

ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В.М.ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту кібернетики

імені В.М. Глушкова НАН України

академік НАН України



Іван СЕРГІЄНКО

» вересня 2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ЕВОЛЮЦІЙНА КІБЕРНЕТИКА (ДВА.2.03)

для здобувачів освітньо-наукового рівня «доктор філософії»

галузь знань

спеціальність

освітній рівень

освітньо-наукова програма «Комп'ютерні науки»

вид дисципліни

Ф «Інформаційні технології»

ФЗ «Комп'ютерні науки»

третій (освітньо-науковий)

«Комп'ютерні науки»

вибіркова

Форма навчання

Навчальний рік

Рік навчання

Кількість кредитів ECTS

Мова викладання, навчання

та оцінювання

Форма заключного контролю

денна / заочна

2025/2026

2

2

українська

залік

Викладачі: ПАЛАГІН Олександр Васильович, д.т.н., професор

СИМОНОВ Денис Ігорович, доктор філософії

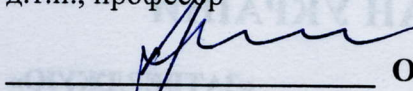
Пролонговано вченою радою Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

Навчальні роки пролонгації	Голова вченої ради	Підпис	№ протоколу	Дата протоколу
20___/20___ р.	_____	_____	_____	_____
20___/20___ р.	_____	_____	_____	_____
20___/20___ р.	_____	_____	_____	_____
20___/20___ р.	_____	_____	_____	_____

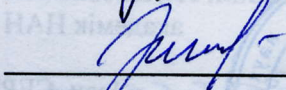
КИЇВ – 2025

РОЗРОБНИКИ:

Головний науковий співробітник відділу мікропроцесорної техніки,
д.т.н., професор

 **Олександр ПАЛАГІН**

Т.в.о. завідувача лабораторії прикладної інформатики, доктор філософії

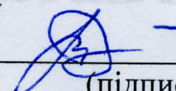
 **Денис СИМОНОВ**

Робочу програму розглянуто та схвалено на засіданні відділу мікропроцесорної техніки

Протокол від "29" вересня 20 25 року № 15

Завідувач відділу

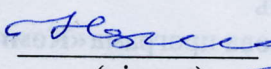
д.т.н., професор

 **Володимир ОПАНАСЕНКО**
(підпис)

Робочу програму ухвалено науково-методичною радою

Протокол від "22" вересня 20 25 року № 2

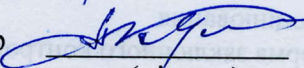
Голова науково-методичної ради
академік НАН України

 **Іван СЕРГІЄНКО**
(підпис)

**Робочу програму затверджено Вченою радою Інституту кібернетики імені
В.М. Глушкова НАН України**

Протокол від "29" вересня 20 25 року № 15

Учений секретар

 **Анатолій КУЛЯС**
(підпис)

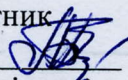
Робочу програму погоджено з гарантом освітньої програми F3 «Комп'ютерні науки»

"29" вересня 20 25 року

Гарант освітньої програми

Головний науковий співробітник

д.т.н., с.н.с.

 **Микола БУДНИК**
(підпис)

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Еволюційна кібернетика» відіграє ключову роль у підготовці фахівців у галузі комп'ютерних наук та інтелектуальних систем, оскільки вона спрямована на формування знань і навичок з принципів побудови та управління автономними, адаптивними і тривало функціонуючими системами. Дисципліна інтегрує методи кібернетики, теорії інформації, системну динаміку, еволюційних алгоритмів, теорії складних систем та штучного інтелекту, забезпечуючи міждисциплінарний підхід до проектування керованих еволюційних процесів у технічних, біологічних і соціотехнічних системах.

Робочу програму навчальної дисципліни розроблено згідно до освітньо-наукової програми «Комп'ютерні науки» підготовки фахівців на здобуття освітньо-наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю F3 «Комп'ютерні науки» галузі знань F «Інформаційні технології».

Предметом вивчення навчальної дисципліни, на який повинна бути спрямована пізнавальна діяльність аспірантів, є:

- концептуальні та методологічні основи еволюційної кібернетики як нової міждисциплінарної галузі;
- принципи побудови та формальні моделі керованої еволюції у технічних, біологічних, соціотехнічних і гібридних системах;
- методи та алгоритми еволюційних обчислень і їх застосування в багаторівневих системах управління;
- прикладні підходи до проектування адаптивних архітектур і когнітивних агентів із двоконтурною структурою управління;
- етичні та безпекові виміри застосування еволюційної кібернетики у сфері інтелектуальних та автономних систем.

Міждисциплінарні зв'язки:

- базується на дисциплінах: «Кібернетика», «Теорія інформації», «Системний аналіз», «Обчислювальні методи», «Штучний інтелект», «Еволюційні алгоритми», «Математичне моделювання»;
- забезпечує дисципліни: «Інтелектуальні системи управління», «Мультиагентні системи», «Системи підтримки прийняття рішень», «Моделювання та управління складними системами», «Системна динаміка та глобальні моделі», «Інформаційні технології в управлінні ризиками та сталим розвитком» тощо.

Для успішного засвоєння дисципліни необхідна ґрунтовна підготовка з дискретної математики, теорії ймовірностей, теорії графів і комбінаторики, а також знання алгоритмів, структур даних і принципів обчислювальної складності. Базові навички програмування та досвід роботи з інструментами чисельного моделювання чи машинного навчання істотно підвищують ефективність опанування курсу.

1. Метою дисципліни є формування і закріплення в аспірантів системного бачення, глибоких теоретичних знань і практичних навичок у сфері проектування, аналізу та управління еволюцією складних кібернетичних систем. Основна увага приділяється дослідженню закономірностей розвитку динамічних систем, механізмів підтримки їхньої стійкості, а також методів виявлення й запобігання кризовим та аномальним режимам функціонування.

Зокрема, у межах дисципліни передбачається:

- вивчення парадигм, принципів і формальних моделей еволюційної кібернетики;
- засвоєння методів проектування багаторівневих систем управління, здатних адаптивно змінювати власні алгоритми, архітектури та критерії в умовах невизначеності;
- набуття практичних навичок застосування еволюційних алгоритмів і мультиагентних методів у задачах оптимізації та прогнозування;
- формування компетенцій щодо оцінювання еволюційної стійкості систем, аналізу кризових сценаріїв і управління ризиками;
- розуміння етичних та безпекових аспектів застосування технологій керованої еволюції.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни.

Для успішного засвоєння курсу «Еволюційна кібернетика» необхідні фундаментальні знання та досвід роботи з сучасними математичними й обчислювальними методами, що забезпечують аналіз та моделювання складних систем.

Необхідно *знати*:

- основи математичної логіки, теорії множин і дискретної математики;
- теорію графів і мережевих структур, включно з алгоритмами на графах;
- базові положення теорії управління, системного аналізу та теорії інформації;
- принципи побудови й застосування еволюційних алгоритмів та методів оптимізації;
- основи моделювання складних і багаторівневих динамічних систем.

Необхідно *вміти*:

- формулювати дослідницькі задачі у термінах кібернетики, аналізувати предметну область і визначати релевантні параметри системи;
- будувати математичні моделі складних систем із урахуванням невизначеності, стохастичних процесів та нелінійної динаміки;
- застосовувати методи еволюційних обчислень, машинного навчання та мультиагентних систем для пошуку рішень;
- проектувати багаторівневі архітектури управління, що інтегрують функціональні й еволюційні механізми;
- розробляти та тестувати комп'ютерні симуляції сценаріїв розвитку систем, оцінювати їхню стійкість і поведінку в умовах криз та аномальних режимів;
- інтегрувати різні джерела знань і використовувати сучасні обчислювальні ресурси для дослідження складних динамічних процесів.

Ці вимоги забезпечують готовність до роботи з міждисциплінарними моделями, що поєднують кібернетику, еволюційні алгоритми, штучний інтелект і теорію складних систем, та є передумовою для успішного оволодіння навчальною дисципліною.

3. Анотація навчальної дисципліни.

«Еволюційна кібернетика» належить до дисциплін вільного вибору і спрямована на формування сучасного наукового бачення процесів розвитку та трансформації складних систем у технічних, біологічних і соціотехнічних доменах. Дисципліна визначає предмет і тематику еволюційної кібернетики, яка інтегрує методи кібернетики, еволюційних обчислень, теорії складних систем, штучного інтелекту та когнітивних наук.

У межах курсу розглядається концептуальна парадигма керованої еволюції, ключовими складовими якої є:

- варіація та відбір у керуючих структурах;
- модифікація архітектур управління і цільових функцій;
- адаптивні механізми коеволюції системи та середовища;
- методи виявлення та подолання кризових і аномальних режимів функціонування.

Наведено основні аспекти побудови багаторівневих адаптивних систем управління з еволюційними механізмами, їх архітектурно-технологічні особливості та принципи забезпечення стійкості й довготривалої життєздатності.

Розглядається архітектурно-структурна організація еволюційних кібернетичних систем, зокрема інтеграція функціонального та еволюційного контурів управління, методи оркестрації різноманітності та управління ризиками.

Особлива увага приділяється універсальним інваріантам еволюційних процесів – інформаційним, ресурсним, структурним і темпоральним закономірностям, що проявляються у біологічних, технічних і соціальних системах.

Дисципліна висвітлює методичні та інструментальні засоби моделювання еволюційних сценаріїв, включно з еволюційними алгоритмами, мультиагентними підходами, методами машинного навчання та симуляційними платформами. Розглядаються приклади застосування цих засобів для прогнозування розвитку складних систем, управління кризами та забезпечення безпеки.

Також проаналізовано етичні та безпекові аспекти керованої еволюції, включно з проблемами зміни цілей автономних систем, запобігання неконтрольованим сценаріям і формуванням стратегій сталого розвитку.

4. Основними завданнями вивчення дисципліни «Еволюційна кібернетика» є засвоєння фундаментальних знань про принципи та моделі керованої еволюції складних систем, а також набуття вмінь застосовувати ці знання у науково-дослідній та професійній діяльності, зокрема:

знати:

- основні парадигми та принципи еволюційної кібернетики;
- теоретичні засади кібернетики, теорії управління та інформаційної динаміки;
- моделі еволюційних процесів у технічних, біологічних та соціотехнічних системах;
- еволюційні алгоритми, їхні модифікації та сфери застосування;
- механізми стійкості, коеволюції та адаптивності складних динамічних систем;
- методи виявлення кризових режимів, аномалій і неконтрольованих сценаріїв розвитку;
- концепти багаторівневих і мультиконтурних архітектур управління;
- етичні та безпекові аспекти керованої еволюції інтелектуальних і автономних систем.

вміти:

- формулювати дослідницькі задачі у термінах еволюційної кібернетики та визначати релевантні змінні для аналізу;
- будувати математичні моделі складних систем із урахуванням невизначеності та нелінійної динаміки;
- застосовувати еволюційні алгоритми, мультиагентні підходи та методи машинного навчання для оптимізації й прогнозування;
- проєктувати багаторівневі адаптивні архітектури управління з інтегрованими еволюційними механізмами;
- оцінювати еволюційну стійкість систем, моделювати сценарії розвитку та розробляти стратегії управління ризиками;
- аналізувати кризові та аномальні стани й розробляти методи їх запобігання або подолання.

мати навички:

- побудови та тестування комп'ютерних симуляцій еволюційних процесів у складних системах;
- використання сучасних обчислювальних платформ для реалізації еволюційних алгоритмів і моделювання сценаріїв розвитку;
- інтеграції різних джерел знань і створення експериментальних середовищ для перевірки еволюційних гіпотез;
- практичного застосування етичних і безпекових принципів при розробці та впровадженні еволюційно-керованих систем.

Роль навчальної дисципліни у досягненні програмних компетентностей

Дана дисципліна забезпечує досягнення наступних фахових компетентностей:

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у комп'ютерній науці та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з комп'ютерних наук та суміжних галузей.

СК03. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності

СК05. Здатність виявляти, ставити та вирішувати дослідницькі науково-прикладні задачі та/або проблеми в сфері комп'ютерних наук, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК09. Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем у галузі комп'ютерних наук, а також до застосування сучасних методологій, методів та інструментів педагогічної та наукової діяльності в комп'ютерних науках.

5. Результати навчання за дисципліною.

Результат навчання (РН) (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
РН 1.1	Знати основні парадигми та принципи еволюційної кібернетики, базові поняття стійкості, коеволюції та адаптивності	Лекція	Залік, активна робота на лекції, усні відповіді, модульні контрольні роботи	15%
РН 1.2	Знати моделі багаторівневого управління та еволюційних процесів у складних системах			15%
РН 1.3	Знати сучасні еволюційні алгоритми, їх застосування для оптимізації, прогнозування та виявлення кризових режимів			15%
РН 2.1	Вміти будувати математичні та комп'ютерні моделі еволюційних процесів, ураховуючи невизначеність і аномалії	Лекція, самостійна робота	Виконання та захист завдань, винесених на самостійну роботу, залік	15%
РН 2.2	Вміти застосовувати методи еволюційних обчислень і мультиагентних систем для аналізу сценаріїв розвитку систем			15%
РН3.1.	Уміти аргументовано представляти результати досліджень, формулювати сценарії розвитку систем та пояснювати вибір методів аналізу й управління	Самостійна робота	Виконання та захист завдань, винесених на самостійну роботу, залік	10%
РН4.1	Демонструвати здатність до самостійного наукового пошуку, інноваційність і відповідальність у прийнятті рішень	Самостійна робота	Виконання та захист завдань, винесених на самостійну роботу	8%
РН4.2	Виявляти професійну доброчесність, відповідальність за якість наукових і прикладних результатів			7%

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Програмні результати навчання (з опису освітньої програми)	Результати навчання дисципліни									
	РН 1.1	РН 1.2	РН 1.3	РН 1.4	РН 2.1	РН 2.2	РН 2.3	РН 3.1	РН 4.1	РН 4.2
ПРН-1. Мати передові концептуальні та методологічні знання з комп'ютерних наук і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.	+	+	+	+						
ПРН-3. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень) і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.		+						+		
ПРН-4. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у комп'ютерній науці та дотичних міждисциплінарних напрямках.						+	+			
ПРН-6. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.							+			
ПРН-7. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми комп'ютерної науки з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.										+
ПРН-8. Глибоко розуміти загальні принципи та методи комп'ютерних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері комп'ютерних наук та у викладацькій практиці.	+					+				

ПРН-9. Вивчати, узагальнювати та впроваджувати в навчальний процес інновації комп'ютерних наук.									+	+
ПРН-10. Здійснювати пошук та критичний аналіз інформації, концептуалізацію та реалізацію наукових проєктів з комп'ютерних наук.	+								+	+

7. СХЕМА ФОРМУВАННЯ ОЦІНКИ.

7.1. Форми оцінювання здобувачів освітньо-наукового ступеня:

- поточне оцінювання впродовж навчального періоду:

№	Метод оцінювання	Результати навчання, які оцінюються	Кількість балів	
			Максимум	Мінімум
1	Активна робота на лекції, усні відповіді	РН1.1, РН1.2, РН1.3	10	6
2	Виконання завдань, винесених на самостійну роботу	РН2.1, РН2.2	25	16
3	Виконання модульних контрольних робіт у формі тестів	РН2.1, РН2.1, РН3.1, РН4.1, РН4.2	25	14
	<i>Всього</i>		60	36

- підсумкове оцінювання: Залік.

- максимальна/мінімальна кількість балів які можуть бути отримані: 40/24 балів;
- результати навчання які будуть оцінюватись: РН1, РН2, РН3, РН4;
- форма проведення і види завдань: письмова робота (тести 20 запитань).

Здобувачі освітньо-наукового ступеня, які за результатами поточного оцінювання набрали сумарно меншу кількість балів ніж критично-розрахунковий мінімум – 20 балів, до Заліку не допускаються.

Рекомендований мінімум поточного оцінювання – 36 балів, що при мінімумі підсумкового оцінювання 24 бали забезпечує сумарно 60 балів, тобто мінімуму для отримання позитивної оцінки (зарахування) з дисципліни.

7.2. Організація оцінювання:

Обов'язковим є виконання завдань, винесених на самостійну роботу, та модульних контрольних робіт за графіком робочої програми.

У модуль №1 входять теми 1 - 4, у модуль №2 - теми 5 – 9. Обов'язковим для допуску до іспиту є виконання модульних контрольних робіт до вказаної викладачем дати до екзаменаційної сесії, згідно навчального плану.

Терміни проведення форм оцінювання:

1. Активна робота на лекції, усні відповіді: протягом навчального періоду;
2. Виконання завдань, винесених на самостійну роботу: протягом навчального періоду;
3. Виконання модульних контрольних робіт: 4-й та 9-й тижні навчального періоду.

У випадку відсутності з поважних причин відпрацювання та перескладання завдань здійснюються у відповідності до „Положення про організацію освітнього процесу у Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України”.

7.3. Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

**8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ**

№	Назва лекції	Кількість годин		
		Лекції	Практичні	Самостійна робота
Змістовий модуль 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МАТЕМАТИЧНІ ЗАСАДИ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ КІБЕРНЕТИКИ				
1	Вступ до еволюційної кібернетики: предмет, методи, місце в системі наук	2		4
2	Парадигми та інваріанти: варіація, відбір, коеволюція; інформаційні, ресурсні, структурні та темпоральні інваріанти	2		4
3	Стійкість і розвиток: Lyapunov/ISS (Input-to-State Stability), еволюційна стабільна стратегія (ESS), біфуркації, резилієнтність та відновлюваність систем	2		4
4	Мережеві та ігрові моделі: реплікаторна динаміка на графах, керованість мереж, узгодження цілей у багатосуб'єктних системах	2		4
Змістовий модуль 2. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ТА ОНТОЛОГІЇ				
5	Еволюційні обчислення: генетичні алгоритми, еволюційні стратегії, генетичне програмування; коеволюційні схеми; гібриди з ML та оптимізацією	2		4
6	Багаторівневі адаптивні архітектури управління з інтегрованими еволюційними механізмами; AutoML/AutoRL	2		5
7	Виявлення критичних переходів і зміни рівноважних станів у складних динамічних системах	2		5
8	Інформаційно-телеметричні критерії еволюції: ентропія, взаємна інформація, складність; дизайн метрик траєкторної верифікації	2		5
9	Верифікація та безпека за замовчуванням: формальні інваріанти безпеки, обмежені області станів і контроль еволюції	2		5
ВСЬОГО		18		40

Загальний обсяг 60 годин, в тому числі:

Лекцій – **18 годин**,

Консультація – **2 годин**,

Самостійна робота – **40 годин**.

9. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основні:

1. Палагін О. В. Кібернетика та керована еволюція. Кібернетика та комп'ютерні технології. 2023. № 1. С. 5-12. DOI:<https://doi.org/10.34229/2707-451X.23.1.1>
2. Палагін О. В. Інформаційно-технологічні засоби керованої еволюції. Проблеми керування та інформатики. 2021. № 5. С. 104-123. URL: <http://jnas.nbuiv.gov.ua/article/UJRN-0001277103>.
3. O. Palagin, D. Symonov. Cybernetic model of rational world order under the paradigm of directed evolution. The International Scientific and Technical Journal "Problems of Control and Informatics". Vol 67, No 6 (2022). 54-66 pages. DOI: 10.34229/1028-0979-2022-6-5
4. Wiener, N. (1950). The human use of human beings: cybernetics and society. Houghton Mifflin.
5. Ashby, W.R. (1956). An introduction to cybernetics. New York, J. Wiley. 501 pages. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.5851>
6. Neumann, J.V., Shannon, C., & McCulloch, W. (1957). An Introduction to Cybernetics. The Mathematical Gazette, 41, 318 - 319. <https://doi.org/10.2307/3610171>
7. Simon, H.A. (1970). The Sciences of the Artificial. The Johns Hopkins University Press. Vol. 11, No. 1 (Jan., 1970), pp. 118-120. <https://doi.org/10.2307/3102825>
8. Kauffman, Stuart & Kauffman, Stuart A. (1995). At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-organization and Complexity. Oxford University Press USA.
9. Margulis, L. (1981) Symbiosis in cell evolution: Life and its environment on the early earth. W. H. Freeman, San Francisco. 419 p.
10. Інтелектуальні кібернетичні системи: еволюція принципів, теорій та безпекових технологій : кол. моногр. / за ред. С. І. Доценка, В. С. Харченка. – Міністерство освіти і науки України, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – К. "Видавництво "Юстон", 2023. – 312 с.
11. Hartl, B., Risi, S., & Levin, M. (2024). Evolutionary Implications of Self-Assembling Cybernetic Materials with Collective Problem-Solving Intelligence at Multiple Scales. Entropy, 26(7), 532. <https://doi.org/10.3390/e26070532>
12. Tzavara, V., Vassiliadis, S. Tracing the evolution of cyber resilience: a historical and conceptual review. Int. J. Inf. Secur. 23, 1695–1719 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10207-023-00811-x>

Додаткові:

1. Herbert Spencer. First Principles. Cambridge University Press. 2009. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511693939>
2. Prigogine, I. (2017). Order out of chaos: man's new dialogue with nature. London: Verso. Edited by Isabelle Stengers.
3. Hermann.Haken. Synergetics. Springer Berlin, Heidelberg. 1977. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-96363-6>
4. Polanyi, M. (1959). Personal Knowledge: Towards a post-critical philosophy. British Journal of Educational Studies. Vol. 8, No. 1. <https://doi.org/10.2307/3119338>
5. Heylighen, F. The Self-Organization of Time and Causality: Steps Towards Understanding the Ultimate Origin. Found Sci 15, 345–356 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10699-010-9171-1>