

# Съвременни математически теории и методи със светогледно значение

Людмила Е. Иванчева

Институт по философия и социология – БАН

ludmila.ivancheva@gmail.com

## Contemporary Mathematical Theories and Methods with Worldview Significance

Ludmila E. Ivancheva

Institute of Philosophy and Sociology at the Bulgarian Academy of Sciences

ludmila.ivancheva@gmail.com

**Резюме:** Статията разглежда разработени в неотдавнашен период математически теории и апарат от гледна точка на тяхното светогледно значение, свързано с откриване на възможности за ново, по-задълбочено и пълноценно познание на явленията и процесите в природата и обществото, за по-адекватното им философско осмисляне, за разкриване на нови културни хоризонти. Подробно представени са теорията на размитите множества и теорията на хаоса със свързаната с нея фрактална геометрия. Първата от тях трансформира бивалентното възприемане на света и свързаната с него дихотомизация, като предоставя методи за по-прецизно и адекватно отразяване на феномените около нас (особено в сферата на социалните науки), които се характеризират с многообразие, сложност и нюансираност. Теорията на хаоса, от своя страна, преобразява представите ни за детерминираност, предсказуемост, възпроизводимост, самоорганизация и пр., като същевременно ни предоставя ефективен апарат за вникване в смисъла на различните явления и процеси, за тяхното по-точно прогнозиране и за въплътяване на познанието ни в иновативни технологични решения.

**Ключови думи:** съвременни математически теории, светогледно значение, теория на размитите множества, теория на хаоса, фрактална геометрия

**Abstract:** The article examines recently developed mathematical theories and apparatus in terms of their worldview significance, related to discovering opportunities for new, deeper and more complete knowledge of phenomena and processes in nature and society, for their more adequate philosophical understanding, for opening new cultural horizons. The theory of fuzzy sets and the chaos theory with the associated fractal geometry are presented in detail. The first of them transforms the bivalent perception of the world and the associated dichotomization, providing methods for more accurate and adequate reflection of the phenomena around us (especially in the social sciences), which are characterized by diversity, complexity and nuance. Chaos theory, in turn, transforms our notions of determinism, predictability, reproducibility,

self-organization, etc., while providing us with an effective apparatus for understanding the meaning of various phenomena and processes, for their more accurate prediction and embodiment of our knowledge in innovative technological solutions.

**Keywords:** modern mathematical theories, worldview, fuzzy set theory, chaos theory, fractal geometry

## 1. Въведение

Още от зората на историята математиката винаги е играла съществена роля във формирането на научното знание и е имала своето важно значение за развитието на човешката култура и светоглед, като често е била градивен елемент в тъканта на водещите философски учения като тези на Платон, Аристотел или Питагор.

Някои съвременни математически теории или елементи от нов математически апарат затвърждават онтологичния статус на математиката като фундамент на естествознанието, променят научните парадигми и дават иновативен поглед към структурата и динамиката на Универсума и на човешките общества в частност. Те имат потенциала да променят из основи нашия мироглед, давайки ни същевременно по-дълбоко и цялостно разбиране за това как функционира светът около нас и от какви елементи е съставен.

Типичен пример за това е бета-функцията на Ойлер, мислена първоначално като напълно лишена от физичен смисъл, и топологичните структури, известни като многообразия на Калаби-Яо, залегнали в основите на теорията на струните, развита на по-късен етап до т. нар. М-теория. Физиците откриват, че ако елементарните частици бъдат представени като едномерни вибриращи енергийни струни, всички взаимодействия между тях могат да се представят точно чрез формулата на Ойлер. Освен това се оказва, че светът съществува фактически в цели 11 измерения, като седем от тях (които не са наблюдаеми) са супер миниатюрни и компактни, описвани математически като сложни топологични структури от определен тип, наречени „многообразия на Калаби-Яо“. Ето как един специфичен математически апарат води до създаването на теория, която представя Вселената с нейната структура и динамика по един нов и вълнуващ начин, успявайки не само да обедини теорията на относителността и квантовата механика, но и да предложи различен възглед за същността на гравитацията и като цяло има потенциала (ако в бъдеще бъде потвърдена експериментално) да породви фундаментална трансформация в човешкото разбиране за света, който обитаваме. Тук обаче ще се спрем по-подробно на други две математически теории, които по същество

не само промениха съществено нашия мироглед, но и начина ни на живот, повлиявайки развитието на съвременните технологии.

## **2. Теория на размитите множества**

Така наречената „Теория на размитите множества“ (TRM) е разработена от известния математик от Бъркли Лотфи Заде (Zadeh 1965). Основното различие спрямо класическата теория на множествата на Георг Кантор се състои в идеята, че вместо да се определя дали един обект принадлежи на дадено множество или съответно – не принадлежи, се въвежда така наречената „претеглена принадлежност“ със стойности между 0 и 1, която обозначава степента, в която е приемливо да се счита, че елементът принадлежи на множеството. Тази теория инспирира развитието на т. нар. „размита логика“, която е небинарна по характер.

До откритието на Заде в основата на научното знание като цяло е залегнала класическата логика – тоест приема се, че едно твърдение може да бъде или вярно, или невярно, както твърди Аристотел. Новото в случая с размитите множества е, че степента на истинност на всяко твърдение се измерва по скала между истина и лъжа. По тази причина теорията на Заде играе важна роля в развитието на философията, а неговите идеи предизвикват истински пробив в науката и технологиите.

Обхватът на приложение на идеите на Лотфи Заде е огромен – от осигуряване нивото на температурни колебания в климатиците и микровълновите фурни до оптимизиране на технологичните режими на съвременните телевизори, компютри и мобилни телефони. Теорията на размитите множества (TRM) повлиява области като икономика, управление, информационни науки, изкуствен интелект, лингвистика, медицина, биология и др. Но особено отчетливо светогледното значение на тази нова математическа теория се откроява в сферата на социалните изследвания.

За това има редица основания. Бивалентното мислене *per se* не е в състояние адекватно да обхване социалните явления. Според Бунге (Bunge 1983), бивалентното мислене е толкова примитивно, колкото и свързаната с него дихотомизация и поради това то е напълно неконсистентно по отношение на това как (на равнище общество) е организиран светът. Системите по принцип притежават както полярни, така и неполярни характеристики. Полярните характеристики са по-скоро изключение, отколкото правило. И според Пенингс (Pennings 2003) основен проблем в социалните изследвания е базирането на анализ, изразен в дихотомични понятия: национална – международна политика; публичен – частен сектор; богат – беден; развит – неразвит; демократичен –

недемократичен; работещ – безработен и пр. На теоретично ниво повечето социолози винаги са били наясно с недостатъците от използването на подобни понятия в качеството им на чисти дихотомии (Schneider & Wagemann 2012). Ето защо възниква необходимостта от въвеждане на друг начин на мислене, на друг тип теория, която да даде възможност за по-адекватно представяне на обществените процеси и явления и по-ефективното им изучаване, вземайки предвид цялата им сложност и многообразие. Подходящата за тази цел методология ни се предоставя именно с разработената в началото на шейсетте години на миналия век теория, дефинираща радикално нов вид множества със степенувана принадлежност (така наречените „размити множества“) и базираната на тази теория размита логика. Подходът на Лотфи Зади е далеч по-естествен и „органичен“ от останалите, което го прави особено подходящ в сферата на социалните изследвания, защото размитите множества позволяват по-добро концептуализиране на социалните и политически феномени като *„множества с неясни граници между понятията ‘принадлежност’ и ‘непринадлежност’“* (Klir and Yuan 1995: 4).

Барт Коско (Kosko 1995) твърди, че размитата логика е не просто метод, а поражда нов светоглед, който не се фокусира върху бивалентността, а може да обясни и поливалентните феномени и поради това отправя сериозно предизвикателство към „вероятностния монопол“ на класическата логика на Аристотел.

Различни автори и публикации обсъждат огромния потенциал на теоретико-множествения подход в социалните изследвания. Това течение дотолкова вече е „набрало скорост“, че се говори дори за *„редизайн на социалното изследване“* (Ragin 2008). Рагин и Пенингс (Ragin & Pennings 2005) посочват в своя редакционна статия: *„Размитите множества могат да помогнат на учените от обществените науки в концептуализирането на социални и политически явления, представяйки ги под формата на множества с неясна граница помежду им“*.

Смитсън и Веркуйлен обобщават последните достижения в теоретико-множествената методология в социалните науки, оформяйки книгата си *„Теория на размитите множества: приложения в социалните науки“* като наръчник за изследователи, интересувани се от тази проблематика (Smithson & Verkuilen 2006). Набляга се върху тези особености на ТРМ, които я правят особено подходящ апарат за социални изследвания. Такива са специфичните отношения множество – подмножество и множество – супермножество, които според авторите са от изключителна важност за обществените науки и не биха могли да бъдат моделирани чрез традиционните корелационни методи. С тяхна помощ могат да бъдат идентифицирани например

необходимите и достатъчни условия за постигането на дадено следствие, което е особено ценно за анализите на социални феномени.

Тим Ляо пише в предговора към книгата: „*Какво теорията на размитите множества може да допринесе за социалните науки? Неопределеността е присъща на обществено-научните изследвания, а теорията на размитите множества ни предоставя подходящ начин за третиране на неопределеността систематично и конструктивно, вместо просто ѝ замитане под килима*“ (Smithson & Verkuilen 2006: p. ix).

Смитсън и Веркуйлен изтъкват няколко съществени основания за вмъкването на размитите множества в дневния ред на социалните науки:

- Много конструктори в социалните науки имат както категориален, така и дименсионален характер. В този смисъл размитите множества позволяват по-прецизно и нюансирано представяне на категориалните понятия чрез определяне на различни степени на принадлежност към дадено множество вместо дихотомията „елемент на множеството – извън него“;
- Размитите множества са в състояние да третират както разнообразието, така и неопределеността по един систематичен начин;
- Тази теория успешно обединява „множествената парадигма“ и апарата, базиран на непрекъснати променливи, и то по математически строг и издържан начин (Smithson & Verkuilen 2006).

Основна характерна черта на ТРМ е използването на **калибриране вместо стандартното измерване** в статистиката. Калибрирането означава всъщност намиране на смислени разлики между отделните случаи, базирани върху интерпретиране на числените стойности на принадлежност според определени външни стандарти (Ragin 2008). Така например, степените на принадлежност към множеството „личност с висок доход“ трябва да бъдат съобразени с икономическите показатели на жителите на дадената страна.

Освен това Рагин доказва, че размитите множества **съвместяват както количествени, така и качествени параметри**. Именно това ги прави незаменим помощник в анализирането на социални явления и процеси. Би било грешка да се разглеждат степените на принадлежност към дадено размито множество като опростена версия на интервална скала. Тук имаме не само смислена нула и единица (като крайна

стойност, означаваща пълна принадлежност), но и всички междинни стойности, които конституират по същество качествени оценки, базирани на дълбочинно познание както на отделните случаи, така и на релевантната социална теория. Рагин предлага именно това – да се използва теоретико-множествения метод, за да се намери желания междинен път между количественото и качествено изследване. Той демонстрира капацитета на този подход за постигането на ползотворно съчетаване на характерното за качествения анализ детайлно познаване на изследваните случаи и възможността за открояване на структурни особености в множеството от случаи, предоставена ни от количествения метод.

Друга важна особеност на TRM, открояна от Рагин, е *фокусирането ѝ върху последствията и резултатите, а не върху зависимите променливи и техните вариации*, които са в центъра на конвенционалната теоретична рамка. Рагин препоръчва концептуализиране на явлението или процеса като очакван качествен резултат – видима промяна или специфично прекъсване. Например, вместо да опитват да обяснят вариациите в нивото на социални разходи за различни страни и в продължение на десетилетия, изследователите следва да концептуализират понятието „съкращаване на социалните разходи“ като следствие, възникнало на определени места и в специфични моменти от времето. След идентифициране на няколко добри примера и изучаването им в дълбочина, става възможно разработването на критерии за преценка в каква степен различните случаи (разположени във времето и пространството) имат отношение към обсъждания резултат. Накратко казано, тези критерии правят възможно калибрирането на степени на принадлежност към резултата.

Установено е също, че няма само един твърдо установен начин на приложение на размитите множества. Фактически методологията, базирана на TRM, е много разнообразна сама по себе си и вътрешно богата на възможности, което ѝ придава гъвкавост при използването ѝ в социалните изследвания.

В последно време методите за математическа класификация привличат силно вниманието на изследователите и доведоха до един от основните класове формални многомерни статистически процедури, предназначени за описване структурните характеристики на масиви от данни – така наречения клъстер анализ. Клъстеризацията е всъщност алгоритъм за класификация на изходните данни по осмислени еднородни групи – клъстери, състоящи се от твърде подобни един на друг обекти, показващи с висока степен на сходство по определени формални признаци.

Редица проблеми на традиционния клъстер анализ се преодоляват чрез строго аналитично развита методология, основана на теорията на размитите множества, или така наречената „размита квантификация“. Теорията на размитите множества обезпечава желани пренос на избрани таксономични решения от дискретното метрическо пространство в едно непрекъснато пространство, в което понятието „подобна класификация“ може да се определи много по-съдържателно (Ruspini 1986).

По-нататък, ТРМ, заменяйки строгата принадлежност към дадено множество с определена степен на принадлежност, изразена с число между 0 и 1, позволява по-задоволително да бъдат представени точките, които лежат извън ядрото или прототипната част на всеки клъстер. Някои гносеологически разсъждения показват, че размитите множества са по-пригодни в качеството им на инструмент за представянето на непрекъснати клъстери, отколкото теорията на вероятностите (Hayashi, Jambu, Diday 1988). Освен това, размитата клъстеризация позволява по-детайлно и фино структуриране на масивите от данни.

Представеният анализ илюстрира и факта, че размитите множества представляват методологически инструмент, който позволява съчетаването на качествения и количествения подход в социалните изследвания и в частност в социологията. Сравнението със стандартните техники разкрива редица предимства на ТРМ, особено в специфичните ѝ възможности за установяване на каузални зависимости, които не се адресират от известните статистически методи. Освен това, ТРМ позволява един много по-богат и нюансиран диалог между идеите и доказателствата в социалните изследвания. Като цяло, теоретико-множественият подход, базиран на теорията на размитите множества, притежава мощен евристичен заряд и голям потенциал за приложение в съвременната социология.

В обобщение може да цитираме Фабио Марзока, който заявява: *„Следователно, размитата логика е тази, която изглежда – повече от другите – способна да открие тази конкретна характеристика на човека: да интегрира и обмисля всички контексти, взаимовръзки, взаимодействия между различните реалности като част от визията. Това е нов подход към математическата логика, който вместо да принуждава човешката мисъл за бинарното разсъждение, типично за технологията, се опитва да въведе в самата технология някои елементи на „неяснота“, типични за необятността на нашето аналогово мислене. Пътят все още е дълъг и труден, за да може да се развие огромния и неизследван потенциал на човешкия ум, но това може да бъде първи*

*предварителен път към повторното омагьосване на света, за което се застъпва Макс Вебер в първите години на миналия век“ (Marzocca 2015: 4).*

### **3. Теория на хаоса и фрактална геометрия**

Едно от най-значимите открития на миналия 20-и век безспорно е теорията на хаоса, която коренно промени визията ни за това как функционират т.нар. нелинейни системи, които са широко разпространени в природата (като например при турбулентни състояния във флуидна и газова среда, тектонични трептения, в популационната динамика на организмите и др.), но са характерни и за социалното развитие, икономиката, пътния трафик, демографските процеси и редица технологични приложения. Най-типичното за този вид системи е непропорционалността на реакцията на изхода спрямо оказаните входни въздействия (тази чувствителност е известна под названието „ефект на пеперудата“), като от особено значение са началните условия.

Теорията извежда понятието „*детерминистичен хаос*“ – на пръв поглед противоречиво по своята същност, но в действителност отразяващо възможността за откриване на точни закономерности и повтарящи се модели в поведението на споменатите нелинейни системи, описвани с математически уравнения. Типичен резултат от динамиката на тези системи е появата на самоорганизация, контури с обратна връзка и себеподобие. Тоест това, което преди е изглеждало като напълно случаен процес без възможности за опознаване и предвидимост, се оказва в крайна сметка податливо на математическо описание, например чрез апарата на нелинейния анализ на времеви редове с пряко приложение в икономиката и социалната динамика.

Теорията на хаоса води началото си от разработките на климатолога Едуард Лоренц (Lorenz 1963), който чрез създаване на нелинеен математически модел на атмосферния поток полага основите на изучаването на нелинейните системи и тяхната характерна динамика. Лоренц прилага три диференциални уравнения, като представя резултатите от компютърната им симулация за стойности на критичните параметри и така установява основните характеристики на хаотичните системи. Първата е *периодичност*, а другата – *чувствителност към началните условия*. Това означава, че при промяна на началните данни дори с нищожно малка величина, резултатното поведение на системата може да се различава коренно от предишното (поради математически феномен, наречен рекурсия). Лоренц илюстрира този ефект посредством аналогията с пеперуда, която размахва криле и по този начин генерира мощен ураган в



другия край на света. Това означава, че една сложна нелинейна хаотична система е силно уязвима спрямо незначителни промени, които могат да нарушат нейното равновесие.

Чувствителността спрямо първоначалните условия има дълбоко значение за прогнозирането на хаотичните системи: за да се предскаже точно дори средносрочното поведение на такава система, се изисква измерване на първоначалните условия с безкрайна точност. По този начин, въпреки че хаотичните системи се управляват от детерминистични закони, прогнозирането на техните средносрочни траектории остава по принцип невъзможно. Това обаче не е в сила относно предвиждането на поведението на системите в дългосрочен план (Hooker 2011).

Важна последица от разработването на теорията на хаоса е промяната в парадигмата за относителна устойчивост и предвидимост в природата, и то на макроравнище (тъй като квантовата механика, добила популярност сред физиците в началото на миналия век, вече е оспорила успешно тази парадигма, но само в микромащаб). Тази иновативна теория показва, че в света, в който живеем, съществуват множество сложни по характер явления и системи, които проявяват както статична, така и динамична и структурна нестабилност, която обаче води до формирането на специфични модели, спонтанни фазови преходи, процеси на еволюция и растеж, както и самоорганизация, така че нелинейността и неустойчивостта по принцип се проявяват като средство за развитие и усъвършенстване. Ето защо нестабилността следва да се разглежда като неоспорим емпиричен факт, присъщ на нашия жизнен свят и позволяващ ни да го опознаем по-добре, а не всичко да се отдава на непроследима случайност.

В миналото стабилността се приема за даденост като имплицитно априорно условие за квалифицирането на даден математически модел като физически релевантен и адекватен. Това метафизично убеждение е широко разпространено през цялата история на физиката, определяйки фокуса на интереса и подбора на обектите, които се считат за заслужаващи изследване. Оформянето и концептуализирането на природата като стабилна, инвариантна във времето и симетрична, наистина е успешна стратегия за развитие на специфично физично познание. Интересно е да се отбележи, че метафизичните убеждения и методологическите съображения са тясно преплетени, така че няма ясна граница между тях.

През цялата история метафизиката на устойчивостта винаги е играла основна роля в науката, започвайки в древни времена с концепцията за стабилност на Космоса на Платон. В съвременното тази философска концепция може да се намери в трудовете на

изключителни физици като Нютон и Айнщайн. Например, Нютон не се доверява на собствените си нелинейни уравнения за системи с три и  $n$  тела, които потенциално могат да водят до неустойчиви решения. Освен това, той прибегва до свръхестествената намеса на Бог, за да се стабилизира например Слънчевата система. В същия дух Айнщайн въвежда *ad hoc*, т.е. без никакви емпирични доказателства или физична обосновка, т.нар. космологична константа в рамките на Общата теория на относителността, за да гарантира една статична и устойчива вселена, известна като „Космосът на Айнщайн“. Посочените примери са добра илюстрация на това как метафизичните убеждения за природата могат да бъдат толкова силни, че да надделяват дори в случаите на конфликт с реалното физично познание в съответния момент (Hooker 2011).

Както се оказва, дълго време физичните обекти са били възприемани и рамкирани именно от гледна точка на устойчивостта. През цялата история на точните науки нестабилностите не са широко признати от научната общност като присъщи на природните и обществените процеси и явления. Днес обаче, благодарение главно на напредъка на нелинейната динамика, това може да се характеризира като специфична догма, оказвала силно влияние върху физичните теории и постановки, но постепенно преодолявана. *„Ще поставим под въпрос общоприетото мнение, че стабилността е основно свойство за моделите на физични системи. [...] Логиката, която подкрепя догмата за устойчивост, е погрешна.“* (Guckenheimer & Holmes 1983: 259) Именно от 60-те години на миналия век, с възникването на теорията на хаоса, физиката започва да разширява методологичния си хоризонт – включително като се отърсва от ограничаването на методологията до изискванията за устойчивост. Същевременно нестабилността се оказва фундаментална характеристика, присъща на природата, на функциите и структурата на живите организми, на технологиите и на социално-икономическите процеси, а не някакъв епифеномен от незначително значение. През последните 60 години физиците успешно заменят традиционния чисто количествен, метрично ориентиран математически апарат, съответстващ на концепцията за устойчивост, с повече качествени по характер, топологични характеристики и методи. Много модели и закономерности в нелинейната динамика се оказват неустойчиви, *„и ние сме уверени, че това [...] са реалистични модели [...] на съответните физични системи“* (Guckenheimer & Holmes 1983: 259). С други думи, налага се както преразглеждане на установените метафизични възгледи, така и на съответните методологически предпоставки. Флуктуациите и загубата на устойчивост вече не могат да се разглеждат като изключения в рамките на един по принцип стабилен свят, но те са

и източник на развитие и самоорганизация, т.е. двигател на развитието в природната и на човешка еволюция.

Нелинейните системи се характеризират и с наличието на т. нар. *странни атрактори*, тоест области във фазовото пространство на състоянията със сложна форма, към които системата се стреми независимо от стойностите на отделните ѝ параметри и тяхната динамика. Тези атрактори се оказват с фрактална структура. Тя намира своето математическо описание в т.нар. фрактална геометрия, разработена през седемдесетте години на миналия век от Беноа Манделброт и се отнася до комплексните структури с дробна размерност и със силно изразено себеподобие, които той изучава (Mandelbrot 1977). В труда си той използва научните резултати на редица учени като Поанкаре, Джулия, Кантор, Хаусдорф, Пеано и др., работили върху подобни проблеми преди него, като успява да обогати, обобщи и интегрира наличните късове познание в единна и стройна математическа система. Според Манделброт, между неконтролируемия хаос и строгия ред на Евклид възниква нова зона – тази на фракталите.

Фракталите са форми, изключително широко разпространени сред природните обекти. Например, бреговите линии, облаците, дървесните корони, пламъците, речните системи, растителни видове като карфиол, папрат и др. Разклоненията на кръвоносните съдове в човека и бронхите в белия дроб също имат фрактална структура. Тя може да бъде породена и вследствие на нелинейни динамични процеси като турбуленцията във флуиди. Най-характерният белег на фракталите е себеподобието, т.е. възпроизвеждането на едни и същи фигури и структури в различен мащаб, клонящ към безкрайност, което поражда типичните „начупени“ очертания, имащи необичайна дробна метрична размерност. Математически това се осъществява чрез циклично повтаряне (чрез итерация или рекурсия) на прост по характер модел (геометричен или алгебричен) при непрекъснатата обратна връзка.

Интересно явление е появата и развитието на т. нар. фрактални дигитални технологии, намерили широко разпространение при формирането на инструменти за филтриране на сигнали, при синтеза на триизмерни компютърни модели или при процесите на компресиране на изображения.

Светогледното значение на фракталната геометрия трудно може да бъде оспорено. Фракталите се оказаха принципно ново математическо откритие, способно да промени древните, но и съществуващи доскоро, представи за структурата на света. Беше доказано, че с прости изчисления могат да се генерират изключително сложни фигури с присъща красота, което само по себе си е изумителен факт. А създаването на достатъчно

точни модели на околната среда, на различни физични или биологични процеси, дава възможност за по-точно оценяване на факторите, влияещи върху тяхното състояние и развитие, усилвайки същевременно капацитета ни за по-ефективно въздействие върху тях и съответно – за извличане на повече ползи за човечеството и за разширяване на познавателните му хоризонти.

Напоследък намира разпространение и една изключително интересна и вълнуваща идея – за фракталната структура на самата Вселена, която идея се съгласува по удивителен начин с някои скорошни постижения във физиката (Ivancheva 2021). Така например Колеман и Пиетронеро твърдят в своя публикация, че *„разпределението на видимата материя във Вселената изглежда е фрактално и мултифрактално до настоящите граници на наблюдение (200 Мрс; около една двадесета от радиуса на Хъбъл на цялата Вселена) без никакви доказателства за хомогенизиране“* (Coleman & Pietronero 1992). Друг автор също стига до подобно заключение: *„Ако погледнете структурите, които са образуват във Вселената, много от нещата, които виждаме в големи мащаби, се появяват и в малки мащаби“* (Siegel 2021). Според него Вселената не е истински фрактал, но дори със структури, които са приблизително фрактални, тя отправя към нас изключителни познавателни и светогледни предизвикателства.

Като цяло, с развитието на теорията на хаоса и на фракталната геометрия настъпва истински поврат в разбирането ни за множество значими явления и процеси, което ни дава и инструмент за влияние и интервенция върху тях в желана от нас посока. А това е особено важно и с възможни огромни последици в области като превенция на риска (било то екологичен, климатичен, социален, икономически и т. н.), като освен това ни снабдява и с иновативни средства за революционизиране на различни технологични решения и дори с нови подходи и похвати във визуалните изкуства. Общо погледнато, нелинейната динамика отправя своите сериозни предизвикателства както към научната методология, така и към философията на науката, провокирайки необходимост от преосмисляне на концепциите за детерминираност, предсказуемост, възпроизводимост и пр.

#### **4. Заключение**

Както се убедихме, съвременното развитие на математиката ни поднася теории и методи, които, макар и чисто рационални по своя характер, могат да преобразят представите ни за природния свят и за човешкото общество. Теорията на размитите

множества например се оказва не само специфичен апарат за изчисления, но и инструмент за по-дълбинно разбиране на природните процеси, включително такива, въплътени в иновативни технологични решения, като същевременно разкрива пред нас цял спектър от нови възможности за по-пълно и прецизно опознаване на социалните явления, на тяхната структура, динамика и на скритите фактори, които ги обуславят.

Теорията на хаоса и фракталната геометрия, от своя страна, поражда мощен парадигмален поврат към разбирането на хаоса като нещо, вътрешно присъщо на природата във всякакви мащаби, а същевременно като феномен, който подлежи на своеобразно „опитомяване“ и описание, така че в крайна сметка да станат възможни сравнително точни прогнозни анализи в качеството им на средство за контрол и по-ефективно управление на процесите, било свързани с природни явления (например превенция на тежки последици от урагани, градушки, наводнения и пр.), било социални, икономически или чисто технологични. Както видяхме, фракталната геометрия намира своето място дори в сферата на графичния дизайн и визуалните изкуства, обогатявайки човешкия творчески потенциал. Като цяло, математиката на съвременен етап е не само рационална система за изследване на количествени закономерности, но притежава и потенциал да разширява и трансформира вижданията ни за света около нас, помагайки ни да вникнем по-дълбоко в неговата същност и да развием цивилизацията си на едно по-високо ниво както в технологичен, така и в духовен аспект.

### **Библиография/References**

- Barnsley, M.** 1988. *Fractals everywhere*. San Diego, CA: Academic Press.
- Bunge, M.** 1983. *Epistemologie: Aktuelle Fragen der Wissenschaftstheorie*. Mannheim: Bibliographisches Institut.
- Coleman, P., Pietronero, L.** 1992. The fractal structure of the Universe. // *Physics Reports*, 213(6): 311-389.
- Guckenheimer, J., Holmes, P.** 1983. *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields (Applied Mathematical Sciences, 42)*. New York: Springer.
- Hayashi, C., Jambu, M., Diday, E. (Eds.)** 1988. *Proceedings of the Japanese-French Scientific Seminar, March 24-26, 1987*, Boston: John Wiley & Sons.
- Hooker, C. (Ed.)** 2011. *Philosophy of Complex Systems. Volume 10 in Handbook of the Philosophy of Science*. Amsterdam: Elsevier.
- Ivancheva, L.** 2021. Leibniz's "Monadology" and its insights concerning quantum physics. // *Papers of BAS, Humanities and Social Sciences*, 8(2): 160-170.
- Klir, G., Yuan, B.** 1995. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic*. New York: Academic Press.
- Kosko, B.** 1995. *Fuzzy logisch: Eine neue Art des Denkens*. Düsseldorf: Hyperion.

**Lorenz, E.** 1963. Deterministic Nonperiodic Flow. // *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20(2), 130–141.

**Mandelbrot, B.** 1977. *Fractals: Form, Chance and Dimension*. San Francisco: Freeman.

**Marzocca, F.** 2015. Fuzzy: a many-valued logic. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/280521325\\_Fuzzy\\_a\\_many-valued\\_logic](https://www.researchgate.net/publication/280521325_Fuzzy_a_many-valued_logic) Last accessed 02.05.2022.

**Pennings, P.** 2005. *The Diversity and Causality of Welfare State Reforms Explored with Fuzzy-Sets*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

**Siegel, E.** 2021. Is The Universe actually a fractal? // *Forbes*, Jan 6.

**Smithson, M., Verkuilen J.** 2006. *Fuzzy Set Theory: Application in the Social Sciences. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences 147*. London: SAGE Publications.

**Ragin, Ch.** 2008. *Redesigning Social Inquiry. Fuzzy Sets and Beyond*. Chicago: Chicago University Press.

**Ragin, Ch., Pennings, P.** 2005. Fuzzy Sets and Social Research. *Sociological Methods & Research*. 33(4): 423.

**Ruspini, E.** 1986. Recent advances in fuzzy cluster analysis. – In: *Fuzzy sets and probability theory*. Moscow: Nauka.

**Schneider, C., Wagemann, C.** 2012. *Set-Theoretic Methods for the Social Sciences: A Guide to Qualitative Comparative Analysis (Strategies for Social Inquiry)*. Cambridge: Cambridge University Press.

**Zadeh, L.** 1965. Fuzzy sets. // *Information and Control*, 8(3): 338-353.