

УДК 53(091)

С.Д. ГАПОЧЕНКО, канд.ф.-м. наук, доцент, НТУ «ХПІ»
А.О. МАМАЛУЙ, докт. ф.-м. наук, професор, НТУ «ХПІ»

ЕСТЕТИЧНИЙ АСПЕКТ ПАРАДИГМИ СУЧАСНОЇ ФІЗИКИ

Один із напрямків гуманітаризації вищої технічної освіти полягає у відображенні в змісті вищої освіти різноманітних зв'язків природознавчого та гуманітарного знання. Важливим базовим інтегруючим елементом може виступати естетичний зміст дисциплін, який розкривається в історичному контексті. Розглядається вплив естетичних принципів: краси, гармонії і симетрії на розвиток сучасної фізики. Показано, що ці принципи відіграють ключову роль у верифікації фізичної теорії.

Ключові слова: сучасна фізика, естетичний принцип, краса, гармонія, симетрія, фізична теорія, історія фізики, єдина теорія Всесвіту, гуманітаризація освіти.

Вступ. З початку ХХ ст. наша цивілізація перманентно потерпає від цілої низки криз: воєнно-політичної, економічної, екологічної та ін. Проте протягом останніх трьох десятиріч зростає усвідомлення того, що всі кризи взаємопов'язані і є проявами єдиної глобальної антропологічної кризи, або кризи свідомості сучасного технократичного суспільства [1, 2], характерною ознакою якого є «технічне» ставлення до всього [3]. Для успішного виходу із кризи в першу чергу необхідно мати чітке розуміння суті кризи та її витоків. За результатами досліджень з цієї тематики опублікована велика кількість статей та монографій. Зокрема, деякі відомі вчені О. Койре [4], М. Хайдеггер [5], І. Пригожин [6] вбачають причину кризи у дегуманізуючому впливі науки та техніки на суспільство. Так, І. Пригожин писав: «Тріумф людського розуму обернувся сумною істиною. Наука розвінчала все, до чого доторкнулася» [6, с.46], а також зазначав соціальну

© С. Д. Гапаченко, А. О. Мамалуй, 2014

функцію такого явища: «Світом, перед яким не відчуваєш благоговіння, керувати набагато легше» [6, с. 74]. Проте за думкою А.П. Назаретяна [7] причина кризи полягає не стільки в дегуманізуючому впливі науки і техніки на людину, скільки в порушенні техніко-гуманітарного балансу, відновлення якого можливе лише при винайденні культурних регуляторів, адекватних технологічному потенціалу.

Таким чином, наразі є актуальною зміна модусу свідомості сучасної людини, що потребує відмови від матеріалістичного монізму і не просто повернення втраченої духовності, а переходу на якісно новий рівень. Сучасна людина повинна мати цілісну картину світу, багатовимірне історично-контекстне мислення, усвідомлювати взаємозв'язок і взаємозалежність усіх елементів Всесвіту, мати адекватну дійсності систему цінностей.

Ефективне вирішення цих задач потребує гуманізації і гуманітаризації суспільства і в першу чергу вищої технічної школи, яка формує технічну еліту [8]. Стратегічні завдання вищої освіти України в цьому напрямку визначені, зокрема, у Законі України “Про вищу освіту” [9] та Національній доктрині розвитку освіти [10]. Нова освітня парадигма повинна формувати інтегральне уявлення про структуру довколишнього світу, оптимально систематизувати наукове знання в межах кожної дисципліни, забезпечити такий синтез науки і духовності, при якому зміст освіти включав би етичні (моральні), естетичні, ціннісні і екологічні компоненти. Це можливо лише за умови відображення в змісті освіти різноманітних зв'язків природознавчого та гуманітарного знання.

Таким чином, актуальною є задача пошуку стрижневої ідеї, яка б акумулювала компоненти, загальні для природознавчих і гуманітарних дисциплін, на базі якої був би можливий їхній ефективний синтез. В якості такого інтегруючого елемента може виступати естетичний зміст дисциплін, розкриття якого дозволило б наповнити новими ціннісними сенсами зокрема природознавчі науки. В цьому контексті є актуальним дослідження впливу естетичних принципів: краси, гармонії і симетрії на розвиток природознавчих наук. Фізика є фундаментальною, найбільш розвинутою природознавчою дисципліною, яка складалася протягом понад 2500 років. Тому аналіз впливу естетичних принципів саме на розвиток фізичного знання має першочергове значення.

Частково ці питання розглядалися в працях відомих фізиків і математиків: В. Гейзенберга [11], Е. Вігнера [12], Г. Вейля, [13], Й. Стюарта [14] та ін. Але відсутній аналіз впливу естетичних принципів на розвиток фізичного знання в історичному контексті.

Раніше було показано [15], що саме естетичні принципи краси, гармонії і симетрії, які були визначені ще за часів Древньої Греції, зумовлюють внутрішню логіку розвитку фізики. За часів зародження фізики була сформульована ідея існування закономірностей природи, можливості їхнього

пізнання і вираження в математичних співвідношеннях, які відбивають гармонію і симетрію – структурні елементи реальності. Гармонія розглядалась як організуючий, впорядковуючий елемент, умова існування всього суцього, існування «першопричини» в різноманітті явищ довколишнього світу. Засобом осягнення гармонії є симетрія – математичне втілення гармонії. Зазначимо, що «гармонія» і «симетрія» є складовими поняття краси. Якщо ідея гармонії з моменту виникнення і до цього часу фактично не змінилася, то поняття симетрії в процесі розвитку математики і фізики зазнало істотної трансформації.

Метою роботи є дослідження еволюції принципу симетрії у фізиці в ХХ ст. і його ролі у становленні сучасної фізичної теорії.

У сучасному тлумаченні симетрія об'єкту (математичного чи фізичного) означає інваріантність (незмінність) його структури при застосуванні відносно нього певних математичних перетворень. У буденному житті з симетрією тіл ми стикаємося на кожному кроці: в природі, мистецтві, архітектурі, біології та ін. У математиці та фізиці поняття симетрії має більш абстрактний характер. Симетричними можуть бути математичні рівняння в тому сенсі, що вони не змінюються при застосуванні відносно них певних математичних операцій.

Ключову роль принципу симетрії у розвитку фундаментальної фізики почали усвідомлювати лише на початку ХХ ст. у зв'язку з розробкою А. Ейнштейном спеціальної теорії відносності (СТВ). Розвиток електродинаміки вивів на перший план питання про обмеженість перетворень Галілея (рівняння Максвелла при застосуванні цих перетворень мали різний вигляд у різних інерціальних системах відліку). Перетворення координат і часу, відносно яких інваріантні рівняння Максвелла, були отримані Г. Лоренцем та незалежно А. Пуанкаре. А. Ейнштейн виявив фундаментальний сенс цих перетворень, а саме відображення в них чотиривимірної симетрії простору-часу. У 1905 р. Г. Лоренц розробив модель електрона, яка задовольняла його перетворенням і тому узгоджувалась із чотиривимірною симетрією. У 1906 р. В. Кауфман, який вважався на той час кращим експериментатором, виконав низку експериментів, у яких досліджував залежність інертності електрона від швидкості, і отримав результати, які не узгоджувалися із СТВ, а підтверджували класичну модель електрона, запропоновану М. Абрагамом.

Показовою стала реакція Пуанкаре і Ейнштейна на цей висновок. Пуанкаре допускав можливість того, що принцип відносності може бути виключений із теорії Лоренца, але позиція Ейнштейна не змінилася. Він «вважав, що його чотиривимірна симетрія настільки красива математично, що вона повинна бути правильною, а якщо експеримент цього не підтверджує, то треба почекати, чи не виявляться які-небудь негарзди в експериментах» [16, с. 124]. Через декілька років експерименти буди

повторені А. Бухерером (1908) і Г. Нейманом (1914). Їхні результати підтвердили справедливість моделі Лоренца-Ейнштейна. П. Дірак так писав з цього приводу: «Ейнштейн був твердо переконаний, що закони природи повинні бути записані у вигляді красивих математичних рівнянь. Він вважав це конче необхідним. Саме пошуки краси склали основу Ейнштейнівського методу роботи. Узгодження із експериментом не було для нього вирішальним фактором» [16, с. 46].

Звичайно ні А. Ейнштейн, ні П. Дірак не намагалися зменшити значення експерименту у верифікації фізичної теорії. Вірогідно, вони були переконані, що утвердженню фізичної теорії часто передують розвиток математичного формалізму, краса рівнянь якого може бути певним гарантом для використання його у дослідженні фізичних процесів об'єктивної реальності. У подальшому ця ідея отримала підтримку багатьох вчених (Г. Вейль, Ю. Вігнер, В. Гейзенберг та ін. [11 – 14]), які визнавали евристичну роль краси математичної моделі в становленні фізичної теорії. Розвиток теорії груп у математиці (Е. Галуа, С. Лі) зумовив можливість групо-теоретичного визначення симетрії. Було встановлено, що симетрійні операції об'єкту задовольняють умовам утворення групи.

Особлива роль симетрії у вивченні законів природи стала ще більш очевидною після того, як в 1919 р. Е. Ньотер довела теорему, що встановлювала зв'язок між властивостями симетрії фізичної системи і математичним формулюванням законів збереження фізичних величин. До того часу вважалось, що закони збереження за допомогою тих чи інших математичних операцій виводяться із законів фізики. Е. Ньотер відкрила, що кожному закону збереження відповідає певний вид симетрії. Внаслідок цього тепер пошук законів збереження у будь-якій теорії зводиться до вивчення симетрії цієї теорії [17].

Фізичні закони симетричні відповідно найбільш загальних перетворень, які поділяються на дві групи: неперервні та дискретні перетворення. Саме неперервні симетрії пов'язані із законами збереження. Ці типи симетрії відносяться до глобальних симетрій. Згодом з'ясувалося, що не менше значення в фізиці мають локальні калібровочні симетрії. Калібровочні (масштабні) перетворення – це перетворення, які виконуються локально в кожній точці простору-часу і неоднорідно, тобто із співвідношенням, яке змінюється від точки до точки. Принцип калібровочної інваріантності у формулюванні Г. Вейля: всі фізичні закони інваріантні відносно довільних (однорідних і неоднорідних) локальних калібровочних перетворень – за своєю сутністю є подальшим розвитком загального принципу відносності Ейнштейна: всі фізичні закони в будь-якій системі відліку (інерційній чи неінерційній) повинні мати однаковий вигляд. Такі перетворення масштабу залишають незмінними силові характеристики поля (наприклад, електричну і

магнітну складові електромагнітного поля). На основі калібровочної симетрії побудовані теорії електрослабкої та електросильної взаємодій.

Другий клас симетрій: дискретні симетрії – не приводять до законів збереження в класичній механіці, але в квантовій механіці зумовлюють закони збереження деяких специфічних величин, які не мають аналогів у класичній механіці. Відкриття кожної нової симетрії породжує лавину експериментальних та теоретичних досліджень. Це ключові моменти на шляху розвитку фізичної науки.

У сучасній теорії елементарних частинок концепція симетрії законів відносно деяких перетворень є провідною. Симетрія розглядається як фактор, що визначає існування різних груп і сімейств елементарних частинок. До теперішнього часу в фізиці встановлено, що в природі діють чотири фундаментальні сили, і всі природні явища є результатом взаємодії між фізичними об'єктами, яка зумовлена однією чи декількома із цих сил: сильна взаємодія, яка утримує кварки у складі адронів і нуклони у складі атомного ядра; електромагнітна взаємодія між електричними зарядами та магнітами; слабка взаємодія, яка відповідає за деякі типи радіоактивного розпаду; гравітаційна взаємодія між всіма тілами.

У класичній механіці Ньютона будь-яка сила – це лише сила притягування чи відштовхування. У сучасних квантових теоріях поняття сили інше. Силова взаємодія вважається результатом обміну частинками – носіями взаємодії між двома елементарними частинками, що взаємодіють. Так електромагнітна взаємодія відбувається за рахунок обміну квантами електромагнітного випромінювання – фотонами, маса спокою яких дорівнює нулю. Цей тип взаємодії – предмет квантової електродинаміки. Переносники сильної взаємодії – глюони, які не мають ні маси спокою, ні заряду. Цей тип взаємодії описується квантовою хромодинамікою. Слабка взаємодія передається масивними частинками – векторними або калібровочними бозонами. Нарешті гравітаційна взаємодія передається гравітонами, які теж не мають маси спокою (експериментально ці частинки ще не зареєстровані).

Окрім того, наразі очевидно, що характер фізичного закону визначається фізичними властивостями частинки, яка переносить взаємодію. Це пояснює, зокрема, чому закон всесвітнього тяжіння і закон Кулона мають однакове математичне формулювання – в обох випадках частинки, які переносять взаємодію, мають нульову масу спокою.

Остаточне вирішення задачі, яка була сформульована ще в Стародавній Греції, розробка єдиної теорії Всесвіту можлива на шляху об'єднання усіх чотирьох взаємодій. Усі відомі теорії об'єднання виходять з того, що при досить високих енергіях взаємодії між частинками, всі сили зливаються в одну силу. Об'єднання сил має поетапний характер.

На першому етапі були об'єднані електромагнітна та слабка взаємодії. Було виявлено, що при енергіях, які приблизно дорівнюють 100 ГеВ, має

місце злиття цих сил в одну. У розробці цієї теорії ключову роль відіграла ідея спонтанного порушення симетрії, яка була запропонована Ш. Глешоу, С. Вайнбергом і А. Саламом (1967). Окремі фізичні системи, які мають певну симетрію, можуть втрачати її у тих випадках, коли симетричний стан енергетично не вигідний (не відповідає мінімуму енергії), а енергетично вигідний стан не має вихідної симетрії і неоднозначний. Це означає, що рівняння руху цієї фізичної системи має серію рішень, які не мають вихідної симетрії. Внаслідок переходу в енергетично вигідний стан реалізується яесь одне рішення. Таким чином, частинки, які зовсім різні при низьких енергіях, при високих енергіях можуть виявитися однією і тією ж частинкою, яка знаходиться в різних станах. Експериментально ця теорія була підтверджена протягом 1973–1983 рр. У 1979 році за розробку цієї теорії Ш. Глешоу, С. Вайнбергу і А. Саламу була присуджена Нобелівська премія.

У руслі ідеї спонтанного порушення симетрії було показано, що при енергіях 10^{14} – 10^{16} GeV об'єднуються сильна, слабка і електромагнітна взаємодії. Теорія, яка об'єднує ці три взаємодії, отримала назву Стандартної моделі. У цій моделі групи симетрії електрослабкої взаємодії і сильної взаємодії є підгрупами єдиної групи. Саме в межах Стандартної моделі набула розвитку теорія Великого вибуху і етапів подальшого розвитку Всесвіту, які характеризуються глобальними структурними перебудовами матерії, що зумовлені спонтанними порушенням симетрії між взаємодіями.

Єдина перепона на шляху до завершення побудови єдиної теорії Всесвіту є включення до неї гравітаційної взаємодії. Труднощі у цьому напрямку викликані тим, що Стандартна теорія є квантовою теорією поля, а теорія гравітації (Загальна Теорія Відносності, яка створена А. Ейнштейном) є суто геометричною (гравітація пояснюється як викривлення просторово-часового континууму). Тому виникла проблема переформулювання теорії гравітації. Найбільш перспективною у цьому плані виявилася розширена теорія супергравітації, яка має симетрію, що в принципі дозволяє об'єднати усі відомі види взаємодій. Супергравітація вибудовується на основі теорії груп, а симетрія, яка з нею пов'язана, має назву суперсиметрії. Суперсиметрія передбачає, що злиття всіх відомих взаємодій матиме місце при енергіях, більших ніж 10^{19} GeV. Цей стан характеризується найвищою симетрією або суперсиметрією.

Під впливом теорії супергравітації виник новий підхід до об'єднання фундаментальних взаємодій – теорія струн, яка в подальшому розвинулась в теорію суперструн [18]. У теорії струн базовими складовими матерії є не елементарні частинки (як вважалось ще з часів давньогрецьких атомістів), а протяжні одномірні струни. Характерна довжина елементарної струни дуже мала, близько $1,6 \cdot 10^{-33}$ см. Усі частинки, які можна спостерігати, є різними гармоніками коливань однієї і тієї ж струни. На великій відстані таке коливання сприймається нами як точкова частинка. Але при зменшенні

просторово-часових масштабів протяжний характер струн починає істотно проявлятися. Точка зору на струни, як на теорію, яка здатна об'єднати всі відомі взаємодії, була обґрунтована в роботах Дж. Шерка і Дж. Шварца (1974). У подальшому при квантуванні струн було встановлено, що вони породжують всі частинки і сили Стандартної моделі.

Наступний крок – це об'єднання теорії струн із теорією суперсиметрії, яке отримало завершення у теорії суперструн. Слід підкреслити, що процеси самоорганізації матерії пов'язані із спонтанним порушенням симетрії. Весь розвиток Всесвіту від самого його зародження – це послідовність спонтанного порушення симетрій, що призводить до появи все більшого різноманіття об'єктів із первинної єдиної цілісної високосиметричної структури. Кожного разу при порушенні симетрії виникало щось нове. Це положення в принципі можна поширити не лише на інші природознавчі науки (біологію, хімію), а також на мистецтво, архітектуру, літературу та ін. [19, 20].

Оцінюючи роль принципу інваріантності у розвитку фізики, відомий фізик П. Девіс писав: «Серед найбільш вражаючих прикладів ролі естетичного чинника – застосування у фундаментальній фізиці симетрії у досить широкому сенсі» [21, с. 56].

Висновки. Естетичні принципи: гармонії, як єдиної картини Всесвіту, і симетрії, як математичного засобу осягнення гармонії, мали визначальний вплив на розвиток фізики протягом всього часу її існування. На сучасному етапі фізики визначальну роль у розробці фізичної теорії відіграє принцип симетрії, як інваріантності законів фізики відносно певних математичних перетворень. Фізика має величезний потенціал у духовному розвитку людини, так як одна із її провідних ідей полягає в пізнанні та розкритті краси світу.

Список літератури: 1. *Адорно Т.* О технике и гуманизме. / Т.Адорно. // *Философия техники* в ФРГ: сб. – М.: Наука, 1989. – С. 364-371. 2. *Кризис сознания:* сборник работ по «философии кризиса» / оформл. сер. О.Н.Никоновой. – М.: «Алгоритм», 2009. – 272 с. 3. *Философия техники:* история и современность / ред. В.М.Розин. – М.: Изд-во Института философии РАН, [Электронный ресурс] / Центр гуманитарных технологий. – Электрон. дан. (13 файлів). – Режим доступу: <http://gtmarket.ru/laboratory/basis/3369>. Назва з домашньої сторінки Інтернету. 4. *Койре А.* Очерки истории философской мысли. / А.Койре. – М.: Прогресс, 1985. – 286 с. 5. *Хайдеггер М.* Время и бытие: Статьи и выступления. / М.Хайдеггер. – М.: Республика, 2013. – 460 с. 6. *Пригожин И.* Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. / И.Пригожин, И.Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с. 7. *Назаретян А.П.* Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории. Синергетика, психология, прогнозирование. / А.П. Назаретян. – М.: Мир, 2004. – 368 с. 8. *Беланова Р.А.* Гуманізація та гуманітаризація освіти в класичних університетах (Україна – США) / Р.А. Беланова. – К.: Центр практичної філософії, 2001. – 216 с. 9. *Закон України* “Про вищу освіту” від 17 січня 2002 р. № 2984 // Офіційний вісник України. – 2002. – № 8. – С. 3-43. 10. *Національна доктрина розвитку освіти* // Офіційний вісник України. – 2002. – № 16. – С. 2-14. 11. *Гейзенберг В.* Шаги за горизонт. / В.Гейзенберг. – М.: Прогресс, 1987. – 368 с. 12. *Вигнер Е.* Этюды о симметрии. / Е.Вигнер. – М.: Мир, 1971. – 319 с. 13. *Вейль Г.* Симметрия. / Г.Вейль. – М.: Наука, 1968. – 192 с. 14. *Стюарт Й.* Истина и

красота. Всемирная история симметрии. / Й. Стюарт. – М. : Изд-во «Аст», 2010. – 464 с. **15. Гапоченко С.Д.** Эволюция концепции гармонии в физике / С.Д. Гапоченко, А.А. Мамалуй // Весник национального технического университета «ХПИ». – 2008. – № 8. – С. 63-71. **16. Дирак П.А.** Воспоминания о необычайной эпохе: сборник научных статей / П.А. Дирак. – М. : Наука, 1990. – 208 с. **17. Стиллвелл Д.** Математика и ее история. / Д.Стилвелл – Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004. – С. 415-416. **18. Грин Б.** Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. / Б. Грин. – М. : Едиториал УРСС, 2007. – 288 с. **19. Шубников А.В.** Симметрия в науке и искусстве. /А.В. Шубников, В.А. Коцик – Москва-Ижевск : Наука, 1972. – 618 с. **20. Джаффе Г.** Симметрия в химии. / Г. Джаффе, М. Орчин – М. : Мир, 1965. – 138 с. **21. Дэвис П.** Суперсила. / П. Дэвис – М. : Мир, 1989. – 272 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Adorno T. O tehnike i gumanizme. / T.Adorno // *Filosofija tehniki v FRG: sb.* – М. : Nauka, 1989. – S. 364-371. **2.** Krizis soznaniya: sbornik rabot po «filosofii krizisa» / oforml. ser. O.N.Nikonovoj. – М. : «Algoritm», 2009. – 272 s. **3.** *Filosofija tehniki: istorija i sovremennost'* / red. V.M. Rozin. – М. : Izd-vo Instituta filosofii RAN, [Jelektronnyj resurs] / Centr gumanitarnyh tehnologij. – Elektron. dan. (13 fayliv). – Rezhym dostupu: <http://gtmarket.ru/laboratory/basis/3369>. – Nazva z domashn'oyi storinky Internetu. **4.** *Kojre A.* Ocherki istorii filosofskoj mysli. / A.Kojre. – М. : Progress, 1985. – 286 s. **5.** *Hajdegger M.* Vremja i bytie: Stat'i i vystuplenija. / M.Hajdegger. – М. : Respublika, 2013. – 460 s. **6.** *Prigozhin I.* Porjadok iz haosa: Novyj dialog cheloveka s prirodoy. / I. Prigozhin, I.Stengers. – М. : Progress, 1986. – 432 s. **7.** *Nazaretjan A.P.* Civilizacionnye krizisy v kontekste Universal'noj istorii. Sinergetika – psihologija – prognozirovanie. / A.P.Nazaretjan. – М. : Mir, 2004. – 368 s. **8.** *Byelanova R.A.* Humanizatsiya ta humanitaryzatsiya osvity v klasychnykh universytetakh (Ukrayina–SShA) / R.A. Byelanova. – K. : Tsentr praktychnoyi filosofiji, 2001. – 216 s. **9.** Zakon Ukrainy “Pro vshchu osvitu” vid 17 sichnya 2002 r. No 2984 // *Ofitsiyyny visnyk Ukrainy.* – 2002. – № 8. – S. 3-43. **10.** *Natsional'na doktryna rozvytku osvity // Ofitsiyyny visnyk Ukrainy.* – 2002. – № 16. – S. 2-14. **11.** *Gejzenberg V.* Shagi za gorizont. / V.Gejzenberg. М. : Progress, 1987. – 368 s. **12.** *E.Vigner.* Jetjudy o simmetrii. / E.Vigner. – М. : Mir, 1971. – 319 s. **13.** *Vejl' G.* Simmetrija. / G.Vejl'. – М. : Nauka, 1968. – 192 s. **14.** *Stjuart J.* Istina i krasota. Vsemiraja istorija simmetrii. / J.Stjuart. – М. : Izd-vo «Ast», 2010. – 464 s. **15.** *Gapochenko, S.D., Mamaluj A.A.* Jevoļucija koncepcii garmonii v fizike / S.D. Gapochenko, A.A. Mamaluj // *Vesnik nacional'nogo tehničeskogo universiteta «HPI»*. – 2008. – № 8. S.63-71. **16.** *Dirak P.A.* Vospominanija o neobyčajnoj jepohe: sbornik nauchnyh statej / P.A. Dirak. – М. : Nauka, 1990. – 208 s. **17.** *Stilvell D.* Matematika i ee istorija. / D.Stilvell – Moskva-Izhevsk : Institut komp'juternyh issledovanij, 2004. – S. 415-416. **18.** *Grin B.* Jelegantnaja Vselennaja. Superstruny, skrytye razmernosti i poiski okonchatel'noj teorii. / B.Grin. – М. : Editorial URSS, 2007. – 288 s. **19.** *Shubnikov A. V., Kocik V.A.* Simmetrija v nauke i iskusstve. / A. V. Shubnikov, V.A. Kocik – Moskva-Izhevsk : Nauka, 1972. – 618 s. **20.** *Dzhaffe G., Orchin M.* Simmetrija v himii. / G. Dzhaffe, M. Orchin – М. : Мир, 1965. – 138 с. **21.** *Djevis P.* Supersila. / P. Devis – М. : Мир, 1989. – 272 с.

Надійшла (received) 24.11.2014