуємо врослий край нігтьової пластини та здійснюємо його мобілізацію та резекцію по всій його довжині або повне ВНП. Висікаємо та прецизійно діатермокоагулюємо матрикс нігтя в ділянці вrostання. Відсоток рецидиву вrostання (від загальної вибірки) при класичному виконанні операційного лікування ВН коливається у межах 3,7%-13,85%, що відповідає стандартам ефективності проведення операційних втручань з приводу оніхокриптозу. Проведений аналіз клінічних випадків показав, що комплексне лікування повинно бути адекватним, протирецидивним, індивідуально підібраним у відповідності до морфологічних характеристик вrostання, ускладнень, наявності фонових захворювань.

**ДЕСТРУКТИВНИЙ УСКЛАДНЕНИЙ ОНІХОМІКОЗ,  
АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИН РЕЦИДИВІВ ТА ПОВТОРНИХ  
ІНКАРНАЦІЙ: КЛІНІЧНИЙ ДОСВІД**

**Вергун А.Р., Мощинська О.М., Вергун О.М., Красний М.Р., Парашук Б.М.,  
Кіт З.М., Шалько І.В., Чуловський\* Б.Я., Олексюк О.Б., Кульчицький\*\* В.В.**

*Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького*

*\*Комунальне некомерційне підприємство «Львівське територіальне медичне об'єднання №2.*

*Клінічна лікарня планового лікування, реабілітації та паліативної допомоги»,  
відокремлений підрозділ «4-а лікарня»*

*\*\* Комунальне некомерційне підприємство «Львівське територіальне медичне об'єднання №2.*

*Клінічна лікарня планового лікування, реабілітації та паліативної допомоги»,  
відокремлений підрозділ «Львівська 1-а міська клінічна лікарня ім. Князя Лева»*

*e-mail: plagiamail@meta.ua, м. Львів, Україна*

У вітчизняній і закордонній літературі нами виявлено невелику кількість комплексних досліджень морфогенезу та прогнозу хірургічної оніхопатології. Вивчено нозологічні форми, клінічні варіанти, методи терапії, способи операційних втручань, причини рецидивів інкарнації нігтя. Охарактеризовано деякі протирецидивні заходи комплексного хірургічного лікування хірургічної оніхопатології. Метою нашої роботи було з'ясувати клінічні особливості та вдосконалити комплексне лікування основних нозологічних форм хірургічної оніхопатології, попередження ускладнень і рецидивів.

Опрацьовано за 10-річний період медичні карти 919 хворих: 503 чоловіків і 416 жінок, віком від 5-92 років. Найбільшу кількість становили особи з деструктивним поліоніхомікотичним ураженням і поєднаним оніхомікозом. За нозологічними формами нами було виокремлено 5 субвибірок. Розподіл на субвибірки проведений з урахуванням домінуючої патології, рецидивів інкарнацій нігтьових пластин й уражень навколонигтьових структур. Розподіл за віком демонстрував превалювання (у загальній кількості) осіб середнього і похилого віку, особливо у субвибірках з мікотичним дерматофітним (трихофітним) ураженням. Нами стверджено, що зростання частоти ускладнених випадків хірургічної оніхопатології було двоохвильовим у групах осіб середнього та похилого віку. Стверджено кореляцію частоти різних нозологічних форм мікотичних уражень: дерматофітії, кандидозу й оніхогрифозу у субвибірках осіб похилого і старечого віку, що на нашу думку, свідчить про зростання частоти мікотичних гнійних оніхій, підтверджує

зростання імовірності розвитку компресійних ускладнень – вторинної та повторної інкарнації.

При дослідженні динаміки зміни кількості спостережень найчастіших нозологічних форм – врослого (інкарнованого) нігтя і дерматофітійного оніхомікозу з піднігтьовим гіперкератозом нами констатовано наявність кореляції ( $p \leq 0,05$ ) у субвибірках осіб похилого та старечого віку, що підтверджує гіпотезу про патогенетичну взаємозалежність деструктивного оніхомікозу та двохсторонньої вторинної інкарнації нігтя. Діагностовано 496 випадків деструктивних мікотичних уражень, в т.ч. вторинну інкарнацію нігтя внаслідок компресії гіперкератоїдними масами і дерматофітомою (оніхоматрикою) центральної частини мікотично зміненого нігтя, що детермінувало його вторинну кліщеподібну деформацію. Оптимальним було застосування тербінафіну й системне – ітраконазолу, що дозволяло досягти більше 85% повного видужання при оніхомікозі, включаючи комбіновані випадки з виникненням повторних інкарнацій; антимікотичними лаками санували залишені ділянки мікотично уражених нігтів з метою профілактики реінфекції операційних ран. Видалення інкарнованих нігтів застосовано у всіх випадках, з них у 12,90% субвибірки застосовано видалення нігтя типу Дюпюїтрена без протирецидивних доповнень, розширену абляцію з висіченням дерматофітоми – у інших 11,49%. Пацієнтам виконано типові й атипові резекції нігтів, видалення нігтьових пластин пушером та антирецидивні компоненти згідно зі стандартними рекомендаціями. Стверджено зростання частоти виконання ефективних двох- та трьохкомпонентних резекційних втручань в умовах мікотично-асоційованої інкарнації у групах з комбінованим застосуванням системним – ітраконазолу і локальним – тербінафіну з добрими функціональними та косметичними результатами.

Наявність вогнищ оніхомадезу / оніхолісису і ділянок гіперкератозу, вторинного відшарування частини нігтьової пластини, на нашу думку, обґрунтовує доцільність виконання малотравматичної оніхектомії через оніхолізовані структури з одномоментним послідовним видаленням дерматофітоми та ділянок вросання з епоніхеальними валиками. Стверджено, що операції за Дюпюїтrenom, Емертом-Шміденом, Мелешевичем дуже травматичні, спотворюють анатомію нігтьової пластини та субоніхеальних структур і в 11-20% випадків (в залежності від наявності мікотичної оніходеструкції й ускладнень) – призводять до рецидивів, зокрема до повторної інкарнації уражених нігтів. Грубі погрішності хірургічної техніки становлять найбільшу частоту серед причин рецидиву

інкарнацій на фоні оніхомікотичного ураження, зокрема відмова від проведення парціальної матриксектомії (36% рецидивних спостережень) та травматичне виконання оніхектомії (інші 30% рецидивів).

Таким чином, хірургічна оніхопатологія включає групу нозологічних форм гнійно-некротичних, а також мікотично-асоційованих уражень нігтьової фаланги, – нігтя та навколонігтьових тканин, що вимагають операційного втручання в ургентному або плановому порядку для ліквідації вогнища інфекції, попередження ускладнень та рецидивів. Клінічна схожість грибкових і негрибкових уражень нігтів та нігтьових валиків часто є причиною значних діагностичних труднощів та призводить до помилок у виборі методів і засобів їх лікування. Стверджено, що виконання блокоподібної епоніхектомії (під прикриттям системної пульс-терапії) є основним експлоративним доступом; видалення ураженої нігтьової пластини та/або парціальна матриксектомія необхідні у всіх випадках ускладненої інкарнації нігтя із профілактикою мікст-інфікування антимікотичними лаками, як первинні превентивні заходи щодо вrostання і рецидивів оніхомікозу. При наявності інкарнації / вrostання нігтя, патологічних деформацій нігтьових пластин, гіпергрануляцій та вогнищевих субунгвальних некрозів основний етап операційного лікування доповнюємо антирецидивними компонентами. Наявність фонового облітеруючого судинного захворювання нерідко погіршує перебіг післяопераційного періоду і прогноз та вимагає комплексного застосування щадних і максимально ефективних методів.

**ПАПЛОМАВІРУСНО АСОЦІЙОВАНА ЕКТОПІЯ ШИЙКИ МАТКИ У  
ЖІНОК ФЕРТИЛЬНОГО ВІКУ: КЛІНІЧНИЙ ДОСВІД  
ДІАГНОСТИКИ І КОМПЛЕКСНОГО ЛІКУВАННЯ**

**Макагонов І.О., Чуловський\* Я.Б., Вергун А.Р., Литвинчук\* М.М.,  
Вергун О.М., Марко\* О.Г., Каганяк\* В.Й., Кузовкіна\* О.Л., Кульчицький\*\* В.В.**

*Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького*

*\*Комунальне некомерційне підприємство «Львівське територіальне медичне об'єднання №2.*

*Клінічна лікарня планового лікування, реабілітації та паліативної допомоги»,  
відокремлений підрозділ «4-а лікарня»*

*\*\* Комунальне некомерційне підприємство «Львівське територіальне медичне об'єднання №2.*

*Клінічна лікарня планового лікування, реабілітації та паліативної допомоги»,  
відокремлений підрозділ «Львівська 1-а міська клінічна лікарня ім. Князя Лева»*

*e-mail: plagiamail@meta.ua, м. Львів, Україна*

Патологічні стани вагінальної частини шийки матки у структурі гінекологічної захворюваності жінок репродуктивного віку – переміщення циліндричного епітелію від каналу шийки матки до периферії її піхвової частини, що може бути дисгормонального і посттравматичного походження. Частота ектопій циліндричного епітелію становить 38,8-42,2%. Для успішного лікування патології шийки матки важливим є визначення виду та причин захворювання. У результаті глобального погіршення імунного статусу населення планети на перше місце виходять інфекції вірусної етіології. За даними різних дослідників розповсюдженість вірусу папіломи людини серед населення у світі у віці 15-49 років складає від 5% до 20%. Найбільшу увагу привертають типи вірусу папіломи людини високого онкогенного ризику (16, 18, 31, 33-й), на частку яких припадає більше ніж 50% загального числа жінок із цервікальними інтраепітеліальними неоплазіями та раком шийки матки. Найбільш вразливою ділянкою для дії вірусу є зона трансформації – ділянка заміщення циліндричного епітелію плоским. Тому наявність ектопії шийки матки на фоні папіломавірусного інфікування є обтяжувальною обставиною для розвитку раку шийки матки.

У багатьох наукових роботах стверджено, що вірус папіломи людини є необхідним, але не достатнім фактором канцерогенезу. Перебіг папіломавірусної інфекції залежить від стану імунної системи. Кофакторами канцерогенезу є порушення клітинного та гуморального імунітету. Місцевий клітинний імунітет (кератиноцити, інтраепітеліальні

лімфоцити) відіграє критичну роль у розвитку ВПЛ-інфекції. Значна частина антитіл до вірусу папіломи людини також продукується інтравагінально.

У статті на основі аналізу даних джерел наукової літератури та медичної документації (матеріалів 174 медичних карти пацієток, обстежених та пролікованих протягом останніх п'яти років у лікувальних закладах м. Львова) проаналізовано клінічний досвід діагностики та комплексного лікування жінок репродуктивного віку.

Патогенетичною основою онкогенеза, індукованого вірусом папіломи людини, є інтеграція вірусної ДНК у хромосому інфікованих клітин з активним синтезом вірусних онкобілків Е6 та Е7, які порушують нормальний процес апоптозу та здатні пригнічувати диференціювання клітин. Захворювання, які обумовлені та асоційовані з вірусом папіломи людини і персистують у шийці матки, можуть бути причиною порушення менструальної функції, анте- і інтранатального інфікування плода.

Внаслідок інфікування й персистенції вірусу папіломи людини відбувається інтеграція геному вірусу в геном базальних клітин багатопшарового плоского епітелію екзоцервіксу, що призводить до підвищення їх проліферативної активності й онкогенної мутації. Набута папіломавірусно асоційована ектопія шийки матки була представлена циліндричним епітелієм у різних поєднаннях із зоною трансформації у вигляді гронаподібних скупчень округлих або довгастих сосочків червоного кольору, які різнилися за площею поширення на піхвовій частині шийки матки, гіперемією та значним набряком слизової оболонки шийки матки. Гістологічне дослідження біоптатів виконувалося за показами. Поряд з умовно-патогенною коковою і бацилярною мікрофлорою виявлялись у діагностичному титрі патогенні види стафілококів, стрептококів, кишкової палички.

Імунологічне дослідження крові включало визначення загальної кількості Т- і В клітин, а також субпопуляції Т-лімфоцитів (CD5, CD4, CD8, CD16). Усім пацієткам, включеним в дослідження, проведена трансабдомінальна і трансвагінальна ультрасонографія на апаратах з технологією 3D/4D, забезпечених функцією кольорового доплерівського картування та імпульсно-хвильовою доплерометрією.

Залежно від методики лікування пацієтки були рандомізовані на дві клінічні групи. До основної групи входили 87 пацієток, яким у схему комплексного лікування яких, окрім санації піхви, включали Лавомакс (тилорон) по 1 таблетці (125мг) щодня у перші 2 дні лікування, а потім по 1 таблетці через кожні 48 год, курсова доза 2,5 г. Жінкам групи порівняння відновлення стану мікробіоти піхви проводили без імунотерапії. Імунотерапія,



проведена в основній групі призвела до нормалізації показників загальної кількості Т-ліфоцитів.

Після проведеного комплексного лікування вдалося досягнути елімінації вірусу папілломи людини у 141 (81,03%) хворих основної та 134 (77,01%) жінок групи порівняння. Трансвагінальне ультразвукове дослідження проведене на сканерах з технологією 3D/4D дозволило не тільки визначати розміри шийки матки, але і виявляти кісти залоз ектопії, у тому числі глибоко розташовані, які неможливо діагностувати за допомогою кольпоскопії або візуально.

У результаті лікування констатовано редукцію патологічного процесу – ектопії шийки матки у 121 (69,54%) пацієток основної і 96(55,17%) у групі порівняння. Без використання імунокоригувальної терапії процеси епітелізації шийки матки проходили повільніше, ніж у хворих, які отримували тілорон у складі комплексного лікування. У 141 (81,03%) пацієток основної та у 134 (77,01%) групи порівняння відбулася елімінація вірусу папілломи людини.

Отримані результати дозволяють рекомендувати включати у комплекс обстеження хворих з фоновими ураженнями шийки матки трансвагінальне ультразвукове дослідження за допомогою сканерів з технологією 3D/4D, яке для діагностики глибоких кіст залоз та ектопії має більшу чутливість та специфічність і які тяжко / неможливо виявити візуально або за допомогою кольпоскопії. При виборі методу лікування ектопій слід обирати диференційований підхід (консервативний або оперативний) залежно від особливостей клінічних проявів, морфологічної картини та репродуктивних планів пацієнтки.

## РОЛЬ СТАНУ ТІОЛОВОЇ СИСТЕМИ ПРИ РОЗВИТКУ ГЛАУКОМИ В УМОВАХ МОДУЛЯЦІЇ ЕНДОГЕННОГО СТАНУ ГІДРОГЕН СУЛЬФІДУ

Михейцева І.М., Бондаренко Н.В., Коломійчук С.Г., Сіроштаненко Т.І.,  
Сторожук Н.В., Кузнецов М.К.

ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В.П. Філатова НАМН України», Одеса,  
Україна, [filatovbiochem@ukr.net](mailto:filatovbiochem@ukr.net)

Первинна відкритокутова глаукома (ПВКГ) за даними багатьох іноземних та вітчизняних досліджень займає друге місце серед захворювань, що призводять до сліпоти. Незважаючи на лікування існуючими засобами, при глаукомі з часом знижується функціональний стан ока та його зорові функції. ПВКГ, таким чином, має суттєве медико-соціального значення в сучасному світі [1-3]. Незважаючи на досягнення у вивченні як патогенетичних механізмів ПВКГ, так і розробки новітніх засобів терапії, проблема лікування та запобігання ускладненню перебігу цього захворювання залишається актуальною і на сьогодні [1,3,4].

На сьогоднішній день велика увага надається молекулярним механізмам розвитку глаукомної нейропатії. Пріоритетом щодо патогенетичних механізмів глаукомного процесу вважається інтенсифікація вільно-радикальних процесів з формуванням реактивних метаболітів, активацією перекисного окислення ліпідів, зниженням антиоксидантного потенціалу та формуванням оксидативного стресу в нейрональних та дренажних тканинах ока, що призводить до порушення гідродинаміки ока та нейродегенеративних змін в задньому його відділі [5-8].

Згідно сучасним даним глаукома вважається хронічним багатофакторним захворюванням, яке характеризується дистрофічними та дегенеративними змінами від сітківки до коркового відділу зорового аналізатора і має в своїй основі метаболічні та функціональні порушення [9,10]. На сьогоднішній день, з метою вчасного запобігання розвитку незворотних патологічних змін при глаукомі, крім контролю за змінами внутрішньоочного тиску (ВОТ), дослідження стану сітківки та зорового нерву, необхідно спрямувати значні наукові зусилля на вивчення специфічних біомаркерів нейродегенеративних змін при цьому захворюванні та дослідженню регуляторних механізмів в патогенезі ПВКГ [11-13].

Останнім часом участь газових трансміттерів, таких як оксид азоту та гідроген сульфід в патогенезі різних захворювань починає активно вивчатись [14,15]. Участь оксиду азоту в становленні та розвитку глаукоми досліджується дуже активно останні роки [16,17]. Тоді як роль сірководню як сигнальної молекули в патогенезі глаукомного процесу залишається ще не вивченою. Знижений рівень цього трансміттеру відзначається при різних нейродегенеративних захворюваннях - хвороба Альцгеймера, Паркінсона тощо [18]. Заслужовує уваги також і те, що гідроген сульфід має регуляторний вплив на обмін речовин, цитопротекторні та антиоксидантні властивості [19,20].

Враховуючи, що тіолові сполуки, особливо окисно-відновна система глутатіону, займає одно з центральних місць в антиоксидантній системі ока зору, ми досліджували в тканинах ока кролів з експериментальною глаукомою за умови модуляції ендogenous стану гідроген сульфідів рівень системи глутатіону.

**Мета.** Визначення рівню тіолових сполук в тканинах ока кролів при експериментальній глаукомі в умовах модуляції ендogenous стану гідроген сульфідів.

**Матеріал і методи.** Глаукому моделювали за допомогою внутрішньовенних ін'єкцій 0,1 мл розчину адреналіну (1:1000) через день протягом 3 місяців. У другій групі тварини

протягом моделювання адреналін-індукованої глаукоми (АІГ) отримували інстиляції 1 % розчину гідросульфиду натрію в якості донора сірководню. ВОТ вимірювали тонометром Маклакова (плунжер 7,5 г) за умови місцевої анестезії, проводили офтальмоскопічні та біомікроскопічні дослідження. В тканині дренажної зони ока, сітківці та зоровому нерві визначали рівень відновленого та окисленого глутатіону.

**Результати.** Отримані дані по визначенню вмісту глутатіону в сітківці ока кролів з АІГ свідчать про виразне зниження рівня його відновленої форми та підвищення окисленої форми відносно контролю. В групі кролів з АІГ з введенням донору сірководню в сітківці відзначали нормалізацію рівня глутатіону. При порівнянні даних цієї групи з відповідними значеннями вмісту глутатіону кролів тільки з АІГ отримали виразне достовірно значуще зростання рівня відновленої форми на тлі зниження окисленої форми. Модуляція ендogenous стану гідроген сульфід у кролів з АІГ в зоровому нерві викликала тенденцію до нормалізації показників тіолового стану. При порівнянні даних цієї групи з відповідними значеннями вмісту глутатіону кролів тільки з АІГ отримано в достовірно значуще підвищення відновленої форми глутатіону та зниження його окисленої форми. В тканині дренажної зони ока кролів з АІГ рівень відновленого глутатіону був також знижений, а окисленої форми підвищений ( $p < 0,05$ ) при порівнянні з контрольною групою. При застосуванні щоденних інстиляцій гідросульфиду натрію у кролів з АІГ нами отримано в тканині дренажної зони ока достовірно значуще підвищення рівня відновленої форми глутатіону та зниження окисленої форми при порівнянні з групою тварин з АІГ.

Оцінка тіолового статусу (співвідношення вмісту відновленого глутатіону до його окисленої форми) в досліджуваних тканинах ока кролів з АІГ показала його значне зниження, а при модуляції ендogenous стану гідроген сульфід у кролів з АІГ відзначалось підвищення цього індексу.

**Узагальнення.** Таким чином, дослідження рівня відновленого та окисленого глутатіону в досліджених тканинах ока кролів з АІГ свідчать про порушення тіолового статусу в тканинах дренажної зони, сітківці та зоровому нерві. При цьому модуляція ендogenous стану гідроген сульфід в тканинах ока кролів на тлі моделювання АІГ сприяла нормалізації тіолового статусу.

Наші дослідження показали, що під впливом довготривалого місцевого введення донору сірководню в очі тварин з глаукомою окисно-відновна система глутатіону нормалізувалась значною мірою. Це відбувалось шляхом зниження в тканинах ока, що вивчаються, окисної форми глутатіону, підвищення відновленої форми, і як наслідок – нормалізації індексу тіолового статусу (відновлений глутатіон / окислений глутатіон).

Узагальнюючи отримані результати проведених нами досліджень, слід зазначити, що у кролів з АІГ в тканинах дренажної зони, в сітківці та зоровому нерві суттєво порушено тіоловий статус, виснаження якого розвинулось на тлі оксидативного стресу при підвищеному офтальмотонусі.

Загалом, зазначені метаболічні зміни в досліджуваних тканинах ока тварин з АІГ при зниженому ендogenous стані гідроген сульфід можуть викликати пошкодження нейронів сітківки і зорового нерву. Застосування щоденних інстиляцій гідросульфиду натрію в якості донора сірководню у кролів з АІГ сприяло стабілізації тіолового статусу, що може сприяти нормалізації функціональних показників ока, зокрема ВОТ у дослідних тварин, що свідчить про залученість газотрансмітера гідроген сульфід ( $H_2S$ ) в регуляції механізмів оксидативного стресу та гідродинаміки ока при формуванні експериментального глаукомного процесу.

**Список літератури**

1. Риков С. О. Слепота та слабкозорість. Шляхи профілактики в Україні. Науково-методичне видання / С. О. Риков, О. П. Вітовська, Н. А. Обухова // Київ: Доктор-Медіа. – 2011. – 268 с.
2. Tham Y. C. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis / Y. C. Tham, X. Li, T. Y. Wong et al. // *Ophthalmology*. – 2014. – V. 121, № 11. – P. 2081-2090.
3. Веселовська З. Ф. Глаукома первинна відкритокутова. Первинна та вторинна медична допомога (Уніфікований клінічний протокол медичної допомоги ) / З. Ф. Веселовська // *Офтальмологія*. – 2015. –Т. 1, № 1. – С. 95-117.
4. Новицький І. Я. Сучасна хірургія первинної відкритокутової глаукоми. Перехід до мініінвазивних операцій / Я. І. Новицький // Львів: Літопис. – 2018. – 120 с.
5. Михейцева И. Н. Оксидативный стресс и эндотелиальная дисфункция как патогенетические факторы в глаукомном процессе / И. Н. Михейцева // *Патология*. – 2008. – Т. 5, № 3. – С. 125-126.
6. Михейцева И. Н. Модели глаукомы, преимущества и недостатки. Адреналин-индуцированная глаукома как адекватная модель глаукомного процесса человека / И. Н. Михейцева // *Офтальмол. журнал*. – 2011. – № 3. – С. 89-92.
7. Bagnis A. Aqueous humor oxidative stress proteomic levels in primary open angle glaucoma / A. Bagnis, A. Izzotti, M. Centofanti et al. // *Exp. Eye Res.* – 2012. – V. 103. – P. 55-62.
8. Canizales L. Low-level expression of SOD1 in peripheral blood samples of patients diagnosed with primary open-angle glaucoma / L. Canizales, L. Rodriguez, C. Rivera et al. // *Biomarkers in medicine*. – 2016. – V. 10. – P. 1218-1223.
9. Михейцева І. М. Роль тригерних ендотеліальних, нейрональних та інтегративних механізмів у розвитку дизрегуляційного глаукомного процесу і нові підходи патогенетичної терапії первинної глаукоми [Текст] : автореф. дис. ... д-ра біол. наук : 14.03.04 / Михейцева Ірина Миколаївна // ДЗ "Луган. держ. мед. ун-т". – Луганськ, 2013. – 40 с.
10. Zhang X. Advanced imaging for glaucoma study: design, baseline characteristics and intersite comparison / X. Zhang, P. V. Le, B. A. Francis et al. // *Am. J. Ophthalmol.* – 2015. – V. 159, № 2. – P. 393-403.
11. Harris A. Cerebral blood flow in glaucoma patients / A. Harris, B. Siesky, B. Wirostko // *J. Glaucoma*. – 2013. – V.22 (suppl 5). – P. 46-48.
12. Пасечникова Н. В. Вопросы регуляции эндотелия в патогенезе первичной глаукомы / Н. В. Пасечникова, И. Н. Михейцева, В. Н. Ельский // *Национальный журнал глаукома*. – 2014. – Т. 13, № 4. – С. 5-12.
13. Rolle T. Editorial: Glaucoma and Brain: Impact of Neurodegeneration on Visual Abilities and Related Biomarkers. / T. Rolle, G. C. M. Rossi, P. Brusini // *Front. Aging Neurosci.* – 2022. – V. 14.
14. Whiteman M. Emerging role of hydrogen sulfide in health and disease: critical appraisal of biomarkers and pharmacological tools / M. Whiteman, S. Le Trionnaire, M. Chopra et al. // *Clin. Sci. (Lond)*. – 2011. – V. 121, №11. – P. 459-488. doi: <https://doi.org/10.1042/CS20110267>.
15. Садляк О. В. Оксид азоту: деякі аспекти прояву біохімічних ефектів на органно-системному рівні / О. В. Садляк. // *Медична та клінічна хімія*. – 2015. – Т. 17, № 4. – С. 107-1125.
16. Михейцева И. Н. Глаукомная оптическая нейропатия – основные аспекты патогенеза / И. Н. Михейцева // *Архів клінічної та експериментальної медицини*. – 2009. – Т. 18, № 2. – С. 235-240.
17. Aliancy J. Review of Nitric Oxide for the Treatment of Glaucomatous Disease / J. Aliancy, W. D. Stamer, B. Wirostko // *Ophthalmol. Ther.* – 2017. – V. 6. – P. 221–232.
18. Hu L. F. Neuroprotective effects of hydrogen sulfide on Parkinson's disease rat models / L. F. Hu, M. Lu, C. X. Tiong et al. // *Aging Cell*. – 2010. – V. 9. – P. 135-146.
19. Wang R. Hydrogen Sulfide: The Third Gasotransmitter in Biology and Medicine / R. Wang // *Antioxidants & Redox Signaling*. – 2010. – P. 1061-1064.
20. Ju Y. H(2)S signaling in redox regulation of cellular functions / Y. Ju, W. Zhang, Y. Pei et al. // *Physiol. Pharmacol.* – 2013. – V. 91, № 1. – P. 8-14.

## КОМПЛЕКСНА ПРОТЕОЛІТИЧНА АКТИВНІСТЬ ДЕЯКИХ ЕНЗИМНИХ ПРЕПАРАТІВ МІКРОБНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Топтіков Валентин Анатолійович, Романовська Ірина Ігорівна  
Фізико-хімічний інститут ім. О. В. Богатського АН України, v.a.toptikov@gmail.com

Протеолітичні ензими поширені повсюдно, оскільки вони незамінні для будь-якого живого організму. Вони виробляються всіма організмами, будь то прокариоти чи еукаріоти, або віруси. Важливість цих ензимів визначається безліччю їх функціональних можливостей та різноманітністю процесів, в яких вони виконують провідну роль [1].

Препарати мікробного походження, що мають протеолітичну активність, широко застосовуються у різних галузях промисловості, а також у медицині та косметології [2]. Серед них особливе місце займають препарати з колагеназною та фібринолітичною активністю у комбустіології, оскільки здатні розщеплювати нерозчинні протеїни опікового струпу [3].

Галузі застосування та способи використання протеолітичних препаратів залежать від комплексу їх властивостей. В зв'язку з цим метою дослідження було визначення протеолітичної активності до різних субстратів деяких комерційних ензимних препаратів мікробного походження.

### Матеріали і методи.

Досліджували наступні препарати мікробного походження: серратіопептидазу з *Serratia marcescens* E15, протеазу С і колагеназу з *Acremonium chrysogenum* (ENZIM Biotech). Серратіопептидазу отримували шляхом очищення таблеток серрати (Kusum Healthcare Pvt Ltd) [4].

Вміст протеїну визначали за методом Лоурі у модифікації Хартрі [5]. Загальну протеолітичну активність визначали за казеїном з коров'ячого молока (Sigma) (2 % розчин у буфері) за схемою, запропонованою у [6] за тирозином. Желатинолітичну активність встановлювали, використовуючи 0,5 % розчин желатину (Serva). Колагенолітичну активність визначали за колагеном бичачого ахілового сухожилля (Sigma-Aldrich) (2 мг в інкубаційній суміші), за методом [7]. Для визначення фібринолітичної активності застосовували 1 мг фібрину з плазми людини (Sigma-Aldrich). Ступінь гідролізу протеїнів вимірювали також за лейцином. Виявлення трипсиноподібної активності здійснювали за продукту гідролізу БАПНА – *n*-нітроаніліну [8]. Тирозин визначали реактивом Фоліна, лейцин – у реакції з нінгідрином. Вміст протеїну, визначення активності препаратів досліджували спектрофотометрично (Cary 60, Agilent Technologies).

Математичну та статистичну обробку результатів проводили у пакеті Microsoft Excel. Розраховували середні арифметичні значення (M) та їх стандартну похибку ( $\pm$  SE). Достовірність результатів оцінювали за допомогою *t*-критерію Стьюдента та дисперсійного аналізу. За критичний рівень достовірності приймали значення нульової гіпотези  $P < 0,05$ .

### Результати та їх обговорення

Відомо, що колаген та желатин містять вкрай мало тирозину (менш 1%). В зв'язку з цим визначення протеолітичної активності, в тому числі загальної і фібринолітичної, крім стандартної методики, вперше здійснювали за лейцином. Вибір лейцину в якості референсної амінокислоти на відміну від визнаних обумовлений тим, що дозволяє порівнювати рівень специфічної активності досліджуваних протеїназ до різних субстратів.

Розбіжності між значеннями показників активності по казеїну, що визначалися за різними амінокислотами, можна пояснити різними причинами: 1) у амінокислотному складі казеїну лейцину в декілька разів більше, ніж тирозину; 2) нінгідринний реактив виявляє всі амінокислоти, що виникають за гідролізу протеїнів, тоді як реактив Фоліна більш специфічний саме до тирозину; 3) методи визначення амінокислот мають неоднакову чутливість; 4) визначенню тирозину реактивом Фоліна заважають багато сполук.

Досліджувані препарати проявляли активність до всіх застосованих субстратів, але з різним рівнем (табл. 1). Так, серратіопептидаза поступалася іншим препаратам за питомою загальною та желатинолітичною активністю, але на порядок ефективніше розщеплювала фібрин. Протеаза С і колагеназа виявляли найбільшу колагеназну активність.

Таблиця 1

Питома протеолітична активність досліджуваних препаратів, (M±SE)

Субстрат	Ензимні препарати		
	Колагеназа	Протеаза С	Серратіопептидаза
Казеїн	258,732 ± 4,183*	130,001 ± 3,152*	729,476 ± 13,744*
	288,920 ± 5,630**	156,380 ± 1,570**	39,940 ± 0,961**
Желатин	62,495 ± 2,855**	131,898 ± 4,070**	14,732 ± 0,415**
Колаген	11,036 ± 0,290**	10,033 ± 0,265**	0,657 ± 0,109**
Фібрин	0,006 ± 0,001**	0,021 ± 0,003**	0,395 ± 0,029**
БАПНА	8,170 ± 0,100***	10,451 ± 0,469	3,513 ± 0,407

Примітка: активність розраховували: \* - за тирозином (нмоль амінокислоти/мг протеїну/хв), \*\* - за лейцином (мкмоль амінокислоти/мг протеїну/хв), \*\*\* - за БАПНА (мкмоль *n*-нітроаніліну/мг протеїну/хв).

Особливості прояву протеолітичної активності досліджуваних препаратах добре виявляються за аналізу співвідношень ступеня гідролізу різних субстратів (табл. 2).

Таблиця 2

Частка протеолітичної активності до специфічних субстратів  
в загальній активності (%)

Субстрат	Досліджувані протеолітичні препарати		
	Колагеназа	Протеаза С	Серратіопептидаза
Казеїн*	100	100	100
Желатин*	22	84	37
Колаген*	4	6	2
Фібрин* (× 10 <sup>3</sup> )	2	13	989
БАПНА**	3	7	1

Примітка: \*визначення активності проводили за лейцином, \*\*зазначене співвідношення є умовним, оскільки вимірювання протеолітичної активності здійснювали

в різних одиницях; ці дані можна використовувати лише для порівняльної оцінки досліджуваних препаратів.

З наведених даних видно, що досліджувані препарати різняться не тільки за питомою активністю, але й специфічністю по відношенню до різних субстратів. Відсотковий вміст колагеназної активності в загальній активності є найбільшим у протеази С і колагенази. Зазначені препарати також мають порівняно з серратіопептидазою значну специфічність до синтетичного субстрату БАПНА. При цьому в загальній активності протеази С відносно інших препаратів виявляється найбільша частка желатиназної та амідазної активності. Серратіопептидазі властивий найвищий вміст фібринолітичної активності.

Таким чином, запропонована модифікація методів визначення спектру протеолітичних активностей (уніфікація референсної амінокислоти і часу тривалості реакції) дозволила адекватно оцінювати і порівнювати активності до різних субстратів розглянутих препаратів. В залежності від конкретних практичних завдань досліджувані ензими можуть мати різне використання.

#### Список літератури

1. Barrett A.J., Rawlings N.D, Woessner J.F. Handbook of proteolytic enzymes. London: Academic Press.- 2004.-4097
2. Razzag A. et al. Microbial proteases application //Front. Bioeng. Biotechnol. – 2019.- V.7. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00110>
3. Pham C. H. et al. The role of collagenase ointment in acute burns: a systematic review and meta-analysis //J. of Wound Care.- 2019.-Vol. 28,№2.- P. 9-15
4. Романовська І.І., Рижак О.А., Декіна С.С., Шестеренко Ю.А., Шестеренко Є.А. «Нові полімерні матеріали комплексної протеолітичної дії» // «Нові функціональні речовини і матеріали хімічного виробництва», Київ: Академперіодика, 2021.- С. 188-198. <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.444.188>
5. Natree E. F. Determination of protein : a modification of the Lowry method that gives a linear photometric response // Anal Biochem. - 1972. - Vol. 48. - P. 422-427.
6. Петрова И.С., Винцюнайте М.Н. Определение протеолитической активности ферментных препаратов микробного происхождения // Прикл. биохим. микробиол. - 1966. - Vol. 2, № 1. - P. 322-327.
7. Mandl I. Collagenase // Science. - 1970. –V. 169, 3951- P. 1234-1238
8. Erlanger B.F., Kokowsky N. Cohen W. The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin // Arch. Biochem. Biophys. 1961. Vol. 95. P. 271–278. DOI: 10.1016/0003-9861(61)90145-x

## **МЕХАНІЗМИ ЕВОЛЮЦІЇ ГЕНОМА ЕУКАРІОТІВ**

**Шевчук Тетяна Ігорівна**

*Вінницький національний медичний університет імені М. І. Пирогова*  
*e-mail: [shevchukti77@gmail.com](mailto:shevchukti77@gmail.com)*

Визначення еволюційних механізмів функціонування геному дозволяє пояснити походження генетичного поліморфізму і біологічного різноманіття, встановити значення горизонтального перенесення генів, прослідкувати за тривалістю формування комплексу певних генів, а також пояснити еволюцію спадкової патології людини.

Геноміка вивчає структурно-функціональні особливості геномів організмів. Геноміка людини є основою молекулярної медицини, яка ставить за мету розробку методів діагностики, лікування і профілактики спадкових і неспадкових захворювань людини. Важливе медичне значення також має вивчення геноміки мікроорганізмів з метою з'ясування патогенезу інфекційних захворювань і створення ліків, які б діяли на певні патогенні організми. Розвиток вчення про геном дозволив виокремити структурну геноміку (вивчає нуклеотидну послідовність геномів), функціональну геноміку (встановлює функції певних елементів генома, їх взаємодію і регуляцію), порівняльну геноміку (вивчає подібність та відмінність в організації геномів різних організмів), еволюційну геноміку (визначає шляхи та механізми еволюції геномів) та медичну геноміку (вирішує питання клінічної і профілактичної медицини, вивчає мутації чи поліморфізми генів, які є причиною певних хвороб).

В основі еволюції людини лежить еволюція її генома, оскільки всі етапи розвитку людини фіксувалися в молекулі ДНК для підтримання основних властивостей життя: спадковості і мінливості.

Особливості організації спадкового матеріалу і механізми його кодування і реалізації у про- та еукаріотів свідчать на користь спільного походження і наявності загального предка, у якого вже були сформовані процеси самовідтворення і запису генетичної інформації на основі таких молекулярних процесів, як реплікація молекули ДНК і універсальність генетичного коду. Особливістю генома спільного предка є надлишковість молекули ДНК, яка і обумовила різні напрямки еволюції геномів про- та еукаріотів.

Ймовірно, що еволюція прокаріотичного генома йшла в напрямку зменшення його розмірів за рахунок втрати некодуючих ділянок. Це призвело до того, що майже 95 % ДНК прокаріотів експресується. Одночасно зі зменшенням розмірів геному у прокаріотичних форм життя з'являється властивість швидко розмножуватися, що обумовлює високий рівень пристосування. Гаплоїдність генома прокаріотів, прояв у фенотипі будь-якої мутації хоч і забезпечує виживання і різноманітність форм, але не сприяє прогресивній еволюції живих організмів.

Еволюція еукаріотичного генома йшла, навпаки, в напрямку збільшення кількості ДНК. У людини основна маса ДНК (99,5 %) зосереджена у хромосомах. У складі генів знаходиться близько 25-35 % ДНК і лише 10 % з них є кодуючими унікальними нуклеотидними послідовностями і 90 % - некодуючими ділянками. Повторювані послідовності ДНК становлять 75-65 % і розташовані поза генами.

Збільшення розмірів генома еукаріотів можливе кількома способами. Одним із механізмів є поліплоїдизація, тобто збільшення кількості ДНК і хромосом, кратне гаплоїдному набору хромосом. Але, як засвідчують вчені, збільшення дози генів в наслідок поліплоїдизації не завжди дає позитивний біологічний ефект, тому в ході еволюції відмічається перехід до диплоїдного стану.

Ще одним важливим механізмом збільшення об'єму генома є ампліфікація ДНК, яка полягає в утворенні копій певних нуклеотидних послідовностей. Велика українська енциклопедія дає таке визначення поняттю «ампліфікація» - (з лат. *amplificatio*) це розширення, збільшення, це процес утворення додаткових копій ДНК. Ампліфікація певних послідовностей



ДНК є закономірним процесом онтогенезу більшості організмів, який забезпечує утворення великої кількості копій генів. Основою природної ампліфікації є реплікація ДНК, а в штучних умовах відтворити (ампліфікувати) достатню кількість копій певних нуклеотидних послідовностей можна за допомогою полімеразної ланцюгової реакції в спеціальному приладі – ампліфікаторі [1].

Процес ампліфікації генів лежить в основі багатьох генно-інженерних досліджень, в тому числі геномного редагування, молекулярного, терапевтичного і репродуктивного клонування, а також створення генно-модифікованих організмів, генної терапії [2].

Значення ампліфікації для еволюції організмів очевидне. Виникнення великих мультисімейств генів, що відповідають за синтез білків-ферментів, білків-регуляторів транскрипції, білків-переносників та інших сигнальних молекул пов'язане з ампліфікацією або дуплікацією певних нуклеотидних послідовностей і подальшою дивергенцією генів. Багаторазове копіювання або дублювання генів покращує морфофункціональну форму білків за рахунок збільшення дози генів, оскільки часто дублюється не лише певний ген, а й оточуючі ділянки, які можуть містити десятки інших генів. Утворені амплікони потім підлягають ремоделюванню у вигляді делеції деяких послідовностей [3].

Досягнення в галузі сучасної молекулярної медицини дозволяють зрозуміти значення ампліфікації генів у виникненні онкологічних захворювань. Так, ампліфікація і гіперекспресія певних генів (EGFR, ERBB2) визначається при раку шлунку у людини та деяких пухлинних ураженнях інших органів [4]. Ампліфікація онкогена позахромосомної ДНК призводить до агресивного росту пухлин, виникнення стійкості до лікарських засобів і, відповідно, зниження тривалості життя [5].

На молекулярному рівні еволюція генома еукаріотів може реалізуватися кількома шляхами: зміна кодуєчих ділянок ДНК та їх продуктів, тобто виникнення нових генів; втрата функції певних генів і перехід їх у послідовності, що не транскрибуються; модифікація механізмів регуляції генів на всіх етапах їх експресії; виникнення мутацій, які здатні пригнічувати експресію генів або змінювати їх функцію.

Вчені виявили, що, до прикладу, в ході еволюції людини втрачено близько 80 генів, частина з яких контролювала наявність нюхових рецепторів, здатних відчувати різні молекули. Крім цього людський геном втратив ген, що кодує синтез кератину волосся, що призвело до стоншення і зменшення волосяного покриву; інактивація гена міозину (MYH16) сприяла еволюції нервової системи людини в напрямку збільшення розмірів мозку [6, 7].

Вагоме значення в ході еволюції еукаріотичного генома мала не втрата, а, навпаки, надбання нових генів. Існує кілька механізмів появи нових генів в геному еукаріотів. Одним із них є горизонтальне перенесення генів з геномів інших видів організмів, аргументом чого є наявність у геномі людини генів деяких бактерій і вірусів. У людському організмі знаходиться велика кількість симбіонтів і патогенних мікроорганізмів, гени яких, ймовірно, можуть переноситись в геном людини. Хоча горизонтальне перенесення генів вважається завершеним в тому випадку, коли чужорідні гени проникли в гамети, вмонтувалися в хромосоми або знаходяться у вигляді мобільних генетичних елементів, і здатні передаватися наступним поколінням. Перше експериментальне дослідження горизонтального перенесення генів у геном людини було проведене бразильськими вченими, які виявили в геномі здорових людей, предки яких перехворіли на американський трипаносомоз, гени трипаносом, які були здатні передаватися нащадкам у вигляді транспозонів [8].

Нові гени можуть виникати шляхом ампліфікації старих послідовностей з подальшими мутаціями у новостворених копіях генів. В більшості випадків збільшення числа копій нуклеотидних послідовностей на організм впливає нейтрально. Але у людини відмічений взаємозв'язок між збільшенням числа копій певних генів і виникненням таких захворювань як шизофренія, аутизм, онкологічні хвороби [9].

Ще одним джерелом появи нових генів є наявність в геномі псевдогенів. Псевдогени – це нуклеотидні послідовності, які втратили свою функцію і не експресуються. Псевдогени можуть виникати внаслідок зворотного копіювання зрілої РНК за допомогою зворотної транскриптази або в наслідок дуплікації (ампліфікації) функціонуючих генів.

Псевдогени містять мутації, які викликають зсув рамки зчитування або появу стоп-кодонів, транскрипція зупиняється і гени втрачають свої функції. Прикладом є втрата псевдогена, що відповідає за синтез вітаміна С.

Збільшення кількості ДНК сприяло різним її модифікаціям. Прикладом є поява транспозонів, які копіюють не лише власні послідовності нуклеотидів, а можуть і частково захопити ділянки функціонуючих генів. В подальшому такі комбіновані ділянки можуть стати псевдогенами.

Якщо раніше псевдогени вважали незначущими ділянками в геномі еукаріотів, то тепер з'являється все більше досліджень, які доводять, що псевдогени все ж володіють певними функціями. Деякі псевдогени здатні синтезувати білкові продукти, які можуть регулювати експресію функціональних генів. Іноді мутація псевдогена може призвести до відновлення його функції або виникнення нового гена. Також деякі псевдогени можуть транскрибуватися, використовуючи при цьому промотори найближчих функціональних генів, а інші псевдогени унеможливають експресію активних генів, зупиняючи їх експресію, що призводить до спадкових хвороб [10].

Отже, на сьогодні існує чітке розуміння того, що нуклеотидна послідовність, яка виникла в наслідок ампліфікації і тривалий період вважалась «мовчазною, неінформативною», «еволюційним сміттям», насправді виконує важливу роль у функціонуванні організмів і еволюції генома еукаріотів.

За рахунок ампліфікації ДНК може виникати надлишковість екзонів певних генів, які можуть бути залучені в еволюційний процес. Крім того утворення нових генних комбінацій в кожному поколінні створює можливості генетичного різноманіття, яке є матеріалом для еволюції і піддається впливу природного відбору. Особливістю генома еукаріотів, що сформувався в процесі еволюції, є те, що він забезпечує не лише адаптивну, а й прогресивну еволюцію.

#### **Список літератури**

1. Кунах В. А. Ампліфікація (біологія). Велика українська енциклопедія. URL : [https://vue.gov.ua/Ампліфікація\(біологія\)](https://vue.gov.ua/Ампліфікація(біологія)) (дата звернення: 12.04.2023).
2. Комісаренко С. В., Романюк С. І. Редагування геному, або CRISPR/CAS9 — панацея від багатьох невиліковних хвороб чи перший крок до генного апокаліпсису? *Вісн. НАН України*. 2020. № 3. С. 50-77.
3. Andrew B Morgenthaler, Ryan K Fritts, Shelley D Copley, Amplicon Remodeling and Genomic Mutations Drive Population Dynamics after Segmental Amplification, *Molecular Biology and Evolution*, Volume 39, Issue 1, January 2022, msab289, <https://doi.org/10.1093/molbev/msab289>.
4. Чернобай А.В., Чернобай М.А. Роль генів-регуляторів клітинного циклу в розвитку раку шлунка. *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії*. 2018. №3 (63). С. 331-335.
5. Lange, J.T., Rose, J.C., Chen, C.Y. *et al.* The evolutionary dynamics of extrachromosomal DNA in human cancers. *Nat Genet* 54, 1527–1533 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41588-022-01177-x>.
6. Oh, H. J., Choi, D., Goh, C. J., & Hahn, Y. (2015, July 31). Loss of gene function and evolution of human phenotypes. *BMB Reports*. Korean Society for Biochemistry and Molecular Biology - BMB Reports. <https://doi.org/10.5483/bmbrep.2015.48.7.073>.
7. Litman, T., Stein, W.D. Ancient lineages of the keratin-associated protein (KRTAP) genes and their co-option in the evolution of the hair follicle. *BMC Ecol Evo* 23, 7 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12862-023-02107-z>.
8. Проблеми горизонтального перенесення генів у геном людини / В. М. Помогайбо, О. І. Березан, М. Ю. Дельва, А. В. Петрушов. *Світ медицини та біології*. 2017. № 2. С. 190-194.
9. Скрипніков А.М., Кидонь П.В. Етіологія та патогенез шизофренії: сучасний стан вивчення проблеми. Полтава: АСМІ, 2019. 51 с.
10. Чернушин С. Ю., Лівшиць Л. А. Методика аналізу мутацій гена CYP21A2 у хворих на вроджену гіперплазію кори наднирників. *Biotechnologia acta*. 2014. V.7. № 1. С. 75-79.

**СУМІСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ІНГІБІТОРІВ ТИРОЗИНАЗИ**  
**Шестеренко Ю.А.<sup>1</sup>, Романовська І.І.<sup>1</sup>, Карпенко О.С.<sup>1</sup>, Шевчук В.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Фізико-хімічний інститут ім. О.В. Богатського НАН України,  
Люстдорфська дор., 86, Одеса, Україна, 65080

<sup>2</sup>Національний університет «Одеська політехніка»  
проспект Шевченка, 1, Одеса, Україна, 65044  
[yushesterenko@gmail.com](mailto:yushesterenko@gmail.com)

Утворення меланіну в організмі людини виконує важливу роль у захисті від УФ-випромінювання, що може сприяти тяжким захворюванням (злоякісним новоутворенням шкіри), однак надмірне накопичення пігменту призводить до низки захворювань і косметологічних проблем (токсичних і лікарських меланодермій, мелазми, лентіго та ін.). Для зменшення біосинтезу меланіну використовують інгібітори тирозинази, ензиму класу оксидоредуктаз (К.Ф. 1.14.18.1). На сьогоднішній день відомо багато сполук як природного, так і синтетичного походження, що знижують активність тирозинази, однак лише деякі з них використовуються як ефективні препарати для лікування дерматологічних захворювань [1].

Відомо, що при сумісному застосуванні ліків може спостерігатися синергізм, тобто перевищення ефекту, який викликається кожним окремо, що дозволяє зменшити дози комбінованих препаратів і їх токсичність. Крім того, при сумісному застосуванні речовин, що діють на один і той самий рецептор, кінцевий ефект може дорівнювати сумі ефектів окремо застосовуваних препаратів (адитивний ефект) чи зменшитися, аж до повного усунення впливу одного із препаратів (антагонізм) [2].

Для інгібіторів тирозинази є обмежена кількість літературних даних щодо сумісного застосування декількох речовин, що мають інгібуючу здатність. Так, Hseu Y.C. та ін. було показано, що ліндеранолід В проявляв синергітичний ефект при сумісному застосуванні із койєвою кислотою, фенілтіосечовиною і арбутином, максимальний ефект спостерігався у суміші ліндераноліду В і арбутину [3]. При одночасному застосуванні арбутину і алоезину також був виявлений синергізм як у випадку інгібуювання тирозинази грибів, так і людини [4]. Значне зменшення  $IC_{50}$  спостерігалось як для 3-(2,4-дигідроксифеніл)пропіонової так і для аскорбінової кислоти при їх сумісному інгібуюванні тирозинази [5]. Комбіноване лікування декількома інгібіторами тирозинази розглядається як перспективний підхід до зменшення побічних ефектів та збільшення терапевтичної ефективності.

Для визначення впливу сумісного додавання речовин на активність тирозинази були обрані як стандартні інгібітори активності ензиму (койєва кислота, арбутін, фенілтіосечовина) так і виявлений нами 3-(2-гідроксифеніламіно)-1,3-дигідро-індол-2-он (похідне індолу).

В ході дослідження сумісного інгібуювання тирозинази обраними сполуками для кожної окремо були визначені значення  $IC_{50}$  і  $IC_{75}$  (концентрація інгібітора при якій активність ензиму знижується на 50 і 75 %, відповідно (табл. 1).

Таблиця 1.

$IC_{50}$  і  $IC_{75}$  інгібуювання тирозинази досліджуваними сполуками

№	Сполука	Концентрація інгібітора, мкмоль/дм <sup>3</sup>	
		$IC_{50}$	$IC_{75}$
1	Койєва кислота	60,8	148,4
2	Арбутін	180,0	451,8
3	Фенілтіосечовина	6,2	15,4
4	3-(2-Гідроксифеніламіно)-1,3-дигідро-індол-2-он	8,8	22,1

Для вивчення впливу одночасного використання двох інгібіторів ензиму, обрані сполуки змішували попарно у декількох концентраціях. Взаємодію розраховували з використанням комбінаційного індексу (CI) згідно з [6]:

$$CI = \frac{IC_{50/75a \text{ мікс}}}{IC_{50/75a}} + \frac{IC_{50/75b \text{ мікс}}}{IC_{50/75b}}$$

де  $IC_{50/75a}$  і  $IC_{50/75b}$  – отримані значення концентрацій для кожної сполуки окремо, а  $IC_{50/75a \text{ мікс}}$  і  $IC_{50/75b \text{ мікс}}$  – концентрації індивідуальних сполук в суміші, що викликає 50% і 75% інгібування активності тирозинази. Отримані значення  $CI < 0,9$  вказують на синергізм, значення між 0,9 і 1,1 свідчать про адитивну дію, тоді як  $CI > 1,1$  характерне для антагонізму.

Досліджено вплив відомих інгібіторів на активність ензиму при сумісному введенні койєвої кислоти з арбутіном, койєвої кислоти з фенілтіосечовиною і арбутіну з фенілтіосечовиною. Отримані результати представлені в таблиці 2.

Таблиця 2.

Комбінаційний індекс і тип взаємодії обраних сполук при сумісному інгібуванні активності тирозинази

№	Суміш сполук	Значення CI		Тип взаємодії
		$IC_{50}$	$IC_{75}$	
1	Койєва кислота + + арбутін	1,02	1,03	Адитивна дія
2	Койєва кислота + + фенілтіосечовина	1,01	0,96	Адитивна дія
3	Арбутін + фенілтіосечовина	1,01	1,03	Адитивна дія

Розраховані значення комбінаційного індексу для всіх досліджених сумішей стандартних інгібіторів тирозинази були близькими до 1, що свідчить про адитивний ефект при одночасному застосуванні в усіх вивчених випадках.

У роботі [2] автори дослідження стверджують, що синергічний ефект інгібування ензиму при сумісному використанні двох сполук присутній, якщо інгібітори мають різний механізм дії, наприклад арбутін – конкурентний інгібітор і алоезин – неконкурентний інгібітор. Тому для подальшого вивчення сумісного зниження активності тирозинази були обрані конкурентні інгібітори – койєва кислота, арбутін і фенілтіосечовина, і неконкурентний – 3-(2-гідроксифеніламіно)-1,3-дигідро-індол-2-он.

Отримані результати показали, що одночасне застосування койєвої кислоти і арбутіну із похідним індолу має синергетичний ефект (комбінаційні індекси  $< 0,9$ ), однак вивчення суміші фенілтіосечовини із похідним індолу виявило адитивну дію (табл. 3).

Таблиця 3.

Комбінаційний індекс і тип взаємодії обраних сполук при сумісному інгібуванні активності тирозинази

№	Суміш сполук	Значення CI		Тип взаємодії
		$IC_{50}$	$IC_{75}$	
1	Койєва кислота + похідне індолу	0,83	0,75	Синергізм

2	Арбутін + похідне індолу	0,86	0,80	Синергізм
3	Фенілтіосечовина + похідне індолу	1,0	1,02	Адитивна дія

Таким чином, в ході дослідження впливу сумісного використання інгібіторів активності тирозинази (койєвої кислоти, арбутину, фенілтіосечовини і 3-(2-гідроксифеніламіно)-1,3-дигідро-індол-2-ону) у різних комбінаціях були виявлені як адитивний, так і синергетичний ефекти.

Синергетичний ефект при одночасному застосуванні двох інгібіторів тирозинази відкриває широкі можливості для створення менш токсичних, більш ефективних і економічних засобів лікування гіперпігментації, через зменшення концентрації кожного інгібітора.

#### **Список літератури:**

1. J. Li, L. Fen, L. Liu, F. Wang, L. Ouyang, L. Zhang, X. Hu, G. Wang. Recent advances in the design and discovery of synthetic tyrosinase inhibitors // *Eur. J. Med. Chem.* – 2021. – V. 224. – 113744.
2. Z. You, Y. Li, M. Chen, V.K.W. Wong, K. Zhang, X. Zheng., W. Liu. Inhibition of plant essential oils and their interaction in binary combinations against tyrosinase // *Food. Nutr. Res.* – 2022. – 66.
3. Hseu Y.-Ch., Cheng K.-C., Lin Y.-C., Chen C.-Y., Chou H.-Yu, Ma D.-L., Leung C.-H., Wen Z.-H., Wang H.-M.D. Synergistic Effects of Linderanolide B Combined with Arbutin, PTU or Kojic Acid on Tyrosinase Inhibition // *Curr. Pharm. Biotechnol.* – 2015. – V. 16, № 13. – P. 1120-1126.
4. Jin Y.H., Lee S.J., Chung M.H., Park J.H., Park Y.I., Cho T.H., Lee S.K. Aloesin and arbutin inhibit tyrosinase activity in a synergistic manner via a different action mechanism // *Arch. Pharm. Res.* – 1999. – V. 22. – P. 232-236.
5. Chen X., Haniu A., Kashiwagi T., Watanabe H., Watanabe T., Okamoto Yo., Suzuki M., Kim C-S. The evaluation of the synergistic effect of 3-(2,4-dihydroxyphenyl)propionic acid and l-ascorbic acid on tyrosinase inhibition // *Z. Naturforsch. C. J. Biosci.* – 2017. – V. 72, № 12. – P. 119-121.
6. Y. Wang, M-M. Hao, Y. Sun, L-F. Wan, H. Wang, Y-J. Zhang, H-Y. Li, P-W. Zhuang, Z. Yang. Synergistic Promotion on Tyrosinase Inhibition by Antioxidants // *Molecules.* – 2018. – V. 23. – P. 106-119.

**КАРБОКСИЛЕСТЕРАЗА 1 ЦИТОЗОЛЮ ПЕЧІНКИ СВИНІ**  
**Шестеренко Є.А.<sup>1</sup>, Шестеренко Ю.А.<sup>1</sup>, Романовська І.І.<sup>1</sup>, Декина С.С.<sup>1,2</sup>, Кір'як О.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Фізико-хімічний інститут ім. О.В. Богатського НАН України,  
Люстдорфська дор., 86, Одеса, Україна, 65080  
<sup>2</sup>Metabolomics Core Facility, European Molecular Biology Laboratory, 69117,  
Гейдельберг Німеччина

<sup>3</sup>Національний університет «Одеська політехніка»  
проспект Шевченка, 1, Одеса, Україна, 65044  
[shesterenko.ea@gmail.com](mailto:shesterenko.ea@gmail.com)

Карбоксилестерази (КЕ) (ЕС 3.1.1.1) - ключові члени надродини серинових гідролаз [1,2]. Ці ензими містяться в різних тканинах ссавців, таких як печінка, нирки, мозок, центральна нервова система, легені, серце і локалізовані в ендоплазматичному ретикуліумі і цитозолі та відрізняються субстратною специфічністю, тканинним розподілом, імунологічними властивостями, а також генною регуляцією.

КЕ свині – ензим, який метаболізує широкий ряд лікарських препаратів, що використовуються в свинарстві, які містять естерні або амідні групи, такі як нітроцефін, амоксицилін, ампіцилін, азитроміцин, еритроміцин та ін. [3, 4].

КЕ1 є ключовим ензимом, що відповідає за гідроліз ендогенних естерів і відіграє центральну роль в енергетичному метаболізмі, метаболізм ліпідів і гомеостазі холестерину [5].

Мікросомальний ізофермент КЕ1 печінки свині був детально вивчений, відома його молекулярна маса та змодельована структура. КЕ мікросомальної фракції печінки свині широко використовується як біокатализатор в органічному синтезі завдяки високій енантіоселективності [6].

На сьогодні відомостей про ферментативну активність, молекулярну масу та амінокислотну послідовність цитозольних КЕ свиней недостатньо. Показано, що молекулярна маса цитозольної КЕ печінки свині становила 61,885 кДа згідно з матричною лазерною десорбцією та 61 кДа за даними SDS-електрофорезу [7]. Купер і Олсон показали, що КЕ цитозолу печінки свині мав молекулярну масу 180 кДа, як було визначено за допомогою гель-фільтрації [8].

Таким чином, метою даної роботи було вивчити молекулярну масу, амінокислотну послідовність і кінетичні особливості ізоферменту КЕ1 цитозолу печінки свині.

Було розроблено простий відтворюваний метод для отримання гомогенного препарату КЕ з цитозолу печінки свині. Виділення КЕ проводили з цитозольної фракції, отриманої після приготування мікросом. Метод включав фракціонування сульфатом амонію, гель-фільтрацію на Sephadex G-200 та іонообмінну хроматографію на DEAE-Sepharose.

КЕ показала максимальну питому активність при 50-60 % насиченні сульфатом амонію. Далі ензим очищали двома стадіями колонкової хроматографії. Фракція, елюйована з DEAE-Sepharose 0,15 М розчином NaCl, показала високу естеразну активність. Після очищення КЕ питома активність досягла 730 мкмоль/мг білка за хвилину, що було в 243 рази більше, ніж в гомогенаті.

SDS-PAGE кінцевого очищеного ензиму показало, що молекулярна маса субодиниці КЕ цитозольної фракції печінки свині становить 61,8 кДа.

На сьогоднішній день доступна лише кристалографічна структура КЕ1 людини. Ензим являє собою тример, що складається з мономерів М.м. приблизно 60 кДа [9].

Відомо, що молекулярну масу олігомерних білків можна визначити за допомогою Blue Native-PAGE [10]. Молекулярна маса досліджуваного ензиму була оцінена приблизно в 179 кДа, що узгоджується з тримерною структурою КЕ.

Послідовність амінокислот (AA) виділеного ферменту була визначена в Proteomics Core Facility Європейської лабораторії молекулярної біології (EMBL), Гейдельберг, Німеччина.

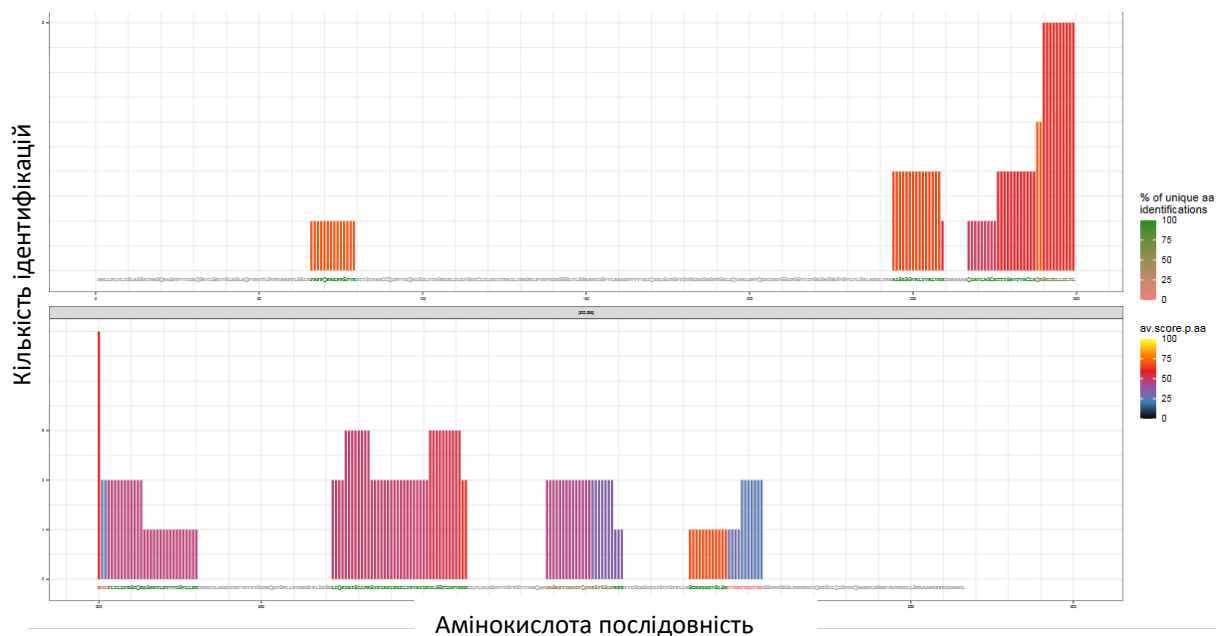


Рис. Амінокислотна послідовність KE1 цитозолу печінки свині.

Молекулярна маса субодиниці KE1 визначена за результатами послідовності AA склала 62,016 кДа, що збігається з результатами SDS-PAGE та даними літератури.

Гідроліз 1-нафтилацетату та 2-нафтилацетату, який каталізується KE1 цитозолу печінки свині, відповідає типовій кінетиці Міхаеліса-Ментена без ознак інгібування при високих концентраціях субстрату. Значення  $K_m$  і  $V_{max}$  були визначені за графіком Хейнса-Вульфа. Значення  $V_{max}$  кінцевого очищеного KE1 становили  $0,78 \pm 0,02$  і  $1,63 \pm 0,10$  ммоль/(хв·мг білка), відповідно для 1- і 2-нафтилацетату.

Значення  $K_m$  досліджуваного ензиму становили  $0,51 \pm 0,03$  і  $0,18 \pm 0,02$  мМ відповідно. Аналіз  $K_m$  показав більшу спорідненість ензиму до 2-нафтилацетату, ніж до 1-нафтилацетату.

Оптимальне значення рН, отримане для більшості KE свиней, коливається в проміжку рН 7,0–9,0 [40]. Було встановлено, що рН-оптимум KE1 цитозолу печінки свині склав 8,0. Показано, що ензим виявляв максимальну активність при 50 °C і був стабільний в межах температури 40-50 °C.

Таким чином, розроблено спосіб виділення гомогенного препарату KE1 цитозолу печінки свині. досліджено біохімічні характеристики, амінокислотну послідовність ензиму. Вивчення кінетики гідролізу 1- і 2-нафтилацетату в присутності ензиму, показано більшу спорідненість KE1 до 2-нафтилацетату, ніж до 1-нафтилацетату.

#### Список літератури:

1 L.-W. Zou, Q. Jin, D.-D. Wang, Q.-K. Qian, D.-C. Hao, G.-B. Ge, L. Yang, Carboxylesterase Inhibitors: An Update, Current Medicinal Chemistry 25(14) (2018) 1627-1649.10.2174/0929867325666171204155558.

[2] S.-S. Song, C.-P. Sun, J.-J. Zhou, L. Chu, Flavonoids as human carboxylesterase 2

inhibitors: Inhibition potentials and molecular docking simulations, *International Journal of Biological Macromolecules* 131 (2019) 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.060>.

[3] S. Arnold, B. Gassner, T. Giger, R. Zwahlen, Banning antimicrobial growth promoters in feedstuffs does not result in increased therapeutic use of antibiotics in medicated feed in pig farming, *Pharmacoepidemiology and Drug Safety* 13(5) (2004) 323-331. [10.1002/pds.874](https://doi.org/10.1002/pds.874).

[4] A. Lekagul, V. Tangcharoensathien, S. Yeung, Patterns of antibiotic use in global pig production: A systematic review, *Veterinary and Animal Science* 7 (2019) 100058. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2019.100058>.

[5] A.D. Quiroga, L. Li, M. Trötz Müller, R. Nelson, S.D. Proctor, H. Köfeler, R. Lehner, Deficiency of carboxylesterase 1/esterase-x results in obesity, hepatic steatosis, and hyperlipidemia, *Hepatology* 56(6) (2012) 2188-2198. <https://doi.org/10.1002/hep.25961>.

[6] D. Romano, F. Bonomi, M.C. de Mattos, T. de Sousa Fonseca, M.d.C.F. de Oliveira, F. Molinari, Esterases as stereoselective biocatalysts, *Biotechnology Advances* 33(5) (2015) 547-565. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.01.006>.

[7] A. Kimura, Y. Shimazaki, Micro-Scale Extraction and Analysis of Intact Carboxylesterase after Trapping on an Immunoaffinity Membrane Surface, *Applied Biochemistry and Biotechnology* 172(8) (2014) 4053-4061. [10.1007/s12010-014-0807-4](https://doi.org/10.1007/s12010-014-0807-4).

[8] D.A. Cooper, J.A. Olson, Hydrolysis of cis and trans isomers of retinyl palmitate by retinyl ester hydrolase of pig liver, *Archives of Biochemistry and Biophysics* 260(2) (1988) 705-711. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(88\)90499-7](https://doi.org/10.1016/0003-9861(88)90499-7).

[9] C.D. Fleming, C.C. Edwards, S.D. Kirby, D.M. Maxwell, P.M. Potter, D.M. Cerasoli, M.R. Redinbo, Crystal Structures of Human Carboxylesterase 1 in Covalent Complexes with the Chemical Warfare Agents Soman and Tabun, *Biochemistry* 46(17) (2007) 5063-5071. [10.1021/bi700246n](https://doi.org/10.1021/bi700246n).

[10] I. Wittig, H.-P. Braun, H. Schägger, Blue native PAGE, *Nature Protocols* 1(1) (2006) 418-428. [10.1038/nprot.2006.62](https://doi.org/10.1038/nprot.2006.62).



## NEWTONIAN SYSTEM OF THE WORRLD AND MODERN SCIENCE

**Trokhimchuck Petro**

*Lesya Ukrainka Volyn national university, Voly av. 13, Lutsk, Ukraine, 43025*

*e-mail: Trokhimchuck.Petro@vnu.ua; [trope1650@gmail.com](mailto:trope1650@gmail.com)*

*Short analysis of Newtonian system of the world and its influence on development of science and culture are analysed. Necessity of creation the united method, which could be resolve problem of creation universal method of formalization the knowledge, is formulated. Short historical analysis of this problem and main rules for the creation this theory are represented. Perspective of using of this method in other area of modern science is discussed too.*

Main aspects of Newtonian system of the word, including history of its creation and influence on the development of modern science are discussing and analyzing in [1-11].

Newton's system of the world was published in the third part of his Mathematical Principles of Natural Philosophy [1]. According to B. Russell [9], this book was written on the analogy of Euclid's "Elements" [11]. However, "Elements" is classical mathematical book. According Arnold "Mathematics is precised knowledge [6], while science is ordered knowledge [7, 8].

The merit of Newton and his system of the world is that he supplemented Descartes' synthetic method [3] and formulated his four rules of inference in physics [1]. Thus, he showed how to formalize the principle "Science is as much science as it has mathematics", which was formulated by R. Bacon [8]. This caused the fact that the Newtonian system of the world (its four rules) that initiated the creation of theoretical natural science and other sciences [8].

Later, the foundations of modern systems theory were formulated [12], measurement theories were developed [6], and it was shown that science is a polyphase system [4].

If we taking these factors into account, made it possible to create a universal theory of formalization of knowledge – polymetric analysis [2, 7, 8]. Six criteria were also formulating, which we should use when creating such systems. In other words, Newton's World System was expanding on modern science and knowledge.

The Newtonian method was using by Newton himself in the creation of classical mechanics (completion of the synthesis of terrestrial and celestial mechanics initiated by R. Descartes into a single system[3]) [1]. This method was also using by B. Russell when creating his inductive theory of logical types [10].

[1] Newton I. Mathematical Principles of Natural Philosophy to which is added Newton's system of the world. – New York: Published by Daniel Adee, 1846. – 582 p.

[2] Dorofeev V. P., Trokhimchuck P. P. Computer Sciences and Synthesis: Retrospective and Perspective. In: Advanced in computer science, vol. 13, ch. 1, pp. 1-32, Ed. Mukesh Singla. New Delhi, AkiNik Publications, 2022.

[3] Fisher K. Descartes. – St. Petersburg: MIFRIL, 1994. – 527 p. (In Russian)

[4] Harris E. E. Hypothesis and perception. – London: George Allen Unwin and N.-Y.: Humanities Press, 1970. – 395 p.

[5] Campbell N. R. Physics: in elements. – Cambridge: University Press, 1920. – 560

[6] Arnold V. I. What is mathematics? Moscow: MTNMO, 2002. (In Russian)

[7] Trokhimchuck P. P. Foundations of Mathematics: Retrospective and Perspective. In: Recent Research Trends in Mathematics. Ed. R. Mehta, M. N. Sharma, vol. 3, ch.3. pp. 41-71. New Dehly: Integrated Publications, 2023.

[8] Trokhimchuck P. P. Theories of Everything: Past, Present, Future. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2021.

[9] Russell B. A history of western philosophy. – Ney York a. o.: A Touchstone Book, 1972. – 760 p.

[10] Russel B. Introduction to mathematical philosophy. – London: Museum street, 1948. – 208 p.

[11] Euclides. Elements. – Santa Fe: Green Lion Press, 2002. – 529 p.

[12] De Condillac E. B. A treatise about systems./ In: E. B. de Condillac. Philosophical transactions in 3 volumes, vol. 2. – Moscow: Mysl', 1982. – P. 5–188. (In Russian)

## ПРО БІНАРНУ ПРИРОДУ СУСПІЛЬСТВА ТА ЛЮДИНИ

Болеста Іван Михайлович

Львівський національний університет імені Івана Франка, [ivanbolesta@gmail.com](mailto:ivanbolesta@gmail.com)

У 1989 році вчений Дж. А. Уїллер проголосив знаменитий вислів: **”все походить із біта: кожна суть, кожна частинка, кожне поле, навіть сам просторово-часовий континуум, ... їхні функції, значення, саме існування ... походять із бітів”**. Це значить, що інформація, мірою якої і служить біт, є первинною, а все решта – наслідки з неї [1].

Таке твердження узгоджується з Біблією. В Євангелії від Іоанна сказано, що **”споконвіку було Слово, а Слово в Бога було... ”**. Якщо під словом **”Слово”** розуміти інформацію, то з цього випливає, що інформація є первинною.

В Євангелії від Матвія (5.37) дано визначення одиниці інформації - біта: **”Ваше ж слово нехай буде: так-так, ні-ні. А все що більше над це, то від лукавого ”**. З цих слів чітко випливає вибір однієї ситуації з двох можливих варіантів – так чи ні, що співпадає з класичним визначенням біта.

З цього випливає, що природа людей, зокрема свідомість, як продукт мислення, має бінарний характер.

Проаналізуємо коротко відомі людству факти, легенди та міфи, які фактично свідчать, **що поняття бінарності давно використовувалося для опису життя людей.**

У найбільш відомому давньо китайському трактаті «Іцзин» - Книзі змін, яка була написана у XII столітті до н.е., детально пояснюється **взаємодія двох протилежних сил: інь та янь** (негативний – позитивний, темний – ясний, жіночий – чоловічий, місяць – сонце, земля – небо, тощо). Ці сили, як стверджується у трактаті, є керівними засадами всіх аспектів життя, яке неперервно змінюється.

**Дуалістичні релігії**, які зародилися декілька тисяч років тому, визнають існування двох протилежних сил – **добра і зла**. Зокрема, у час між 1500 і 1000 роком до н.е. в Центральній Азії появився пророк Зороастр (Заратустра). Його вчення передавалися з покоління до покоління, внаслідок чого сформувалася найбільш відома дуалістична релігія – **зороастризм**.

Зороастризм став основою **маніхейства – течії**, яка вірить в існування Бога як джерела добра, але одночасно вважається існування джерела зла, яке персоніфікується в образі Диявола. У цій релігії світ формувався як результат всезагальної битви між **добрим богом Ахура-Маздою та злим богом Ангра-Майньюном** [2].

Монотеїстичні релігії, зокрема, християнство, сприйняли в себе деякі дуалістичні уявлення, зокрема, поняття про злого Бога проникло у релігію у образі сатани, проти якого слід боротися.

**Маніхейство** засуджене християнством як ересь, однак, багато віруючих у глибині душі сприймають маніхейський погляд на світ, розглядаючи історію як боротьбу добра зі злом (Бога з Дияволом, про якого не раз говориться у Біблії).

Парадокс маніхейства був розв’язаний **святим Августином (354-430 р.н.е.)** [3]. Для його розуміння необхідно уявити, що поняття мають різну природу: **субстанціональну та феноменологічну**. Між цими поняттями немає симетрії: не все, що існує феноменологічно, існує також субстанціонально. Навпаки, якщо поняття існує субстанціонально, то воно обов’язково існує феноменологічно [4].

Для глибокого розуміння цих понять наведемо такі приклади. Добре відомим у фізиці є поняття існування «дірок» в напівпровідниках. Насправді наявність дірок – це відсутність електронів. Однак, для феноменологічного опису процесів, що протікають в напівпровідниках та пристроях, створених на їхній основі, неможливо обійтися без поняття дірки, якої насправді не існує !

Аналогічно, коли говоримо **темряву**, то вона зумовлюється **відсутністю світла**, а, отже є феноменологічним поняттям. Іншим прикладом може слугувати **безлад**, як відсутність **порядку**.

За святим Августином, **існування зла зумовлене відсутністю добра** [3]. Іншими словами зло не має джерела і є проявом світового ніщо, воно сприймається як «щось» на рівні феномену. Саме з цим пунктом пов'язані основні труднощі сприйняття цієї ідеї.

В давньогрецькій філософії сформувалося **поняття антиномії** ( Платон , Аристотель ) [5]. Тоді ж були сформовані деякі семантичні антиномії, наприклад, «**брехун**» ( Євбулід з Мілета). У найпростішому варіанті «Бреху» людина вимовляє: «Я брешу», або «Те, що я зараз кажу, є брехнею», або ж «Це висловлювання хибне». Якщо висловлювання хибне, то промовець сказав правду, і сказане їм не є брехнею. Якщо ж висловлювання не є хибним, а той, хто говорить, стверджує, що воно хибне, то це його висловлювання хибне. Таким чином, якщо той, хто говорить, бреше, він говорить правду, і навпаки. Парадокс «Брехень» справив величезне враження на сучасників Євбуліда. Існує навіть легенда, що якийсь Філіт Косський, зневірившись дозволити цей парадокс, наклав на себе руки, а відомий давньогрецький логік Діодор Кронос, давши обітницю не приймати їжу доти, поки не знайде рішення «брехуна», помер, так і не вирішивши проблему.

Формулюванню та аналізу **антиномії** багато уваги приділяли схоластичні логіки. Родоначальник німецької класичної філософії І.Кант вперше показав, що **антиномії з необхідністю породжуються особливостями процесу пізнання**, зокрема постійними спробами розуму вийти за межі досвіду, пізнати «річ у собі», а оскільки, за Кантом, це неможливо, будь-який такий вихід і призводить до антиномії. [5]. Подібний підхід виражено також у філософському принципі, сформованим Л. Феєрбахом: «Єдність та боротьба протилежностей».

Принципи антиномії виражаються також у філософських поглядах Г. Сковороди та у творчості І.Франка [6].

Бінарний характер прослідковується також у **біологічній природі людства** – існування т. зв. гендерної бінарності, тт. існування мужчин та жінок. У житті кожної людини також виділяється бінарна природа: **духовне і матеріальне**.

Поняття бінарності прослідковується у всіх сферах життя суспільства. У політичній системі – це абсолютизм та анархія,

**Свідомість** – як продукт діяльності мозку, також має бінарний, двійковий характер. Дійсно, з бінарного характеру діяльності мозку випливають такі взаємозв'язані поняття як **істина та фальш, добро і зло, багатство та бідність** та і багато інших, якими користуються люди в усіх культурах та при різних епохах.

Не дивлячись на те, що суть цих понять була і є різною у різних народах та міняється з часом, однак, розподіл на «добро» і «зло» залишається завжди! Саме у стійкості таких взаємно протилежних понять закладена можливість спілкування та взаєморозуміння людей, суспільства та народів, держав, тощо.

На сьогоднішньому етапі розвитку науки немає чіткого розуміння як мозок, як матеріальний носій, породжує свідомість, яка також має бінарну природу. З бінарної природу свідомості випливає, що взаємно протилежні поняття (добро – зло, правда – брехня, тощо ) одночасно притаманні людині.

Виникає питання: як описати стан, у якому одночасно існують два взаємно протилежні поняття. Ці взаємно протилежні поняття існують одночасно, тобто у певному стані містяться одночасно взаємо протилежні речі, «формуючи» неперервний ряд, у якому немає границі між цими поняттями. Можна було б припустити, що існують окремо певні ділянки мозку які «відповідають» за відповідні дії (наприклад, добра або за), які при певних життєвих обставинах проявляються саме так. Однак, сучасні дослідження мозку людини не підтверджують такого

висновку. Згідно сучасних уявлень мозок являє собою гігантську нейронну мережу, а сприйняття інформації реалізується через встановлення зав'язків між нейронами [9,10].

**Суперпозиційний стан.** Для опису стану, який одночасно містить взаємно протилежні поняття, можна використати концепцію суперпозиційності, яка використовується при описі квантово – механічних систем.

Суть цієї концепції полягає у наступному. Відомо, що у квантовій механіці стан системи описують з допомогою хвильової функції  $\Psi(x, y, z, t)$ , квадрат модуля якої вказує на ймовірність знаходження системи у точці з координатами  $x, y, z$  у момент часу  $t$  [7]. Якщо хвильові функції  $\Psi_1$  та  $\Psi_2$  описують стан певної квантової системи, то їхня суперпозиція  $\Psi = c_1\Psi_1 + c_2\Psi_2$  також описуватиме стан цієї ж системи, причому константи  $c_1$  та  $c_2$  задовільняють співвідношення  $c_1^2 + c_2^2 = 1$ , оскільки ймовірність міняється у межах від 0 до 1. Іншими словами, принцип суперпозиції стверджує, що система одночасно перебуває у стані  $\Psi_1$  і у стані  $\Psi_2$ , тобто реалізується логіка I (AND), на відміну від класичної системи, де діє логіка АБО (OR).

Для визначення у якому стані перебуває система у конкретний час, треба провести вимірювання: після вимірювання система з ймовірністю  $c_1^2$  перебуватиме у стані  $\Psi_1$  або з ймовірністю  $c_2^2$  у стані  $\Psi_2$ .

Наглядно проілюструвати принцип суперпозиції можна на прикладі, який запропонували Ейнштейн, Подольський та Розен (ефект ЕПР), аналізуючи стан так званого kota Шредингера [7]. Його суть полягає у наступному. У закритому ящику знаходиться кіт, радіоактивний атом та пристрій, який розбиває ампулу з ядом, якщо лічильник зафіксував розпад радіоактивного ядра. Для стороннього спостерігача згідно принципу суперпозиції система «атом + кіт» знаходиться у суперпозиції двох станів: «атом, що не розпався і живий кіт» I «атом, що розпався і мертвий кіт».

Для виявлення стану системи спостерігач повинен відкрити ящик (тобто провести вимірювання суперпозиційного стану), після якого він виявить: живого kota і атом, що не розпався, АБО мертвого kota і атом, що розпався. Отже, опис системи залежить від того, відкрив чи ні спостерігач ящик, в чому і полягає суть ефекту ЕПР. В більш загальному випадку опис системи після вимірювання залежить від того, усвідомив (чи ні) спостерігач результат вимірювання, що свідчить роль свідомості [7].

Поняття суперпозиційних станів разом з явищем переплутування різних станів (нобелівська премія з фізики за 2022 рік) лежить в основі новітнього напрямку сучасних квантових технологій. Прикладом можа служити технологія **квантових обчислень**. Основним поняттям є **квантовий біт – кубіт**, квантово-механічна система, що може знаходитись одночасно у двох станах: **кубіт існує I в стані «0», I в стані «1»**. Цим він кардинально відрізняється від класичного біта, який може бути **АБО в стані «0», АБО в стані «1»**,

**Квантова механіка та повсякденне життя (прояв суперпозиційності у житті).** Виникає питання: суперпозиційний стан є властивим тільки квантовим системам, і чи може він проявлятися і на макроскопічному рівні?

З аналізу літературних джерел, можна зробити висновок, що в реальному житті, релігіях, міфології, тощо, описуються ситуації, які добре узгоджуються з концепцією суперпозиційного стану. Наведемо деякі приклади, які можна трактувати у термінах суперпозиційного стану.

Наведемо цитату з «Єгипетської книги мертвих» (Budge E.A.W. The Egyptian Book of Dead. (The Papyrus if Art), 1967, 377 p.), яка характеризує уявлення про природу людини і яку можна

**інтерпретувати у рамках суперпозиційного стану:** «...В цілому людина складається з матеріального тіла, духовного тіла, серця, двійника, душі, тіні та невидимої ефірної оболочки (або духа), форми та імені. Всі ці частини **нероздільним чином пов'язані між собою, і хорошиший стан одного має вплив на хорошиший стан інших**» [8].

Приблизно 4000 років тому виник відомий аккадський міф – епос про Гільгамеша. Це оповідання про подвиги Гільгамеша, який **на дві третини був богом, а на одну третину – людиною**. Його стан, таким чином, можна розглядати як суперпозиційний.

Індійський письменник А. Партасараті стверджує, що індуїзм, не є політеїстичною релігією, хоча налічує значне число богів. Індуїзм говорить про одного Бога, а різні боги і богині індуїстського пантеону є **відображенням сили та функцій одного найвищого Бога** у матеріальному світі.

У християнстві **вчення про Трійцю** – Бога отця, Бога сина та Святого духа, Ісуса Христа – як Богочоловіка, також можна трактувати у термінах **суперпозиційного стану**.

**Ісус Христос – як Богочоловік.** Таке твердження також логічно описується у концепції суперпозиційного стану. **Повнотою Божого Об'явлення є Ісус Христос, Богочоловік, у якому «враз із людською природою живе вся повнота Божества» (Кл. 2, 9).** Відмітимо, що за життя Ісуса Христа **юдеї не сприймали** його як Богочоловіка: «Знов камінні схопили юдеї, щоб укаменувати Його. Відповів їм Ісус: «Від Отця показав Я вам добрих учинків багато – за котрий же з тих учинків хочете Мене каменувати?» Юдеї Йому відказали: «Не за добрий учинок хочемо Тебе вкаменувати, а за богозневагу, - **бо Ти, будиши людиною, за Бога Себе видаєши**» (Євангеліє Івана 10,31-33)

Найбільш вдало, на мій погляд, ідею суперпозиційності у житті людей сформулював французький філософ Монтень (1533 - 1592), який стверджував, що **«життя – як таке, ані благо, ані зло: воно вмістило і блага, і зла залежно від того, на що ви самі перетворите його»**.

Вище зазначалося, що взаємно протилежні поняття утворюють у свідомості неперервний ряд, між якими немає межі. Для повсякденного життя людству необхідно визначити межі між ними, наприклад, між добром та злом. Релігія визначає цю межу через поняття **гріха**, конкретизуючи гріх у думці, словах та вчинках. У юриспруденції межа між протилежними поняттями визначається через **закон**, який, головню, стосується вчинків та рідше слів.

## Література.

1. Дж Глік. Інформація. Історія, теорія, потік. / Переклад з англійської. – Москва. АСТ. CORPUS. 2013.- 576 с.
2. Паїк В. Корінь безсмертної України. Українська державність: витоки. – Київ: УВС. 2021.- 356 с.
3. Августин, 1996. – Святий Августин. Сповідь.- Київ: Основи, 1996. Августин Іпонський, *Пояснення Псалмів*, 103, 4, 1.
4. Свідзинський А.В. Синергетична концепція культури. – Луцьк: ВАТ «Волинська обласна друкарня». 2009.- 696 с.
5. М. Булатов. Антиномія // Філософський енциклопедичний словник / В. І. Шинкарук (гол. редкол.) та ін. — Київ : Інститут філософії імені Григорія Сковороди НАН України : Абрис, 2002. — 742 с.
6. Ільницький М.М. Іван Франко: антиномія природи і духу. Львів. Видавництво «Апріорі», 2003.- 264 с.
7. Вакарчук І.О. Квантова механіка: Підручник.- 3 –тє вид. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка.2007.-848 с.
8. Налімов В.В. Спонтанність свідомості. Ймовірнісна теорія смислів і смислова архітектура. Москва. Прометей. 1989.
9. Мерфі Дж. Сила підсвідомості. Як спосіб мислення змінює життя – Харків. КСД. 2022.-298 с.
10. Джошуа Купер Ремо. Сьоме чуття. Київ: Yakaboo publ. -2018. – 382 с.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ЩОДО ІСТОРІЇ ПРАЩУРІВ УКРАЇНЦІВ

Данильченко Павло Іванович  
ДНВП «Геосистема», м. Вінниця  
[pavlodanylchenko@gmail.com](mailto:pavlodanylchenko@gmail.com)

1. Пращури українців, як і пращури всіх інших індоєвропейців, були горянами, на що вказує дуже розгалужена гірська лексика української мови [1, 2].

2. Пращури українців античні германці, алани-торки, да-юечжі і інші сармати, як і всі горяни праіндоєвропейці, були мезобрахікранними або навіть брахікранними.

3. Пращури українців, як і пращури всіх потомствених слов'ян і інших потомствених індоєвропейців, в далекому минулому були темно-червоношкірими, про що свідчать не тільки античні і середньовічні автори, а і їх зображення, що збереглися. Та навіть і зараз всі українці мають зовсім не блідий, а смагляво-червоний колір шкіри.

4. Пращури українців, як і темно-червоношкірі пращури всіх інших потомствених індоєвропейців, принципово не могли бути тубільцями Європи через недостатньо високий рівень ультрафіолетового випромінювання на її теренах. І, отже, вони на протязі багатьох поколінь могли мешкати лише в високогірних улоговинах Південної або Центральної Азії.

5. Слов'янську мову могли принести до Європи лише сармати з Північно-Східного Китаю, де під впливом аустронезійських чи східнокитайських говірок в праслов'янській мові і відновив свою дію закон відкритих складів. Адже ні в Європі ні у Західній Азії на той час не мешкали народи, говірки яких могли б так вплинути на праслов'янську мову.

6. Праслов'янськомовні сери = серменди / сармати мешкали черезсмужно з тунгузо-маньчжурськими племенами (як у державі Шан-Інь, так і пізніше) і тому-то в їх мовах і є дуже багато взаємних лексичних запозичень (ізоглос). До того ж ними використовувалися на той час одні і ті ж афікси -ang, -ung, -ing для утворення прикметників із іменників.

7. Саме пращури сарматів, юечжів і аланів-торків а, отже, і українців стояли у витоків стародавньоіндійської та стародавніх маньчжурської і китайської цивілізацій.

8. Шан-Іньці були пращурами зовсім не хуася, а пратунгузько-маньчжурськомовних сушенів і праслов'янськомовних чиді та бейді / байді.

9. Гуті юечжи (кит.: 月氏; пінйнь: Yuèzhī), що об'єднали всі праслов'янськомовні жунські племена Північного Китаю в єдиний суперетнос, це пращури слов'янськомовних готів ютунгів / ютів і йотунгів / йотів / гьотів та гунів геатів / гаутів / вількінів (велетнів), караболгар і каракозар.

10. Питання про ступінь спорідненості гьотів з готами і вількінами суперечливе, так само як і ототожнення гьотів з гаутами, що згадуються в «Беовульфi» (під назвами «Geata» і «Wedera») та в скандинавських сагах. Адже всі ці етноніми стосуються велетнів і етимологуються дуже просто, як племена (панджабі «gōḥī», лат. «gens» – плем'я; сорані «hoz» – «плем'я, народ»; япон. «Hito» – народ; евенк. «хут» – нащадок; нідерл. «gezin», англ. «house» – родина).

11. Германці це лише кентумна форма сатемного етноніму серменди / сармати.

12. В Європі називали гунами (англосакс. «Hunum») нащадків велетенських сарматів жунів (кит. «jun» / «жун» – «високий, красивий, чарівний»; азерб. «hündür» – високий; нім. «Hüne» – «гігант, богатир»; лакск. «гунн / хун / кхун» – «високий, велетень») а, саме, як скандинавів вількінів / велетів та їх нащадків вільців / лютичів і уличів / улахів / волохів (до складу племінного об'єднання яких могли входити і племена споріднених вількінам і грутуннам каракозар і аланів-торків), так і таких же велетенських слов'янськомовних караболгар і каракозар, племена яких входили до складу орди Аттілі разом з племенами низькорослих пращурів суварів / чувашів, споріднених пращурам тунгусо-маньчжурів.

13. Шляхетні роди козар були спорідненими шляхетним родом грутуннів і вількінів. Адже не тільки правляча династія Амалів у грутуннів, а і правляча династія у козар вели свій родовід від Ансів з Дому Джаову (прасл. \*анс / \*ант, ст.-нім. «Anzi», вал. «anferth» – велетень; д.-грец. «Ὁ Ἄνταϊος» – «антей, велетень», «ἄνωγτες» – вищий, «ἄνωγος» – «паросток, верх»; монг. «өндөр» – високий).

14. Правителі Норвегії і Швеції, що походили з вількінської династії, величалися Хокон / Гаакон (норв. Наакон), Хокан / Хакан (норв. Håkon, швед. Håkan) і, отже, як і руси, козари та авари, використовували праслов'янський сарматський титул Хакан / Каган / Кохан[ий] – «любий, шановний» (с.-япон. «kōhi» – любов).

15. Хурусами / хросами / росами / русами (нім. «groß» – «високий, сильний, крупний, великий»; фриз. «grut» – «великий, крупний»; ст.-укр. «груд» – «височина, пагорб»; гот. \*hrôth / \*hrotps, англосакс. «hreid» – слава) називали нащадків не лише готів гревтунгів / гротунгів / грутуннів = хорутан, а і гунів велетабів / вільтинів / вільців = лютичів Фризії та Голандії, і навіть хорасміїв / хоразміїв Хорезму та Арсії / Артанії.

16. Українці є нащадками слов'янськомовних готоаланів – грутуннів і аланів-торків, а також жунів / гунів – вількінів, каракозар і караболгар і, отже, є мовними та ментальними нащадками і сарматського суперетносу, що утворився в Північному Китаї.

17. Вочевидь, саме грутуннами було запроваджено використання в усній (некодифікованій) праукраїнській мові подовжених приголосних (гемінат) під впливом фінської лексики, що увійшла до піджину, яким вони спілкувалися як з іншими прибульцями, так і з тубільцями Скандинавії.

18. Тяглисть історичного розвитку на етнічних землях українців простежується з моменту виникнення Черняхівської АК а, отже, і античної держави праукраїнськомовних гостроготів грутуннів / грутуннів = русів, що оукраїNELI разом зі спорідненими їм гунами вількінами / велетами = ультинзурами / ультинами = уличами / улахами = волохами / \*волотами та аланами-торками нечисленні кельтсько- та балтськомовні племена.

19. «Праго-корчакці» та «колочинці» були балтськомовними нащадками фінськомовних північних іллірійців та фінськомовних скитів, що асимілізували рештки кельто-тракійців бастарнів. Це примітивне доліхокранне населення півночі України поступово піддалося повній депопуляції і тому фактично і не увійшло до сучасного етносу переважно брахікранних українців, що є мовними та ментальними нащадками сарматського суперетносу.

20. Україна / Оукраїня / \*Оукраїнд (від і.е. \*ek<sup>o</sup>r – «вершина, височина» з переходом \*ek до \*ouk-, \*uk-, \*uc-) це верховна країна чи країна високих людей. Адже всі відомі етноніми чи прізвиська українців означають «високий, вищий» (таміл. «усса», турец. «уїсе» – «вищий, верховний»; гінді «уусаа», турец. «jükar, jühar», карач.-балк. «ogaar», татар. «jugar\*» – високий; кр.-тат. «ууцаг» – верховний; нім. «höher» – «високий, вищий»).

21. Як скити, так і більшість тракійських і іллірійських племен і, навіть, пращури марійців греки ахеїці були фінськомовними, що підтверджується наявністю в мовах всіх сучасних фінськомовних народів Росії (витіснених з Західної Європи римлянами) дуже стародавніх запозичень як з архаїчної латини, так і з архаїчної грецької мови.

22. Античні склавини (скальви) та анти, як і венеди і споріднені прусам античні фризи та споріднені роксоланам античні руги, кюяви та франки були балтськомовними.

23. За легендами кавказьких народів балтськомовні анти, князя Боза яких стратили грутунни, мешкали на Північному Кавказі, а не на теренах України. І, отже, вони на відміну від слов'янськомовних кавказьких аланів, не можуть бути пращурами українців.

24. Населення Пеньківської АК, вочевидь, відповідає решткам населення Черняхівської АК, що зосталося на теренах України після навали переважно слов'янськомовних гунів (ультинзурів / уличів та караболгар), а, можливо, і ослов'яненним грутуннами раніше балтськомовним роксоланам.

25. Балтську мову принесли до Європи з Північної Індії, Центральної і Середньої Азії савромати (яньцай / анти та інші аорси і кангюїці), а також і усуні (язамати та язиги). Адже саме в балтських мовах вісімдесят відсотків коренів є санскритськими.

26. Слов'янська мова на протязі багатьох століть була мовою міжнародного спілкування (лінгва франка) у Центральній та Середній Азії, а також як у Руському, Козарському та Аварському каганатах Європи, так і на теренах Скандинавії.

27. Іранські і середньоазійські євреї перейшли на спілкування слов'янською мовою саме тоді, коли в Хорезмі вони долучилися до торгівлі уздовж Шовкового шляху.

28. Шляхта більшості держав Європи мала сарматське і аланське походження.

29. Античні германці, що розтрозили Римську імперію, були переважно слов'янсько- і балтськомовними. Адже сучасні германські мови сформувалися лише в темні століття Середньовіччя на основі піджинів, якими слов'яни і балти спілкувалися з тубільцями Європи. Спочатку на основі них сформувалися франкська і готська літературні мови, а пізніше і сучасні мови народів північних європейських держав.

30. Якщо українці є нащадками переважно остготів (грутуннів) і гунів (вількінів), а також споріднених їм каракозар, караболгар, аланів-торків і інших слов'янськомовних чорних клобуків, то південні слов'яни є нащадками переважно вестготів (тервінгів і гепідів), а також і караболгар а, можливо, і слов'янськомовних печенігів та гузів-торків.

31. Варяги були як мінімум двомовними, бо знали як рідну слов'янську мову, якою вони спілкувалися у своїх рідинах, так і псевдогерманські мови, якими вони спілкувалися з тубільцями у державах свого мешкання. Тому-то вони і без будь-яких проблем розчинювалися в слов'янському суспільстві стародавньої Київської Русі.

32. Слов'янськомовними були і племена європеїдів, і шляхетні роди всіх інших племен нірунів = жуань-жуанів, що були пращурами як шляхти аварів / обрів, так і шляхти маньчжурів, корейців і народа-вершника (ніппон / ніхон / \*нірун) в Японії.

33. Літературна мова маньчжурів подібно до готської літературної мови сформувалася на основі піджинів, якими слов'янськомовні нащадки серів = сермендів / сарматів спілкувалися з підкореним ними багатоетнічним населенням Китаю. І отже, як для шляхетних, так і для пересічних маньчжурів вона не була мовою спілкування в їхніх родинях. Тому-то майже всі маньчжури поступово від неї з легкістю і відмовилися, перейшовши на спілкування поза родинями на нову лінгва франка – китайську мову.

34. Отже, сучасний етнос Китаю утворився також і на основі слов'янськомовних європеїдів, що однак не повинно нікого бентежити. Адже, не зважаючи на це, населення у провінціях Китаю є значно менш етнічно строкатим, ніж у більшості європейських країн.

35. До гунської спілки племен входили як слов'янськомовні нащадки серів = сермендів / сарматів (пращури велетабів = фризів-русів, вільців і уличів ультинзури / ультини / вількіни та караболгари і каракозари), так і дружні їм тунгузько-маньчжурськомовні племена (пращури волзьких булгарів = суварів / чувашів).

36. Отже, до спілок племен як волзьких булгар (пращурів чувашів), так і західних болгар входили разом з племенами слов'янськомовних сарматів (нащадків індійських «нагів») племена зовсім не тюркськомовних, а тунгузько-маньчжурськомовних і корейськомовних «гуранів» (незначно монголоїдних нащадків «рептилій» сарматів).

37. Нащадки фіно-угро-самодійців сако-масагетів сакси і саксонці є блідолицими доліхокефалами і тому принципово не можуть бути нащадками темно-червоношкірих брахікефалів античних германців / сермендів.

### Література

1. Данильченко, Павло: 2022, Історія племен і народів, що сформували український етнос і державу Україну, [https://chtyvo.org.ua/authors/Danylchenko\\_Pavlo/](https://chtyvo.org.ua/authors/Danylchenko_Pavlo/).

2. Данильченко, П.: 2023, Хрестоматія зі стародавньої історії праслов'янськомовного сарматського суперетносу і його генетичних нащадків: стародавнього аланського і античного германського споріднених суперетносів, а також і українського-давньоруського етносу середньовічної України-Русі, <https://elibrary.com.ua/m/articles/download/12624/3881>, <https://elibrary.com.ua/pavlovin>.



## ТОТОЖНІСТЬ АНТИЧНИХ GERMANЦІВ ТА SARMATІВ

Данильченко Павло Іванович  
ДНВП «Геосистема», м. Вінниця  
[pavlodanylchenko@gmail.com](mailto:pavlodanylchenko@gmail.com)

Якщо етнонім сармати / сармати [лат. Sarmatae, грец. Σαρμάται] / серменди [лат. Sermende] = серби [лат. Serbi, пол. Sarb] / \*серпи етимологізується як «змії, зміяни, чермні», то етнонім германці [лат. Germani, грец. Γερμανοί] / гербани [лат. Gerbani] / гармани [лат. Garmani] / герміони [лат. Hermioni / Hermiones] / гермінони [лат. Herminones] / герімони [лат. Herimones] = \*гермілани / вермілани [лат. Vermilani] етимологізується не тільки як родичі (лит. «gimīnaičiai» / \*ge[r]minaičiai), а і як «черви, черв'яни, чермні / темно-червоні». А червом же праїндоевропейці називали змія і змію. Отже, етнонім германці це є лише кентумна форма сатемного етноніма серменди (кермний / гермний / вермний / сермний / чермний – «темно-червоний, темний»).

Саме через темно-червоний колір шкіри античні автори германіями називали перські племена керманіїв. Вони ж відрізняли германців від темно-червоношкірих пращурів інших слов'ян – сарматів лише за осілим чином мешкання, а зовсім не за кольором шкіри, що могло б бути доцільним, якби ж античні германці були б світлошкірими. Височенні темно-червоношкірі горяни сармати / сармати мешкали не лише на південному, а і на північному узбережжі Балтійського моря. Тому-то в античності воно і називалося Сарматським. І це підтверджується не лише наявністю навіть в Середньовіччі темношкірих і чорноволосих скандинавів (норманів), вікінгів і варягів:

«Д-р Бідді знайшов чорняву расу на острові Мен, де в старовинних могилах були знайдені брахікефальні черепи. Ці чорняві данці суть, може бути, Dubhgaill або «смагляві чужинці», яких ірландські хронікери, описуючи нашествя Вікінга, протиставляють «білявим чужинцям», в яких припускають норвежців. Таким може бути походження брахікефального типу, високого і смаглявого, який зустрічається в деяких данських округах Англії... Етнічним кордоном між кельтами і тевтонами була безперервна лінія гір, утворена Тевтобургським лісом, Тюрінгським лісом і Ісполіновими горами. ...на південь від цієї лінії населення швидше брахікефальне; середній показник дорівнює 79,2 у Гессені, 79,3 у Швабії, 79,8 у Баварії, 80 в Нижній Франконії і 80,1 в Брісгау. Населення нового Вюртембергського королівства також короткоголове. Гельдер, найбільший вюртемберзький авторитет у справі антропології, дивиться на цей тип як на туранський або сарматський, а не як на лігурійський, як він спочатку припускав... Середній показник країн швабських, алеманських і баварських в даний час дорівнює 80» [1];

«Існує ще одне давнє слово, яке використовували англосакси для позначення чорного або коричнево-чорного – це «sweart». Від цього слова могли утворюватися особисті імена Suart і Sueart, що спочатку могли означати людей з темно-коричневим або смаглявим кольором обличчя. Подібні імена зустрічаються в записках Книги страшного суду Букінгемширу і Лінкольнширу. Вони можуть бути скандинавського походження, бо прізвище Svartі виявляється в Північних сагах. Король Норвегії, який помер у 863 році, носив ім'я Хальфде (Halfden) Чорний. Так звані смагляві жителі англосаксонського періоду, ймовірно, включали в себе венеців, іммігрантів або нащадків людей того ж народу, що і пращури сорбів (сербів) з Lausatia (Лужиця) на кордоні Саксонії і Пруссії в наші дні. Частина смаглявих венеців цілком могла перебувати серед смаглявих вікінгів, згаданих як в ірландських анналах, так і в уельських анналах, і могла бути пов'язана з людьми, які залишили англосаксонське ім'я Blacmāne-berghe, що зустрічається в одній з хартій, Blachemenestone на узбережжі Кенту, і Blachemanstone на узбережжі Дорсету. ... Вторгнення на Британські острови вікінгів смаглявого або з темним кольором обличчя ґрунтується на історичних доказах, які занадто ґрунтовні, щоб у них можна було сумніватися. В ірландських анналах Чорні вікінги називалися Dubh-Ghenti, або Чорні Язичники ... Чи пов'язані брүнети Хартфордширу і Букінгемширу частково з поселенцями вендами і норвежцями смаглявого типу, як припускають сьогодні, або за деякою іншою причиною, але британська теорія як закінчена версія в світлі цих фактів здається неправдоподібною... Факти, що стосуються смаглявих людей в Англії під час англосаксонського періоду, які можуть бути отримані з топоніма Brun, можуть бути доповнені, принаймні, деякими з топонімів, що починаються з «dun» і «duning». «Dun» є давньоанглійським словом, яке позначає колір, що нагадує і чорний і коричневий, і там, де він зустрічається на початку слова в такій комбінації, як Duningland, він, ймовірно, відноситься до смаглявих людей або їх дітей, а не до англо-кельтського слова «dún» – пагорб або укріплене місце. Що стосується давньої смаглявої раси або рас Північної Європи, то не може бути сумніву в її існуванні на південному сході Норвегії та на сході Фрисландії. Не може бути сумніву в важливості впливу, який давній народ венеців надавав на північно-східні території Німеччини, передаючи своїм нащадкам більш смаглявий колір обличчя, ніж той, який переважав у мешканців Ганноверу, Гольштейну і Вестфалії, більш чистого тевтонського походження. У цьому не доводиться сумніватися, з огляду на те смагляве населення, яке сьогодні збереглося в провінціях Північної Голландії, Дренту і Оверісселу, що утворюють внутрішні райони давньої Фризії, звідки численні смагляві мешканці разом з

Section 4. Problems of science evolution; synthesis and appearance of new sciences and knowledge

фризами, мабуть, прибули до Англії. Недоцільно сумніватися в цьому, бо під час норвезької імміграції в Англію всі смагляві мешканці Норвегії не стали залишати свою країну, так як вони були смаглявими... Норвезькі брюнети відрізняються від типових блондинів цієї країни двома особливостями. По-перше, вони більш широкоголові, тоді як блондини, що становлять основну масу цього народу, довгоголові. Арбо ясно показав, що не тільки більш широкоголові мешканці цих прибережних районів є в цілому смаглявими (темними), але серед них широкоголові люди мають тенденцію бути більш темними, ніж інші типи. ...у Норвегії виявляються сліди широкоголової, що відрізняється від лопарів, смаглявої раси, про існування якої вже згадувалося, і яка описана Ріплі як, ймовірно, альпійського походження» [2].

Червонолицим і темношкірим був і імператор Священної Римської імперії Оттон I Великий, що теж, можливо, був нащадком темно-червоношкірих готів:



Королева Адельгейда і король Оттон I Великий, король Германії (936 – 973), імператор Священної Римської імперії (962 – 973); Едіт Англійська і Оттон I Великий. Скульптура з Магдебургського собору, 1250 р.;

«...він [Оттон I] вмів говорити романською і слов'янською мовами і, що є рідкістю, вважав гідним користуватися ними. Він часто ходив на полювання, любив гру в шахи, іноді з [чисто] королівською гідністю виявляв прихильність до верхової їзди. З цим він поєднував величезний зріст, що свідчив про королівську велич, голову його покривало сиве волосся, очі були карі, вони випромінювали якийсь блиск на зразок блискавки, [у нього було] червоне обличчя і всупереч давнім звичаям довга борода, груди, покриті гривою, як у лева, помірний живіт, хода, колись легка, тепер стала важчою...» [3].



Слов'яни (ослов'янені західні балти чи метисні нащадки слов'янськомовних чорноволосих античних германців), германці (середньовічні нащадки блідолицих кельто-іллрійців, і протопсевдогерманськомовних

саксів), галли (нащадки слов'янськомовних аланів-торків – валлони) і римляни, що приносять дари Оттону III (з Євангелія дат. 990 р.: «Західні слов'яни», <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/71361>).

Отже зовсім не блідолицими блондинами, а дуже смаглявими, чорноволосими і кароокими брүнетами (подібно своїм нащадкам українцям) були шляхетні роди готів:

«Ще у першій половині XIX ст. починається вивчення епічної традиції про готів Ерманаріха, що збереглася в давньогерманських сагах. Важливою подією стала публікація Копенгагенським Королівським товариством північних антикварів «Саги про Хервер». Одним із перших її проаналізував ісландський дослідник Г. Вігфуссон. На його думку, найдавніші едичні пісні циклу про Ерманаріха і Аттілу («*Hamðismal*») вказують на першу Готську імперію (королівство Ерманаріха, – I.3.) і на її столицю – «*Danparstaðir*» («Дніпровський град»), якому відповідає м. Київ. На основі аналізу епічної традиції Г. Вігфуссон дійшов висновку, що Ерманаріх правив всією чорноземною смугою Русі від Карпат (*Harvaðafjöll*) до східних степів» [4].

Підтверджується тотожність античних германців темно-червоношкірим сарматам і їх нащадкам аланам-торкам (пушту «*tor*», тадж. «*торік*», протогерм. \**derkaz*, ст.-англ., «*deorc*», англ., «*dark*» – темний) також як північними легендами про прихід воявничих пращурів скандинавів з Азії та Дону, так і ідентичністю тамт античних германців тамтам сарматів і аланів:

«Вигляд їхнього тіла, витягнутого в потворну довжину, надто важкого для їхніх ніг, а в попереку перехопленого, як Аристотель описує комах, вселяв до них (грутуннів = йотунгів = гостроготів, – П.Д.) зневагу» [5].

Такими ж буцїмто неставними, яких навіть не здатні носити коні, описує і їх нащадків русів Захарія Мітиленський:

«...народ ерос, чоловіки з величезними кінцівками, у яких немає зброї і яких не можуть носити коні через їх [довгі нижні] кінцівки. Далі на схід, у північних краях, є ще три чорні народи...» [6].

#### Список літератури

1. **Тейлор Ісаак:** «Слов'яни і арійський світ», [http://www.razlib.ru/psihologija/slavjane\\_i\\_ariiskii\\_mir/p2.php](http://www.razlib.ru/psihologija/slavjane_i_ariiskii_mir/p2.php).
2. **Шор, Томас Вільям:** «Походження англосаксонського народу», <http://universe-tss.su/main/litstr/16067-proishozhdenie-anglo-saksonskogo-naroda-obnovlyaetsya.html>.
3. **Корвейський, Відукінд:** «Діяння саксів», <http://www.vostlit.info/Texts/rus/Widukind/frame2.htm>.
4. **Зіньківська, Ірина:** «Готланд Ерманаріха: гостроготи у Східній Європі на рубежі Стародавності та Середньовіччя», <https://coollib.com/b/516221/read>.
5. **Сардський, Евнапій:** «Продовження історії Дексиппа», <https://scicenter.online/istoriya-ukrainyi-scicenter/evnapiy-sardskiy-62586.html>.
6. **Мітиленський Захарія:** «Історія», <http://www.vostlit.info/Texts/rus7/Zacharia/text1.phtml?id=526>.

## ПРОБЛЕМИ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ НАУК У ВИЩІЙ ШКОЛІ

Доц. канд. тех. наук Т.А. Крадінова

Доц. канд. тех. наук О.В. Гуда

Доц. канд. тех. наук В.М. Тимощук

*Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна, rimta@ukr.net*

В умовах війни в Україні важливим питанням залишається вдосконалення освітньої галузі. Введення Болонської системи освіти та вивчення досвіду європейських країн передбачали покращення якості освіти, зокрема, у випускників вищих навчальних закладів. Але два роки Covid-19 та війна звели на нівець всі зусилля. Зокрема, учні шкіл мають значно нижчий рівень знань, адже дистанційні заняття не завжди проводились на належному рівні. З початком війни, багато учнів взагалі втратили можливість вчитись. Відповідно, при складанні тесту НМТ були враховані всі ці проблеми. Багато випускників написали тести на високий бал.

Чи правильно це в умовах війни? Напевне, так. Адже молоде покоління вступає до вищих навчальних закладів України, та має можливість вчитись. Багато вузів запропонували дистанційну форму навчання для підлітків, які за кордоном чи поряд із зоною бойових дій.

Мабуть, найсуттєвіші прогалини в знаннях з'явилися саме з фундаментальних дисциплін – вищої математики, фізики, хімії і т.д. І тепер проблемою викладачів та здобувачів освіти саме технічних напрямків та ІТ стало не розуміння, як навчити, коли немає базових знань.

Звісно, успіх здобувачів освіти у вивченні точних дисциплін залежить, в основному, від самостійної роботи студента. Саме так побудована і Європейська система освіти. На початкових курсах на самостійну роботу доводиться вдвічі більше часу ніж на роботу в аудиторії. І тут студент вчиться вчитися. Але не всі вміють організувати свій час, дисциплінувати себе та опанувати нове. Та й роки карантинів далися взнаки.

Реформування вищої освіти згідно Болонського процесу призводить до суттєвого скорочення питомої ваги математичних дисциплін в учбових планах всіх, без винятку, спеціальностей. З навчальних планів, а отже, і навчального навантаження викладачів, виключаються години на проведення самостійних, контрольних, розрахунково-графічних та лабораторних робіт з вищої математики на стаціонарі. Відповідно, контролювати самостійну роботу студента стає практично не можливо. Це впливає на рівень підготовки студента, але ж потреби використання новітніх технологій у промисловому виробництві передбачають широке використання науки для розвитку техніки.

Щоб якось розв'язати ці проблеми, необхідно все ж покращити якість шкільних знань з фундаментальних дисциплін. Для цього можливо організувати курси з таких дисциплін для абітурієнтів, яким це необхідно для подальшого навчання. На таких курсах можна сфокусувати навчання на основних тематиках «потрібних» дисциплін. Це допоможе майбутнім студентам сприймати на належному рівні дані дисципліни у вузі. А отже, студент на належному рівні опанує свою спеціальність. Вважаю, такі курси повинні бути загальнодоступними та безкоштовними як на загальнодержавних сайтах так і організованих при вузах.

Україні потрібні молоді та розумні спеціалісти. Адже сьогоднішні абітурієнти - це наше майбутнє, це люди, які розбудують нашу державу після війни. Вони мають дуже багато

перешкод, але все одно хочуть вчитись в Україні. Отож необхідно підлаштувати освіту під питання сьогодення та спрямувати болонську систему та величезний досвід викладачів на отримання максимального ефекту.

**Посилання:**

1. **Болонський процес і нові шанси університетів // День. – 2007. – № 37. – С. 2 – 3.**
2. Гуда О. В., Матвіїв Ю. Я., Лісковець С. М., Крадінова Т. А., Тимощук В. М. Деякі аспекти самостійної роботи студентів у вищій школі при вивченні курсу «Вищої математики». Матеріали XIII Міжнародної конференції «Стратегія якості в промисловості та освіті», 5-8 червня 2017 р., м. Варна, Болгарія. Том 2. С. 276-280.
3. **Крадінова Т.А., Гуда О.В., Матвіїв Ю.Я., Тимощук В.М., Лісковець С.М.** Суперечності при вивченні курсу «Вищої математики» згідно положень Болонської системи в Україні / **Т.А. Крадінова, О.В. Гуда, Ю.Я. Матвіїв, В.М. Тимощук, С.М. Лісковець** // Матеріали Міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід», 21 листопада-24 листопада 2017 р., м. Відень, Австрія / 0,63 обл.вид.арк.
4. **Крадінова Т.А., Матвіїв Ю.Я.** Проблеми впровадження болонської системи в Україні / **Т.А. Крадінова, Ю.Я. Матвіїв** // Тези VI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і виробництві (ІТОНВ-2017)» (м. Луцьк, 25-27 травня 2017 року). – С.51–52 / 0,25 обл.вид.арк.
6. Притика Ю. Проблеми впровадження стандартів Болонського процесу [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://www.legalweekly.com.ua/article/?uid=1146> .
7. Радомська Л. А., Стадній А. С. Українська система вищої освіти: переваги й недоліки Болонського процесу [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: [http://conf.vntu.edu.ua/humed/2010/txt/Radomska\\_Stadniy.php](http://conf.vntu.edu.ua/humed/2010/txt/Radomska_Stadniy.php)
8. <http://old.niss.gov.ua/monitor/May08/09.htm>

## ЗАЛЕЖНИЙ ОБ'ЄКТ ДІЇ У СТРУКТУРІ РЕЧЕНЬ ВОЛИНСЬКИХ ЗМІ

Тетяна Масицька

Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна

[masytska.tetiana@vnu.edu.ua](mailto:masytska.tetiana@vnu.edu.ua)

Залежний об'єкт у семантико-синтаксичній структурі речення найчастіше співвіднесений з додатком – компонентом формально-синтаксичної структури. У мовознавчих студіях об'єкт визначають як формальну категорію речення, те саме, що додаток; семантичну категорію синтаксису, що окреслює назви предметів або істот, на які спрямовано дію, процес або стан [1, с. 441]. Функції об'єкта репрезентують поняття «об'єктна синтаксема», «об'єктне значення», «об'єктна функція», «об'єктне відношення», «об'єктна валентність», «об'єктна семантико-синтаксична залежність» [2, с. 127, 139; 3, с. 379; 4, с. 161].

Залежний об'єкт позначає предмет чи особу, на які спрямовано дію. Це ім'я предмета або особи, на які спрямована дія-ознака або які охоплені такою дією [5, с. 161]. Разом із залежним від предиката суб'єктом залежний об'єкт займає центральну позицію в реченнєвій структурі і розміщений переважно після предиката.

Відповідно до виокремлених класів предикатів (предикати дії, предикати процесу, предикати стану [4, с. 90–126]) визначаємо варіанти залежного об'єкта: об'єкт дії, об'єкт процесу, об'єкт стану, об'єкт якісного стану, об'єкт стану-відношення, локативний об'єкт дії.

Об'єкт дії є найчастотнішим залежним від предикатів дії компонентом у реченнєвих конструкція публіцистичного стилю. У цій позиції він репрезентує:

- 1) назви предметів, напр.: *Воїн-доброволець <...> отримав за участь у*

бойових діях на сході України **автівку** (2); Поліцейські вилучили **зброю** та три відстріляні **гільзи** (1); Тодішніми дорогами через поселення перевозили різні **коштовності...** (3); У Переяславі знесли **монумент...** (4); ...у війну збувати **землю і житло** не вигідно (2);

2) назви осіб, напр.: *Перший снаряд поранив Люка* (с. 5); *Троє хлопців спробували надати йому [Люкові] допомогу* (5); ...*вороги їх [братів] розстріляли...* (4); *Війна застала артистів у рідному Луцьку* (3);

3) номінації тварин, напр.: ...*знайдено та евакуйовано на підконтрольну територію українського kota...* (5); *Господар Володимир Григорович якраз збирався коника на пасовище вести* (3);

4) назви страв, напр.: *Баба <...> напече плячків ...* (3); *6-річна Оля тепер зможе вперше скуштувати мамин борщ* (4);

5) назви овочів, напр.: ...*викопую картоплю і зріжу капусту* (5);

6) номінації інструментів, напр.: *Йому не вистачало тільки сокири* (4); [Мешканці] ...*виковували сокири, ножі* (3);

7) назви країни, напр.: ...*коронавірус <...> вивів Україну на перше місце в Європі* (1);

8) абстрактні номінації, напр.: *Я подала відповідне депутатське звернення* (1); *А в липні 2022 року вона [Жанна] зірвала джек-пот* (5); *Ворог здійснив кібератаку на сервери і мережі TAVR Media...*(5); *Ми разом писали нашу історію* (5);

9) сакральні номінації, напр.: *Настоятель храму отець Володимир Луньо відправив літію...* (1).

Залежний об'єкт зреалізований граматичними засобами – спеціальними відмінковими формами. У реченєвих конструкціях морфологічними варіантами об'єктної залежності є знахідний, родовий, давальний, орудний і місцевий відмінки. За нашими спостереженнями, найчастотнішим у

досліджуваних текстах ЗМІ є знахідний відмінок. М. Я. Плющ слушно зауважила: «Знахідний відмінок з'являється при перехідному дієслові, як «відпрацьована» у процесі мовленнєвого вживання форма, спеціалізована функція. У ній знаходить вияв мовне (граматичне) оформлення субстанції, яке цілком підлягає дії» [6, с. 44].

Об'єктний компонент, що залежить від предикатів дії, представлений у простих семантично елементарних конструкціях на кшталт:  $S_{act} + P_{v(act)} + O$ ,  $S_{act} + P_{v(act)} + O_{act} + L$ ,  $S_{act} + P_{v(act)} + O_{act} + Ad_{act}$ ,  $S_{act} + P_{v(act)} + O_{act} + I_{ac}$ ,  $S_{act} + P_{v(act)} + O_{act} + Ad_{act} + I_{ac}$ ,  $S_{act} + P_{v(act)} + O_{act} + I_{mv} + L_1 + L_2 + L_3$ ,  $S_{act} + P_{v(act)} + O_{act} + Ad_{act} + L_1 + L_2 + L_3$ ,  $S_{act} + P_{v(act)} + O_{act} + Ad_{act} + I_{mv} + L_1 + L_2 + L_3$  ( $P_{v(act)}$  – предикат дії;  $S_{act}$  – суб'єкт дії;  $O_{act}$  – об'єкт дії;  $I_{ac}$  – інструменталь (засіб дії);  $I_{mv}$  – інструменталь (засіб пересування);  $L$  – локатив (місцеперебування суб'єкта);  $L_1$  – локатив (вихідний пункт руху);  $L_2$  – локатив (шлях руху);  $L_3$  – локатив (кінцевий пункт руху). У досліджуваних текстах волинських ЗМІ найчастотнішою є реченнева модель  $S_{act} + P_{v(act)} + O$ .

### Література

1. Вихованець І. Р. Об'єкт. *Українська мова : Енциклопедія* / редкол. : В. М. Русанівський, О. О. Тараненко (співголови), М. П. Зяблюк та ін. 3-є вид., зі змінами і доп. Київ : «Українська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 2007. С. 441.
2. Вихованець І. Р. Граматика української мови. Синтаксис. Київ : Либідь, 1993. 368 с.
3. Загнітко А. П. Теоретична граматики української мови. Морфологія. Синтаксис : монографія Донецьк : ТОВ «ВКФ «БАО», 2011. 992 с.
4. Масицька Т. Є. Типологія семантико-синтаксичних реченневих залежностей : монографія. Луцьк : ПВД «Твердиня», 216. 416 с.
5. Мірченко М. В. Структура синтаксичних категорій : монографія. Вид. 2-ге, переробл. Луцьк : РВВ «Вежа» ВДУ ім. Лесі Українки, 2004. 393 с.
6. Плющ М. Я. Категорія суб'єкта і об'єкта в структурі простого речення : навч. посібн. Київ : Вища шк., 1986. 175 с.



### **Джерела дослідження**

1. Волинь. № 14. 8 квітня 2021.
2. Волинь. № 28. 20 липня 2022.
3. Волинь. № 29. 27 липня 2022.
4. Цікава газета. № 26. 13 липня 2022.
5. Цікава газета. № 28. 17 липня 2022.

**Index**

Andrushchak A.S., 13  
Balaban O.V., 13  
Belan B., 15, 18  
Borovsky B., 99  
Buryy O., 21

Danylov A.B., 13  
Demyanyshyn N., 21  
Dzevenko M., 15, 18  
Dzhagan V.M., 25

Fourman V., 22

Gladyshevskii R., 15,  
18

Hnidko I.S., 25

Isaieva O.F., 35

Kowalska Dorota A., 15  
Koziarskyi I.P., 25  
Kuchak A.I., 25  
Kurapov Yu.A., 35  
Kuzhel B., 18

Lytvyn P.M., 35

Makhanets O.M., 25  
Makovska Yu., 27  
Maksishko Yu., 21  
Malyk O.P., 29  
Mytsyk B., 21

Olenych I.B., 31  
Osokin V.O., 35

Petryshyn L., 115

Sabov T.M., 35  
Shchepanskyi P., 32

Shevchuk I., 33  
Shtuka O., 32  
Stadnyk V., 32  
Sugak D., 21  
Syrotyuk S.V., 29

Trokhimchuk P., 3, 27,  
33, 99, 153

Valakh M.Ya., 35  
Venhryn B.Ya., 13

Yukhymchuk V.O., 35

Алрікік Мохаммед, 42  
Андрущак А., 39  
Араї Йоїчі, 127

Березнюк О., 42  
Благітко Б. Я., 101  
Болеста І. М., 153  
Бондаренко Н.В., 137  
Боярин М.В., 68  
Брезвін Р.С., 78  
Булавінець Т., 44, 95  
Бушев Д.М., 10

Вельгош А.С., 106  
Вельгош С.Р., 106  
Вергун А.Р., 128, 131,  
134  
Вергун О.М., 128, 131,  
134

Галян В., 42, 53, 96  
Галущенко В., 45  
Гельжинський І., 95  
Гуда О.В., 164  
Гулай Л., 42, 46

Данильченко П. І.,  
157, 160

Декина С.С., 149  
Дем'янишин Н., 39  
Денисюк М., 48  
Джаган В. М., 50  
Домбчинський П., 96  
Дорощук Р., 45

Замуруєва О.В., 119  
Захарчук Д.А., 97  
Зелінський А., 96

Іващенко І., 42, 96

Каганяк В.Й., 134  
Калитовська М.Б., 128  
Карпенко О.С., 146  
Кевшин А. Г., 53, 96  
Кириченко М. М., 55  
Кір'як О.В., 149  
Кіт З.М., 133  
Коваль Ю.В., 97  
Ковальчук Б. В., 60  
Коломійчук С.Г., 137  
Когут Ю., 48  
Коломис О. Ф., 56  
Копер Ф., 96  
Коровін О. 45

Кравчук І.В., 128  
Крадінова Т.А., 163  
Красний М.Р., 131  
Кримець Г.В., 57  
Кузовкіна О.Л., 134  
Кузнецов М.К., 137  
Курченко О. О., 107  
Кульчицький В.В.,  
131, 134  
Кучулап С. В., 60

Литвиненко С. С., 64  
Лебедь О. О., 61  
Лебедь С. О., 61

- Левандовський І. А., 75  
Левандовський С. І., 75  
Литвинчук М.М., 136  
Лиховид П.Б., 128  
Луньов С.В., 65
- Макаренко О. С., 109, 111  
Макагонов І.О., 135  
Малий Т.С., 70  
Малик О.П., 79  
Марко О.Г., 134  
Марчук О.В., 82  
Масицька Т., 165  
Матрас-Постолек К., 96  
Мацях Ю.М., 128  
Мединський В.Є., 70  
Мельников С., 44  
Мельничук Т. О., 67  
Мислінчук В. О., 50, 61  
Мирончук Г., 48, 67  
Миронюк Д. М., 101  
Михейцева І.М., 137  
Мицик Б., 39  
Мокрецька Н.М., 128  
Молоко Б., 89  
Мороз М. В., 50, 56  
Моцинська О.М., 132  
Музиченко О.С., 68  
Мягкота С.В., 70
- Назарчук П.Ф., 65  
Нечипорук Б. Д., 50, 56  
Новосад О. В., 60, 64, 73
- Олексюк О.Б., 128, 131
- Павловський Д. О., 75  
Панасюк Л.І., 97  
Паращук Б.М., 131  
Пастернак Р. М., 114  
Петришин М. Л., 115  
Піскач Л., 42, 48  
Пушак А.С., 70  
Пясецький. М., 77
- Романовська І. І., 140, 146, 149  
Рудик Б. П., 50, 56  
Рудиш М.Я., 77, 78  
Русаківна Н., 45
- Сахнюк П.В., 119  
Сахнюк В. Є., 124  
Селезень А., 48  
Семенюк А. А., 53  
Сиротюк СМ.В., 79  
Синявська О. О., 107  
Сіроштаненко Т.І., 139  
Смітюх О.В., 82  
Смола С., 45  
Стадник В.Й., 78  
Стахіра П., 44, 95  
Сторожук Н.В., 137  
Стрельчук В. В., 56  
Студницький М. А., 120  
Ступінь А.П., 122  
Сукач О.М., 70
- Тарасенко А., 96  
Татарин Б.А., 56  
Тимошук В.М., 163  
Тімофєєв І. А., 64  
Топтіков В. А., 140
- Федорчук А.О., 77  
Федосов С.А., 97, 119  
Фітьо В., 95  
Фостяк А.Є., 128
- Фульмес М.М., 70  
Фургала Ю.М., 106
- Хвищун М.В., 65  
Хмарук Ю.О., 84  
Хоменко Д., 45  
Хоровець В. Є., 86
- Цьось О.О., 68
- Чуловський Б.Я., 131, 134
- Шаварова Г., 89  
Шалько І.В., 128, 131  
Шевчук В.С., 146  
Шевчук Т. І., 143  
Шестеренко Є.А., 149  
Шестеренко Ю.А., 146, 149  
Шигорін П.П., 91, 93  
Шутовський А. М., 124
- Щепанський П.А., 78
- Юхимчук В. О., 50
- Яремчук І., 44, 95  
Яцинюк Т.К., 96  
Ящинський Л.В., 97

Contents	Зміст
<b>Trokhimchuck Petro.</b> Sir Isaak Newton	3
<b>Section1.</b>	
<b>Fundamental problems of physics, chemistry and ecology</b>	
<b>Andrushchak A.S. , Danylov A.B. , Balaban O.V. , Venhryn B.Ya.</b> MODULATORS FOR THz RANGE: PRINCIPLES AND MATERIALS	13
<b>Bohdana Belan, Mariya Dzevenko, Dorota A. Kowalska, Roman Gladyshevskii.</b> SINGLE CRYSTAL INVESTIGATION OF THE $GdNi_{4.04}Si_{10.96}$ COMPOUND	15
<b>B. Belan, M. Dzevenko, B. Kuzhel, R. Gladyshevskii.</b> INTERACTION OF THE COMPONENTS IN THE SYSTEM Eu-Ag-Co-Si AT 670 K AND 40% AT.% Si	18
<b>Oleh Buryy, Nataliya Demyanyshyn, Bohdan Mytsyk, Yuliia Maksishko, Dmytro Sugak.</b> PIEZO-OPTIC INTERACTION OPTIMIZATION IN CRYSTALS OF LANGASITE GROUP	21
<b>V. Fourman.</b> PHYSICAL MODELING OF THE CLIMATE EARTH	22
<b>O.M. Makhanets, I.P. Koziarskyi, I.S. Hnidko, A.I. Kuchak.</b> ELECTRON SPECTRUM IN THE QUANTUM DOT-QUANTUM RING SEMICONDUCTORNANOSTRUCTURE WITH NON-CENTRAL DONOR IMPURITY	25
<b>Makovska Yulia, Trokhimchuck Petro.</b> ABOUT ELECTRODYNAMICAL ASPECTS OF NUCLEATION AND CRYSTALLIZATION MODELING	27
<b>Mal'k O.P., Syrotyuk S.V.</b> CALCULATION FROM FIRST PRINCIPLES OF THE DEFECT STRUCTURE AND KINETIC PROPERTIES OF $CdSe_xTe_{1-x}$ ( $x=0.5$ ) SOLID SOLUTION	29
<b>I.B. Olenych.</b> PHOTODETECTOR BASED ON REDUCED GRAPHENE OXIDE	31
<b>Shchepanskyi Pavlo, Stadnyk Vasyl, Shtuka Orest.</b> IMPURITY-INDUCED MODIFICATION OF REFRACTIVE PARAMETERS OF POTASSIUMSULPHATE CRYSTALS	32
<b>Trokhimchuck Petro, Shevchuk Ivan.</b> PROBLEM OF SIMILARITY IN NONLINEAR AND RELAXED OPTICS	33
<b>V.O. Yukhymchuk, V.M. Dzhagan, M.Ya. Valakh, O.F. Isaieva, P.M. Lytvyn, T.M.Sabov, V.O.Osokin, Yu.A. Kurapov.</b> Властивості нанометрових вуглецевих плівок, отриманих розпилюванням графітних мішеней електронним променем	35
<b>А. Андрущак, Б. Мицик, Н. Дем'янишин.</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ПРОСТОРОВОЇ АНІЗОТРОПІЇ П'ЄЗООПТИЧНОГО ЕФЕКТУ НА ПРИКЛАДІ КРИСТАЛІВ $LiNbO_3:MgO$	39
<b>Березнюк Орися, Алрікік Мохаммед, Галян Володимир, Івашенко Інна, Гулай Любомир, Піскач Людмила.</b> НОВІ ТЕТРАРНІ СПОЛУКИ ТА СКЛОУТВОРЕННЯ У СИСТЕМАХ $Cu(Ag)_2S-Sb_2S_3-Ge(Sn)S_2$	42
<b>Булавінець Тетяна, Яремчук Ірина, Мельников Сергій, Стахіра Павло.</b> ПЛАЗМОННІ ВЛАСТИВОСТІ НЕСФЕРИЧНИХ НАНОЧАСТИНОК МОНОСУЛЬФІДУ МІДІ	44
<b>Валерія Галущенко<sup>1,2</sup>, Сергій Смола<sup>1</sup>, Олександр Коровін<sup>1</sup>, Роман Дорожук<sup>3,4</sup>, Дмитро Хоменко<sup>3,4</sup>, Наталя Русакова<sup>1</sup>.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСОУТВОРЕННЯ ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПЛЕКСІВ Eu(III) З НОВИМИ 1,2,4-ТРИАЗОЛВМІСНИМИ ЛІГАНДАМИ - АНАЛОГАМИ SALEN, У РОЗЧИНАХ, ТВЕРДОМУ СТАНІ ТА ГІБРИДНИХ МАТЕРІАЛАХ НА ОСНОВІ $SiO_2$	45

<b>Гулай Любомир Дмитрович. СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТІОНІВ ТЕРНАРНІХ І ТЕТРАРНІХ ХАЛЬКОГЕНІДІВ РЗМ</b>	46
<b>Денисюк Мар'яна, Мирончук Галина, Селезень Андрій, Когут Юрій, Піскач Людмила. ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ <math>Tl_2CdGe_3Se_8</math></b>	48
<b>Джаган В. М., Мороз М. В., Мислінчук В. О., Нечипорук Б. Д., Рудик Б. П., Юхимчук В. О. КОМБІНАЦІНЕ РОЗСЮВАННЯ СВІТЛА НАНОКРИСТАЛІВ СУЛЬФІДУ КАДМІЮ ОТРИМАНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ</b>	50
<b>А. Г. Кевшин, В. В. Галян, А. А. Семенюк. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ</b>	53
<b>Кириченко Максим Миколайович. НЕКРИСТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ СТЕКОЛ СИСТЕМИ <math>GeS_2-As_2S_3</math></b>	55
<b>Коломис О.Ф., Мороз М.В., Нечипорук Б.Д., Рудик Б.П., Стрельчук В.В., Татарин Б.А. СИНТЕЗ ТА ВЛАСТИВОСТІ НАНОПОРОШКІВ СПОЛУК СВИНЦЮ ОТРИМАНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ</b>	56
<b>Кривець Г.В. ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ</b>	57
<b>Кучулап С. В., Ковальчук Б. В., Новосад О. В. ТЕХНОЛОГІЯ ВУОД У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ</b>	60
<b>Лебедь Олександр Олександрович, Мислінчук Володимир Олександрович, Лебедь Сергій Олександрович. ГЕОГЕННИЙ РАДООНОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЯК ОДИН ІЗ КРИТЕРІЇВ РАДОНОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ТЕРИТОРІЙ</b>	61
<b>Литвиненко С. С., Тімофєєв І. А., Новосад О. В. ВИКОРИСТАННЯ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ НА УРОКАХ ФІЗИКИ</b>	64
<b>Луньов С.В., Назарчук П.Ф., Хвищун М.В. ТЕНЗОРЕЗИСТИВНІ ЕФЕКТИ В ОДНОВІСНО ДЕФОРМОВАНИХ МОНОКРИСТАЛАХ n-Ge</b>	65
<b>Мельничук Тарас Олегович, Мирончук Галина Леонідівна. ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ <math>AgGaGe_3Se_8</math> ЛЕГОВАНИХ РІДКОЗЕМЕЛЬНИМИ МЕТАЛАМИ</b>	67
<b>Музиченко О.С., Боярин М.В., Цьось О.О. АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ СТОХІД ЗА МАКРОФІТНИМ ІНДЕКСОМ MIR</b>	68
<b>Мягкота С.В., Шевчук Р.С., Сукач О.М., Мединський В.Є., Фультес М.М., Пушак А.С., Малий Т.С. ЧАСОВА ПОВЕДІНКА ЛЛЯНИХ ОЛІЙ ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ПРЕСУВАННЯ</b>	70
<b>Новосад О. В. ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНА ДОБРОТНІСТЬ МОНОКРИСТАЛІВ <math>CuIn_5S_8-CdIn_2S_4</math></b>	73
<b>Павловський Денис Олександрович, Левандовський Ігор Анатолійович, Левандовський Святослав Ігорович. ХІМІКАТИ В ПЛАСТМАСАХ: ГЛОБАЛЬНІ ДІЇ ПО БОРОТБІ З ПЛАСТИКОВИМ ЗАБРУДНЕННЯМ</b>	75
<b>М.Я. Рудиш, А.О. Федорчук, М. Пясецький. АНІЗОТРОПІЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ <math>AgAlS_2</math> У ТРИГОНАЛЬНІЙ ФАЗІ</b>	77
<b>М.Я. Рудиш, П.А. Щепанський, Р.С. Брезвін, В.Й. Стадник. ПЕРШОПРИНЦИПНІ РОЗРАХУНКИ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КРИСТАЛА <math>K_2SO_4</math> З ДОМІШКОЮ Mn</b>	78
<b>Сиротюк С.В., Малик О.П. ВПЛИВ ВАКАНСІЙ Zn НА ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРОННОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ <math>ZnMnS</math></b>	79
<b>Смітюх О.В., Марчук О.В. ІЗОВАЛЕНТНЕ ЗАМІЩЕННЯ В СТРУКТУРІ <math>ErCu_3Te_3</math></b>	82
<b>Хмарук Ю. О. ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИНОК СУЛЬФІДУ КАДМІЮ</b>	84
<b>Хоровець Володимир Євгенович. ЕТАЛОННА ГЕОМЕТРОДИНАМІКА І</b>	

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ОДНОРІДНІСТЬ. ТРИ ТИПИ СТАЦІОНАРНИХ ОБЕРТОВИХ ВСЕСВІТІВ. РІВНЯННЯ ЕТАЛОННОЇ ГЕОМЕТРОДИНАМІКИ	86
<b>Шаварова Ганна, Молоко Богдан.</b> Програмні засоби для моделювання і візуалізації мінімальних поверхонь.	89
<b>Шигорін П.П.</b> БЕЗІТКНЕВА КІНЕТИКА КОНДЕНСОВАНОГО БОЗЕ–ГАЗУ	91
<b>Шигорін П.П.</b> ДО ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ НАДПЛИННОГО ГЕЛІЮ	93
<b>Яремчук Ірина, Булавінець Тетяна, Стахіра Павло, Фітьо Володимир, Гельжинський Ігор.</b> ПЛАЗМОННІ НАНОКОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ОКСИДУ ГРАФЕНУ ТА СРІБЛА ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ОРГАНІЧНІЙ ЕЛЕКТРОНІЦІ	95
<b>Т.К. Яцинюк, В.В. Галян, І.А. Івашенко, А.Г. Кевшин, А. Зелінський, А. Тарасенко, Ф. Копер, П. Домбчинський, К. Матрас-Постолек.</b> ВПЛИВ $Er^{3+}$ - ЛЕГУВАННЯ НА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЕРОВСКІТНОЇ СКЛОКЕРАМІКИ $CsPbBr_3$ НА ОСНОВІ $GeS_2-Ga_2S_3$	96
<b>Ящинський Л.В., Коваль Ю.В., Захарчук Д.А., Панасюк Л.І., Федосов С.А.</b> ОСОБЛИВОСТІ ЕФЕКТУ П'ЄЗООПОРУ В ДЕФОРМОВАНОМУ n-GeДЛЯ ВИПАДКУ $X//J//[110]$	97
<b>Section 2.</b>	
<b>Fundamental problems of mathematics, cybernetics and computer science</b>	
<b>Trokhimchuck Petro, Vorovsky Bohdan.</b> SOME PROBLEMS OF THE CREATION UNIVERSAL THEORY OF COMPUTER SCIENCE	99
<b>Благітко Богдан Ярославович, Миронюк Дмитро Мирославович.</b> ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСФОРМЕРІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ПЛОСКИХ ЗОБРАЖЕННЯХ	101
<b>Бушев Д.М.</b> Аналітичність і інші властивості функціоналів $I(f, p) = \int_A  f(t) ^p dt$ , як функцій змінної $p$	104
<b>Вельгош С.Р., Вельгош А.С., Фургала Ю.М.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН $HS^*$ - ГІСТОГРАМ КОЛЬОРУ ПРИ МАСШТАБУВАННІ ТА ОБЕРТАННІ ЗОБРАЖЕНЬ	106
<b>Курченко Олександр Олексійович, Синявська Ольга Олександрівна.</b> ОДНЕ УЗАГАЛЬНЕННЯ ТЕОРЕМИ КОШІ ДЛЯ ДИФЕРЕНЦІЙОВНИХ ФУНКЦІЙ НА ВИПАДОК КІЛЬКОХ ЗМІННИХ	107
<b>Макаренко Олександр Сергійович.</b> ОДИН МЕХАНІЗМ СТОХАСТИЧНОСТІ В ТЕЧІЯХ СЕРЕДОВИЩ З ПАМ'ЯТТЮ	109
<b>Макаренко Олександр Сергійович.</b> ХИМЕРИ У ВИПАДКУ БАГАТОЗНАЧНИХ РІШЕНЬ	111
<b>Пастернак Роман Михайлович.</b> ПАРАДОКС ВЕЛИКИХ МОЖЛИВОСТЕЙ	114
<b>Петришин Михайло Любомирович, Petryshyn Lubomyr.</b> ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ. PROBLEMS OF IMPLEMENTING VERTICAL INFORMATION TECHNOLOGY	115
<b>Сахнюк П.В., Замуруєва О.В., Федосов С.А.</b> СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОНТЕНТОМ У КОРПОРАТИВНІЙ СФЕРІ	119
<b>Студницький Матвій Андрійович.</b> ФУНКЦІЯ РОЗПОДІЛУ ПРОСТИХ ЧИСЕЛ	120
<b>Ступінь А.П.</b> СТРУКТУРА VASKEND ФРЕЙМОРКІВ	
<b>Шутовський А.М., Сахнюк В. Є.</b> Сумація тригонометричного ряду в задачі про рівняння теплопровідності	124

**Section 3.**

**Fundamental problems of biology and medicine**

<b>Йоїчі Араї. Правда о COVID-19</b>	125
<b>Вергун А.Р., Мацях Ю.М., Калитовська М.Б., Вергун О.М., Кравчук І.В., Шалько І.В., Лиховид П.Б., Олексюк О.Б., Фостяк А.Є., Мокрецька Н.М. ВИПАДКИ ВРОСЛОГО НІГТЯ, КОМПЛЕКСНЕ ЛІКУВАННЯ: АНАЛІЗ КЛІНІЧНОГО ДОСВІДУ, АВТОРСЬКІ ПОГЛЯДИ</b>	128
<b>Вергун А.Р., Мощинська О.М., Вергун О.М., Красний М.Р., Паращук Б.М., Кіт З.М., Шалько І.В., Чуловський Б.Я., Олексюк О.Б., Кульчицький В.В. ДЕСТРУКТИВНИЙ УСКЛАДНЕНИЙ ОНІХОМІКОЗ, АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИН РЕЦИДИВІВ ТА ПОВТОРНИХ ІНКАРНАЦІЙ: КЛІНІЧНИЙ ДОСВІД</b>	131
<b>Макагонов І.О., Чуловський Я.Б., Вергун А.Р., Литвинчук М.М., Вергун О.М., Марко О.Г., Каганяк В.Й., Кузовкіна О.Л., Кульчицький В.В. ПАПЛОМАВІРУСНО АСОЦІЙОВАНА ЕКТОПІЯ ШИЙКИ МАТКИ У ЖІНОК ФЕРТИЛЬНОГО ВІКУ: КЛІНІЧНИЙ ДОСВІД ДІАГНОСТИКИ І КОМПЛЕКСНОГО ЛІКУВАННЯ</b>	134
<b>Михейцева І.М., Бондаренко Н.В., Коломійчук С.Г., Сіроштаненко Т.І., Сторожук Н.В., Кузнецов М.К. РОЛЬ СТАНУ ТІОЛОВОЇ СИСТЕМИ ПРИ РОЗВИТКУ ГЛАУКОМИ В УМОВАХ МОДУЛЯЦІЇ ЕНДОГЕННОГО СТАНУ ПІДРОГЕН СУЛЬФІДУ</b>	137
<b>Топтіков Валентин Анатолійович, Романовська Ірина Ігорівна. КОМПЛЕКСНА ПРОТЕОЛІТИЧНА АКТИВНІСТЬ ДЕЯКИХ ЕНЗИМНИХ ПРЕПАРАТІВ МІКРОБНОГО ПОХОДЖЕННЯ</b>	140
<b>Шевчук Тетяна Ігорівна. МЕХАНІЗМИ ЕВОЛЮЦІЇ ГЕНОМА ЕУКАРІОТІВ</b>	143
<b><u>Шестеренко Ю.А.</u>, Романовська І.І., Карпенко О.С., Шевчук В.С. СУМІСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ІНГІБІТОРІВ ТИРОЗИНАЗИ</b>	146
<b>Шестеренко Є.А., Шестеренко Ю.А., Романовська І.І., Декина С.С., Кір'як О.В. КАРБОКСИЛЕСТЕРАЗА 1 ЦИТОЗОЛЮ ПЕЧІНКИ СВИНІ</b>	149
<b>Section 4.</b>	
<b>Problems of science evolution; synthesis and appearance of new sciences and knowledge Trokhimchuck Petro. NEWTONIAN SYSTEM OF THE WORRLD AND MODERN SCIENCE</b>	152
<b>Болеста Іван Михайлович. ПРО БІНАРНУ ПРИРОДУ СУСПІЛЬСТВА ТА ЛЮДИНИ</b>	153
<b>Данильченко Павло Іванович. ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ЩОДО ІСТОРІЇ ПРАЩУРІВ УКРАЇНЦІВ</b>	157
<b>Данильченко Павло Іванович. ТОТОЖНІСТЬ АНТИЧНИХ ГЕРМАНЦІВ ТА САРМАТІВ</b>	160
<b>Т.А. Крадінова, О.В. Гуда, В.М. Тимошук. ПРОБЛЕМИ ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ НАУК У ВИЩІЙ ШКОЛІ</b>	163
<b>Тетяна Масицька. ЗАЛЕЖНИЙ ОБ'ЄКТ ДІЇ У СТРУКТУРІ РЕЧЕНЬ ВОЛИНСЬКИХ ЗМІ</b>	165
<b>Index</b>	169

Для нотаток



Наукове видання

# **АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ НАУК**

**Матеріали**

**V міжнародної наукової конференції  
(Луцьк – Світязь, 01 – 05 червня 2023 року)**

**Присвяченої 380-річчю з дня народження Ісаака Ньютона**

# **ACTUAL PROBLEMS OF FUNDAMENTAL SCIENCE**

**Proceedings**

**Fifth international conference  
(Lutsk – Svityaz', 01 – 05.06.2023)**

**Dedicated to the 380th anniversary of the birth of Isaac Newton**

Друкується в авторській редакції

Формат 60x84 1/16. Обсяг 10,11 ум. друк. арк., 10,01 обл.-вид. арк.

Наклад 300 пр. Зам. 60. Видавець і виготовлювач – Вежа-Друк  
(м. Луцьк, вул. Шопена, 12, тел. (0332) 29-90-65).

Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України  
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.



ISBN 978-966-940-470-1



9 789669 404701 >