მისიის 2018 წლის საქმიანობის ანგარიში. ქ.თბილისი 2019წ.
7. Determination of atmospheric air pollution in the Tbilisi agglomeration using moss bioindicators, N Berdzenishvili, ʔyɻᵚ̈fŋʰ, 52

Partial purification of atmospheric air by internal combustion engines from man-made dust and dust-like particles of artificial origin emitted into the environment from natural sources of air pollution.

Roman Kenkishvili

Summary

It is known that transport with internal combustion engines running on fossil fuels, due to the scale of its distribution, is one of the environmental polluters. Given the operating characteristics of an internal combustion engine, such transport, after appropriate measures have been taken, can in the future be considered not only as an environmental polluter, but also as a cleaner. In particular, a certain portion of atmospheric air, together with dust and solid particles, passes through the filters of the fuel system of the internal combustion engine, and most of these particles are separated and deposited from the air on the filter elements, while some are burned in the engine. In addition, since the internal combustion engine has unused power in the form of exhaust gases, which makes up 25-27% of the total power, with the help of certain engineering solutions it is possible to use this power to clean the air from particulate matter, which involves the installation of ejector units and additional filters on the exhaust system. In addition, forced air supply from the passenger compartment of public transport to the engine compartment will help prevent contamination by allergens and viral bacteria.

წესრიგი, ქაოსი, თვითორგანიზაცია და სინერგეტიკა

***თ. ადეიშვილი, **თ. ჟვიტიაშვილი, **ხ. დავარაშვილი, ***ო. კვარაცხელია, ****ი. მინაშვილი**

*საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემია
**აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
***აკად. ე. ხარაძის სახელობის აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორია
****ბირთვული კვლევების ევროპული ორგანიზაცია, ჟენევა.

აბსტრაქტი. *თერმოდინამიკის კანონების დასაბუთება და მათი კავშირი ცალკეული ნაწილაკების მოძრაობის კანონებთან მოცემულია სტატისტიკურ ფიზიკაში. სამწუხაროდ შექცევად პროცესთა სტატისტიკური თეორია არ შეიცავს საკუთრივ შეუქცევადობის ფიზიკას, რომელიც დაკავშირებულია მექანიკური ენერგიის არამექანიკურში გარდაქმნასთან. შეუქცევადობის პრობლემა მიმზიდველია სამეცნიერო კუთხით, რამდენადაც ჩვენ ვიცით მეცნიერების ორი დარგი, რომლებშიც მიუღებელია **ნიუტონისა** და **ჰამილტონის** მექანიკა: ეს არის დიდი სიჩქარეების არე, სადაც მოქმედებს ფარდობითობის თეორია და მიკროსამყაროს არე, რომელშიც ფუნქციონირებს კვანტური მექანიკა. სწორედ ამ საკითხებს ეძღვნება მოცემული ნაშრომი.*

პირველად შეუქცევადობის პრობლემაზე ნახსენებია **ჯ. მაქსველის** წერილში, რომელიც დათარიღებლია 1987 წლის 11 დეკემბრით და მიწერილია მისი კოლეგა **პ. ტეტურისადმი**, ე.ი. როცა თერმოდინამიკის II სააწყისი უკვე იყო ცნობილი. წარმოდგენით ექსპერიმენტში მოლეკულების სიჩქარეების მიხედვით განცალების შესახებ ის წერდა: „ეს მიკ-

როსკოპული არსებები, უწონო ბარიერის გახსნისა და დახურვისას ორი გაზით ავსებული შემაერთებელი ჭურჭლიდან ერთ მხარეს ატარებს უფრო სწრაფ მოლეკულებს და ამით არღვევს თერმოდინამიკის II საწყისს“. აქედან მოდის გამონათქვამი „მაქსველის ავი სული“ (დემონი).

აირებთან დაკავშირებულ მაგალითებში იგულისხმება, რომ ნაწილაკები დრეკადია და აირის მექანიკური ენერგია ინახება. ასე რომ, შეუქცევადი პროცესები არსაიდან წარმოიშვება. აირის ქცევას დროში შეუქცევადად ქმნის შემადგენელ ნაწილაკთა არადრეკადობა. რაც უფრო არადრეკადი იქნება ნაწილაკები, მით სწრაფად გადავა მქანიკური ენერგია სხვა სახის ენერგიებში და მით უფრო ინტენსიური იქნებიან შეუქცევადი პროცესები. რამდნადაც დღეისათვის არსებული თეორია არ ასახავს შეუქცევად პროცესთა ინტენსიურობის დამოკიდებულებას ნაწილაკთა არადრეკადობის ხარისხთან. მისი შედეგები, მაგალითად, დიფუზიისა და სიბლანტის კოეფიციენტთა გამოსახულებები, არ შეიცავენ მოლეკულების არადრეკადობის მახასიათებელ სიდიდეებს. თეორიის ეს თავისებურება ატარებს პრინციპულ ხასიათს და იმის შედეგია, რომ მის საფუძვლად ძევს შექცევადი **ნიუტონ-ჰამილტონის** მექანიკა, რომელიც ინახავს მექანიკურ ენერგიას და არ შეიცავს ენერგიის სხვა სახეებში გარდამქმნელ მახასიათებელი სიდიდეებს.

შესაბამის თვალსაზრისთა სხვადასხვაობის დროს ისინი თანხმდებიან ერთში: **ნიუტონ-ჰამილტონის** მექანიკა სამართლიანია არაშექცევად პროცესებში. მაგრამ ყველაფერი ძირითადად დადის კონცეპტუალურ და ფილოსოფიურ განხილვამდე.

მაგალითად, **პროგოჟინთან** და **სტენგერთან** ჩვენ ვკითხულობთ, რომ კვანტურ მექანიკას შემოაქვს ალბათობა და არა შეუქცევადობა, ხოლო შემდგომი ნაბიჯი შეიძლება იყოს მაკროსკოპულ დონეზე ფუნდამენტური შეუქცევადობის შემოტანა. შეუქცევადობა წარმოადგენს სიმეტრიის სხვა რღვევების ამოსავალ პუნქტს. მაგალითად, განსხვავება ნაწილაკებსა და ანტინაწილაკებს შორის შეიძლებოდა წარმოქმნილიყო მხოლოდ არაწონასწორულ სამყაროში.

გარდა ამისა, **პროგოჟინის** თანახმად, მეორე საწყისი იძენს გადარჩევის პრინციპის სტატუსს, რომელიც ამტკიცებს, რომ ბუნებაში რეალიზდება და დაიკვირვება ორი ტიპის ამოხსნათაგან ერთი. იმ შემთხვევაში, როცა მისაღებია თერმოდინამიკის მეორე საწყისი, ის გამოხატავს ბუნების შინაგან პოლარიზაციას და არ შეიძლება იყოს თვით დინამიკის შედეგი. უკანასკნელ ათწლეულებში დინამიკამ მიაღწია მნიშვნელოვან შედეგებს და ახლა გვაქვს შესაძლებლობა გაგარკვიოთ, როგორ წარმოიშობა დარღვეული სიმეტრიის მქონე ამონახსნები რთულ დინამიკურ ამონახსნებში და საკუთრივ რას აღნიშნავს გადარჩევის წესი მაკროსკოპულ დონეზე, რომელიც გამოიხატება თერმოდინამიკის მეორე კანონით.

ჩვენ ვიცით, რომ მთავარი განსხვავება შექცევად და შეუქცევად პროცესებს შორის არის უკანასკნელთა დროებითი მიმართულება. ზოგჯერ ამბობენ, რომ დროის შექცევისათვის აუცილობელია, უსასრულოდ დიდი ინფორმაცია.

იმისათვის, რომ აღვკვეთოთ მოგზაურობა წარსულში, ბუნებამ აღმართა ენტროპული ბარიერი, რომელიც უზრუნველყოფს დროის მიმართულების ერთადერთობას, მისი სვლის ერთი მიმარულებიდან საწინააღმდეგოდ მსვლელობის შეცვლის შეუძლებლობას. ჯერ კიდევ **ბოლცმანმა** დაადგინა, რომ ნებისმიერი ალბათური ინტერპრეტირება გახდება

შესაძლებელი მხოლოდ მას შემდეგ, როგორც კი დაირღვევა დროებითი სიმეტრია. როგორც კი ვდგებით ამ თვალსაზრისზე, ჩვენს წინაშე წარმოიქმნება უპირატესად რთული და მნიშვნელოვანი ევოლუციური პრობლემები. მაგალითად, შესაძლებელია თუ არა გრავიტაციის მომცველი მეორე საწყისის ფორმულირება, თუ თერმოდინამიკასა და გრავიტაციას შორის არსებობს თავისებური დიალექტიკური ბალანსი? შეუქცევადობა არ წარმოიშობოდა უეცრად შექცევადი დროის მქონე სამყაროში. შეუქცევადობის წარმოშობა - ეს კოსმოლოგიური პრობლემაა და მის გადასაჭრელად აუცილებელია სამყაროს ანალიზი განვითარების ადრეული სტადიებში. ერთ-ერთი რთული საკითხები ამ დროს შემდეგია: 1. როგორი იყო მოწესრიგების ხარისხი ევოლუციის პირველ ეტაპებზე დიდი აფეთქების შემდეგ? 2. რას წარმოადგენს კოსმოგონოლოგიური ევოლუცია როგორც თანდათანობით მოძრაობა წესრიგიდან ქაოსისკენ? ეს საკითხები მეტნაკლებად განხილულია ჩვენს ნაშრომებში [2, 3].

ი. პრიგოჟინის თანახმად, დროის მიმართულება ვლინდება მხოლოდ შემთხვევითობასთან ერთობლიობაში. მხოლოდ მაშინ, როცა სისტემა იქცევა საკმაოდ შემთხვევითი სახით, მის აღწერაში წარმოიშობა განსხვავება წარსულსა და მომავალს შორის და შესაბამისად იქმნება შეუქცევადობა. ხელოვნური შეიძლება იყოს დეტერმინირებული და შექცევადი. ბუნებრივი უცილობლად შეიცავს შემთხვევითობისა და შეუქცევადობის ელემენტებს. ამ შენიშვნას მივყავართ დასკვნამდე, რომ მატერია მეტი არაა პასიური სუბსტანცია, რომელიც აღიწერება სამყაროს მექანიკური სურათის ჩარჩოებში, მისთვის ასევე თვისობრივია სპონტანური აქტიურობა: ის წარმოშობს შეუქცევად პროცესებს, ხოლო შეუქცევადი პროცესები ახდენენ მატერიის ორგანიზებას. ამას ჩვენ უცილობლად შევხვდებით, როცა ვსწავლობთ სამყაროს, მზის სისტემისა და ბიოსფეროს ევოლუციას.

ბრიუსელის სკოლის მიერ განვითარებული არაწონასწორული პროცესების თერმოდინამიკის შემდეგი დასკვნა, შეიძლება განვიხილოთ როგორც საფუძვლის გამომხატველი: ყველა დონეზე, იქნება ეს მაკროსკოპული ფიზიკის დონე, ფლუქტუაციის დონე, ან მიკროსკოპული დონე, წესრიგის წყაროს წარმოადგენს უწონასწორობა. უწონასწორობა წარმოადგენს მას, რაც ქაოსიდან წარმოშობს წესრიგს, მასში, ბუნებაში რეალურად არსებობენ დისიპაციური სტრუქტურები, არ არსებობს არანაირი ლოგიკური აუცილებლობა. მაგრამ უცვლელი „კოსმოლოგიური ფაქტი“ მდგომარეობს შემდეგში: იმისათვის, რომ მაკროსკოპული სამყარო იყოს დასახლებული და მასში ცხოვრობდნენ დამკვირვებლები, მაგალითად ჩვენი, სამყარო უნდა იმყოფებოდეს ძლიერი არაწონასწორულ მდგომარეობაში.

ყველაფერი ეს ძალზე მნიშვნელოვანია პრაქტიკულ ასპექტში, რამდენადაც შეუქცევადობის პრობლემის გადაწყვეტა გარკვეულწილად დაკავშირებულია დედამიწაზე კაცობრიობის გადარჩენის პროგნოზთან. შეუქცევადობის პრობლემას გადაწყვეტის გარეშე მეცნიერებას არ შეუძლია კაცობრიობის აღჭურვა. ეკოლოგიური კრიზიდან გამოსვლისათვის საჭირო თეორიული საშუალებებით.

წესრიგი და ქაოსი - რთული ცნებებია. სტატისტიკურ აღწერაში გამოყენებული კლასიკურ მექანიკაზე დაფუძნებული ერთეულები, განსხვავდებიან ენტროპიის ზრდით გამოხატული ევოლუციური პარადიგმის შექმნისათვის აუცილებელი ერთეულებისაგან. ასეთ ახალ ერთეულებად გამოჩნდა პირველ რიგში დისიპაციური სტრუქტურები. მათი დამო-

კიდებულებისათვის მოითხოვება უფრო მეტი ენერგია, ვიდრე უფრო მარტივი სტრუქტურების დამკვიდრებისათვის, რომელთა შესაცვლელად გამოჩნდნენ ისინი. ისინი იმიტომ წარმოიშობიან, რომ **პროგოჟინის** თანახმად, შესაძლებელია წესრიგისა და ორგანიზაციის წარმოშობა უწესრიგობიდან და ქაოსიდან თვითორგანიზაციის პროცესის შედეგად. დისიპაციური სტრუქტურის ტიპი მნიშვნელოვნად მის წარმოშობაზეა დამოკიდებული.

XX საუკუნის მეორე ნახევარში მეცნიერების უდიდეს მიღწევად ჩაითვალა ბუნებაში თვითორგანიზაციის მოვლენის აღმოჩენა და შესწავლა. ის დაიკვირვება როგორც მოლეკულურ დონეზე (თვითაწყობა), ისე მაკროსკოპულ დონეზე (ქიმიური ოსცილაციები, კრისტალების წარმოშობა, მინერალები). თვითორგანიზაციის მოვლენა შეიძლება გამოდგეს თავისებურ გასაღებად. მათემატიკის, ფიზიკის, ქიმიის, მოლეკულური ბიოლოგიის, ბიოფიზიკის, იმუნოლოგიისა და სხვათა ყველაზე თანამედროვე მეთოდები გამოიყენება ამ მოვლენის შესასწავლად.

თვითორგანიზაცია - ესაა პროცესი, რომლის შედეგად სისტემის ცალკეული ნაწილების ერთმანეთთან ურთიერთქმედების გამო ის ხდება ისეთ მდგომარეობაში, რომელიც ხასიათდება ახალი ემერჯენტული თვისებებით, რაც არ გააჩნია მთელი სისტემის შემადგენელ ნაწილებს. თვითორგანიზაციის მოვლენებს მეცნიერები მუდმივად ხვდებიან ეკოლოგიაში, ბიოლოგიაში, ფიზიკაში, ქიმიაში, გეოფიზიკაში და გეოგრაფიაში. სიცოცხლის ფენომენის შესწავლისას ჩვენ ვხედავთ, რომ თვითორგანიზაციის პროცესები აქ ხასიათდებიან შემდეგი თავისებურებებით:

ა. ეს პროცესები მოიცავს მრავალ განსხვავებულ სტადიას, რომლებიც ემორჩილებიან არაწრფივ ხასიათს;

ბ. ამ სტადიებიდან თუნდაც ერთი არის ავტოკატალიზური და დინამიკას აძლევს კოოპერაციულ ხასიათს;

გ. ერთ სტადიაში წარმოქმნილი პროდუქტები გავლენას ახდენს სხვა სტადიებში პროცესების წარმართვაზე (ხშირად ლაპარაკობენ დადებითი, ან უარყოფითი, უკუკავშირების შესახებ);

დ. სხვადასხვა რეაქციები ერთიანდებიან ნაწილობრივ ავტონომიურ ციკლებში;

ე. განსაზღვრული ციკლები (წრებრუნვები) იტოტებიან იმისათვის, რომ წარმოქმნას ქიმიურ რეაქციათა იერარქიული ჯაჭვი;

ვ. ამ დროს მიმდინარე რექციას ადგილი აქვს ქიმიური წონასწორობიდან შორს, ღია სისტემებში.

ბუნებაში ორგანიზმების შენახვა არ მიმდინარეობს ცენტრალიზებული მართვის ხარჯზე, არამედ ხდება მხოლოდ თვითორგანიზაციის გამო. სწორედ თვითორგანიზაცია აძლევს საშუალებას ეკოსისტემებს შეეგუოს არსებულ გარე პირობებს, რაც ამ სისტემას ქმნის მოქნილსა და მდგრადს გარეშე შეშფოთებების მიმართ. სრულიად ჩვეულებრივ და დეტერმინირებულ სისტემებში შეიძლება სპონტანურად წარმოიშვას მოულოდნელ გადასვლებთან დაკავშირებული კომპლექსური ქცევა, რომელსაც იხილავენ როგორც დეტერმინირებულ ქაოსს. ბუნებაში დამზერილი სტრუქტურების სიმრავლე არაა კოდირებული ჩვენთვის ცნობილ ფიზიკურ კანონებში. მაგრამ ამ კანონების, ხანგრძლივი პერიოდების განმავლობაში, მოქმედებას სისტემის შემდგენელ ელემენტთა უზარმაზარ რაოდე-

ნობაზე, შემთხვევით შეშფოთებათა არსებობისას მივყავართ თვითორგანიზაციამდე სრულიად მოულოდნელი სტრუქტურებისა და ხდომილებების ფორმებში, რომელთა წინასწარმეტყველება შეუძლებელია შემადგენელი ელემენტების დაკვირვების მეშვეობით.

ჩვენ ვიცით, რომ ნებისმიერი იზოლირებული სისტემა გადადის წონასწორობის მდგომარეობაში. ამ რეჟიმში, სადაც სისტემას არ გააჩნია პოტენციალური შესაძლებლობები, თვითორგანიზაციის საკითხი არ დგება. როგორც ცნობილია ფუნდამენტური მექანიზმი სისტემას ამ ორ მკაცრი ბარიერის გადალახვის საშუალებას აძლევს. ესაა ღიაობა და არაწრფიობა. უფრო მეტიც, ევოლუცია შეიძლება გაიშალოს დეტერმინირებულ ელემენტებად და შემთხვევით ხდომილებად, რომლებსაც მივყავართ ბიფურკაციებამდე. სისტემა იქნება მგრძნობიარე პარამეტრებისადმი, რომლებიც აკონტროლებენ ბიფურკაციის წერტილების მდებარეობას, ისე, რომ მაკროსკოპულად განურჩეველი სისტემები, მოთავსებულები ერთსა და იგივე ჩარჩოებში, უნარმოსილი იქნებიან განვითარდნენ სხვადასხვა გზებით. ეს უნიკალობისა და ამავდროულად არაპროგნოზირებადის დაკარგვა წარმოადგენს პირველ ნაბიჯს თვითორგანიზაციისა და სირთულისაკენ [3].

აქამდე, სისტემის ევოლუციის განხილვისას ჩვენ ვსარგებლობთ ისეთი ცვლილების შეზღუდული რიცხვით, როგორიცაა ტემპერატურა, ქიმიური შედგენილობა, ნაკადების სიჩქარე, წნევა და სხვა. ევოლუცია ხდებოდა აბსტრაქტულ სივრცეში, ე. ი. სივრცეში, რომელიც შეიცავს მრავალ ცვლადს. ასეთ ფაზურ სივრცეში სისტემის მყისიერი მდგომარეობა გამოისახება წერტილით მრავალგანზომილებიან სივრცეში და განვითარებასთან ერთად განხილული წერტილი იქნება მრუდი, რომელსაც სპეციალისტები ფაზურ ტრაექტორიას უწოდებენ.

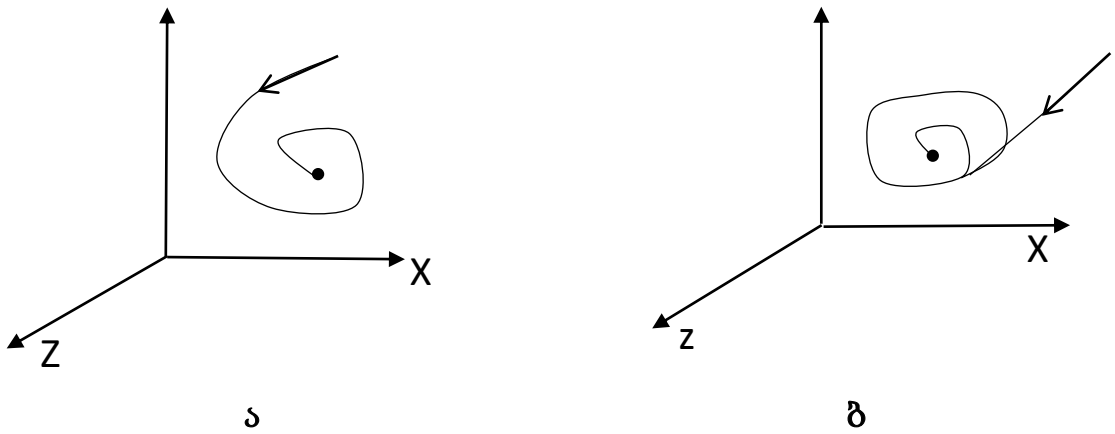
თუ მივუყვებით ასეთ სხვადასხვა საწყისი მდგომარეობიდან დაწყებულ ტრაექტორიებს, ვღებულობთ ფიზიკურ პორტრეტს, რომელიც გვაძლევს ფასეულ ხარისხიან წარმოდგენას სისტემის შესაძლებლობების შესახებ. როგორც წესი, ყველა ბუნებრივი სისტემისათვის ფაზური ტრაექტორიები, ყველა ბუნებრივი სისტემისათვის განსაზღვრული დროის შემდეგ იკრიბება ობიექტში, რომლის ზომები რამდენადმე მცირეა, ვიდრე თვით ფაზური სივრცის ზომები და რომელმაც მიიღო ატრაქტორის სახელწოდება [4].

თვითორგანიზებადი სისტემების ასეთი გეომეტრიული წარმოდგენა განსაკუთრებით სასარგებლოა დინამიკური ქცევების სხვადასხვა ტიპების კლასიფიკაციისა და შედარებისათვის, რომლებიც ჩნდება სისტემის შიგნით, როცა პირობები, რომლებშიც ის იმყოფება, იცვლებიან.

ატრაქტორებს კლასიფიცირებას უკეთებენ იმის მიხედვით, თუ როგორ რეალიზდებიან ისინი ფაზურ სივრცეში. უმარტივეს ობიექტს, რომელიც შეიძლება წარმოვიდგინოთ სივრცეში, წარმოადგენს წერტილი. 1.1ა სურათზე წარმოდგენილია წერტილოვანი ატრაქტორი. მისი არსებობა ნიშნავს, რომ საკმაოდ გრძელი დროის შუალედის შემდეგ სისტემის ნებისმიერი საწყისი მდგომარეობა მიისწრაფვის მდგომარეობისაკენ, რომელიც შემდგომში არ ევოლუციონერებს. სისტემა აღმოჩნდა სტაციონარულ მდგომარეობაში.

ჩვენი სისტემის შესაძლო ტრაექტორები შეიძლება მიისწრაფოდნენ ატრაქტორებისკენ ჩაკეტილი მრუდის სახით (სურათი 1.1 ბ). ასეთ ატრაქტორებს ზღვრულ ციკლებს უწოდებენ. აქ ჩვენ გვაქვს პერიოდული მოვლენის პროტოტიპი. ფიზიკური ქცევის სხვადასხვა

ტიპები დაკავშირებული იქნება განსხვავებულ ატრაქტორებთან.



ა ბ

სურათი 1.1. თვითორგანიზებადი სისტემების გეომეტრიული წარმოდგენა:
ა - წერტილოვანი ატრაქტორი;
ბ - ზღვრული ციკლი.

სინერგეტიკა - ეს მეცნიერების ახალი დარგია, რომელიც სწრაფად ვითარდება ფიზიკის, მათემატიკის, ქიმიის, ბიოლოგიისა და ეკოლოგიის გადაკვეთის არეალში. შეუქცევადი პროცესების თერმოდინამიკა ძლიერ არაწონასწორულ არეში და წერიგი და ქაოსი, რა თქმა უნდა მოიცავენ სინერგეტიკას ანუ სინერგეტიკა შედის მათში. მაგრამ, რამდენადაც ეს ტერმინი ხშირად გამოიყენება ეკოლოგიურ ლიტერატურაში, აუცილებელი ხდება მისი დეტალური განხილვა.

სინერგეტიკის მიზანს წარმოადგენს ზოგადი კანონზომიერების გამოვლენა განათლების პროცესებში, მოწესრიგებული დროით-სივრცითი სტრუქტურების მდგრადიობის და რღვევის კანონზომიერებების დადგენა. წონასწორობისაგან შორს მყოფი რთული და ფიზიკური და ქიმიური სისტემებში და ასევე ბიოლოგიურ და ეკოლოგიური სისტემები ორგანიზებული ქცევის წარმოშობა შეიძლება იყოს თვით ორგანიზაციის, ე.ი. სისტემაში შინაგანი არამდგრადობის შედეგი, ან შეიძლება განპირობებული გახდეს გარეგანი ზემოქმედებებით (იძულებითი ორგანიზაცია).

პირველ შემთხვევაში მოწესრიგების პროცესი დაკავშირებულია ქვესისტემების კოლექტიურ ქცევასთან, რომლებიც ქმნიან სისტემას. თვითორგანიზაციის გარდა ინტენსიურად შეისწავლება თვითდეზორგანიზაციის საკითხები - დინამიკური სისტემებში ქაოსის (რთული ქცევის) წარმოშობა. ძირითადი ინტერესების სფეროშია დისიპაციური სისტემები.

სინერგეტიკის, მოდელები წარმოადგენს არაწონასწორული სისტემების მოდელებს, რომლებიც ფლუქტუაციების მოქმედებებშია მოქცეული. გადასვლის მომენტში მოწესრიგებული და მოუწესრიგებელი ფაზები ერთმანეთისაგან იმდენად მცირედ განსხვავდებიან, რომ სწორედ ფლუქტუაციებს გადაჰყავს ერთი ფაზა მეორეში. თუ სისტემაში შესაძლებელია რამდენიმე მდგრადი მდგომრეობა, მაშინ ფლუქტუაციებს მიაქვს ერთ-ერთი მათგანი. ეკოლოგიაში და ბიოლოგიაში სინერგეტიკა იკვლევს უმარტივეს მოდელებს, რაც საშუალებას იძლევა გავიგოთ და გამოვყოთ წესრიგის ორგანიზაციის არსებული მექანიზმები -

არჩევითი არამდგრადობა, ალბათური გარჩევა, კონკურენცია და სხვა.

სინერგეტიკის საფუძველს წარმოადგენს მოვლენების მოდელებისა და მეთოდების ერთიანობა, რომელთაც ვხვდებით წესრიგისა და უწესრიგობის პროცესთა კვლევის დროს: საზოგადოების ორგანიზაცია ეკოლოგიაში, **ბელოუსოვ-ჟაბოტინსკის** რეაქცია ქიმიაში [4], სპირალური გალაქტიკები, **ბენარის** უჯრედები და სხვა. სინერგეტიკის ცნებები და სახეები პირველ რიგში დაკავშირებულია ქცევის მოწესრიგების შეფასებასთან. ესაა - სივრცითი კორელაცია, წესრიგის პარამეტრი, ქვესისტემათა ურთიერთკოორდინაცია, ენტროპია და სხვ. სინერგეტიკის მრავალი ამოცანისათვის თეორიის აგება დაიყვანება ალბათური მოდელის აგებაზე და ანალიზზე.

სინერგეტიკაში შეიძლება გამოვყოთ რამდენიმე მიმართულება. ყველაზე ცნობილი დაკავშირებულია ბრიუსელის სკოლასთან. მათი ყურადღების ცენტრში იმყოფებიან ღია სისტემები, რომლებიც იმყოფებიან სტაციონარულ მდგომარეობებში და მათ მიეკუთვნება ეკოსისტემები და ცოცხალი სისტემები. შევნიშნოთ, რომ ის აკეთებს სინერგეტიკისათვის არც თუ დამახასიათებელ მისწრაფებას მაკროსკოპული აღწერისა და ენტროპიის ცნებისაკენ. სიცოცხლე წარმოგვიდგება როგორც იმ პირობების თავისებური წარმოდგენა, რომელშიც იმყოფება ჩვენი ბიოსფერო, კერძოდ ქიმიურ რეაქციათა და ძლიერ არაწონასწორულ პირობათა არაწრფიობა, რომლებიც ბიოსფეროზეა დადებული მზის გამოსხივების მიერ.

ამრიგად, ცალკეულ პროცესთა თანმიმდევრობას, რომელთაგან თითოეულში ენტროპია მხოლოდ იზრდება (ე.ი. ამ დროს ქაოსი სამყაროში იზრდება), შეუძლია მიგვიყვანოს ძალიან მაღალი რანგის სირთულეების წარმოქმნამდე. ამიტომ, რთული შინაგანი სტრუქტურის მქონე რომელიმე ობიექტის აღმოჩენით, ჩვენ მყისვე არ უნდა დავასკვნათ, რომ ეს ობიექტი წარმოადგენს მიზანმიმართული ჩანაფიქრის განხორციელებას. მას შეეძლო გაჩენილიყო ბუნებრივად პროცესთა გარკვეული თანმიმდევრობის შედეგად, რომელთაგან თითოეულს თავისთავად არ გააჩნია, რაიმე კონკრეტული მიზანი და მიმდინარეობს ბუნებრივი მიმართულებით იმის მიხედვით, თუ როგორ იძირება სამყარო ქაოსში [5].

თუ ვიპოვით საათს, მაშინ მისი მექანიზმის სირთულე ჩვენში ეჭვს არ იწვევს მასში, რომ ეს საათი ვიღაცამ დააპროექტა. თუკი შევეცდებით ასეთი მსჯელობის ბიოსფეროზე განვრცობას, მაშინ მივალთ არასწორ დასკვნამდე. ჩვენი სამყარო საათზე გაცილებით რთულადაა მოწყობილი. ამიტომ, ჩვენს პლანეტაზე სტუმრად მოსული კოსმოსური მოგზაური, რომელიც ასეთივე ლოგიკით მსჯელობს, არ დაეჭვდებოდა მასში, რომ ეს სამყარო იყო დაპროექტებული და ოდესღაც არსებობდა მისი შემქმნელი. თუმცა ეს მსჯელობა მცდარია.

როგორც ირკვევა, წონასწორობის მახლობლობაში გარეგანი კავშირები, მაგალითად თბური ნაკადები, ცალსახად საზღვრავენ სისტემის სტაციონარულ მდგომარეობას და აკონტროლებენ მის ქცევას. ენტროპიის ქმნადობის მინიმალურობის თეორემის თანახმად სტაციონარული მდგომაროება შეესაბამება ენტროპიის მინიმალური წარმადობას. როგორც კი გადავალთ არამდგრადობის ზღვარს, სიტუაცია შეიცვლება. მაგალითად, **ბენარის** გრიგალები ქმნიან მეტ ენერგიას, ვიდრე ეს მიიღება ენტროპიის ქმნადობის მინიმუმის თეორიიდან. ასეთი ტემპერატურული სხვაობის შესანარჩუნებლად აუცილებელია სითბოს ნაკადი გარდა, „შეიქმნას“ უარყოფითი ენტროპიის ნაკადი. არაწონასწორული კავშირი

უკვე ვერ „ხსნის“ ენტროპიის ქმნადობას. ის იძლევა მხოლოდ აუცილებელ პირობას ძლიერ არაწონასწორული წესრიგის წარმოსაქმნელად. ძლიერ არაწონასწორული სიტუაციები ისევ მიგვიყვანს საწყისი პირობების, არამდგრადობისა და ბიფურკაციის მგრძნობელობამდე, რაც თვითორგანიზაციის წინამძღვრებს წარმოადგენს.

ეკოლოგიური პრობლემების განხილვისას ერთობ მნიშვნელოვანი ხდება სისტემის არამდგრადობისა და საკუთარი ფლუქტუაციებისადმი მისი მგრძნობელობის გათვალისწინება. ახლა აღწერის არჩეული სისტემის ადექვატურობა დამოკიდებულია სისტემის აქტიურობაზე. წონასწორული და მასთან მიახლოებული სისტემები არის კონტროლირებადი ანუ მართვადი. ამავდროულად ჩვენ არ შეგვიძლია მოლეკულების შეჯახების მართვა, რომელიც მიმდინაროებს ქიმიური რეაქციების დროს, ან კიდევ გარკვეულ მომენტებში სითხეში, ან ატმოსფეროში გრიგალების წარმოშობის შემთხვევაში.

ძლიერი არაწონასწორული სისტემები, რომლებშიც ასეთი არაკონტროლირებადი ფლუქტუაციები შეიძლება ძლიერდებოდნენ და თამაშობდნენ, გადამწყვეტ როლს, არ არიან მართვადნი. ფლუქტუაციები არ რჩებიან უბრალო „ხმაურად“ და გარდაიქმნებიან ფაქტორებში, რომლებიც წარმართავენ სისტემის ევოლუციას. წონასწორობიდან შორს ის, რასაც ჩვენ განვიხილავთ ევოლუციის მიზეზად, დამოკიდებულია გარემოებებზე. არამდგრადი სისტემისათვის არარსებითი ხდომილება და ფლუქტუაცია შეიძლება გახდნენ განმსაზღვრელები, თუ სისტემა არაწონასწორული კავშირების მოქმედებით გადადის არაწონასწორულ მდგმარეობაში.

კითხვა: „რა მოხდებოდა, თუკი?“ ყოველდღიური ცხოვრებისათვის ტიპიური აღმოჩნდება უნარმოსილი არაწრფივ თერმოდნამიკაში, როცა გამოსაკვლევ სისტემას ჩვენ ვერ აღვწერთ როგორც კონტროლირებადს. ის დაკავშირებულია არა არასაკმარის ცოდნასთან, არამედ ძლიერ არაწონასწორული სისტემის ქცევის სპეციფიკასთან. ბიფურკაციის წერტილებში სისტემის ქცევა ხდება მდგრადი და ევოლუციონირება შეუძლია სხვადასხვა მდგრადი მდგომარეობის შესაბამის ალტერნატიულ მოცემულობებთან. აქ ჩვენ საქმე გვაქვს მხოლოდ ალბათობებთან და არანაირი ცოდნის მატებას არ შეუძლია იწინასწარმეტყველოს, რა მოუვა სისტემას მომავალ ეტაპზე.

ზემოთ შემოღებული ატრაქტორები ხშირად გამოიყენება სინერგეტიკაში მარტივსა და რთულს შორის თანაფარდობის გამოსაკვლევად (იმის მაგიერ, რომ ვილაპარაკოთ იერარქიის შესახებ). მაგალითად, ატრაქტორებს წარმოადგენს გაჩერებული რეალური ქანქარას წონასწორობის მდებარეობა, ან თერმოდინამიკური წონასწორობის მდგრადობა. ქანქარასთან დაკავშირებული მაგალითი განსაკუთრებით ბევრის მაჩვენებელია. მართლაც, თუ მოვაცილებთ ხახუნს და ისე გადავალთ იდეალურ ქანქარაზე, მაშინ ჩვენ მივიღებთ სტრუქტურული არამდგრადობის მაგალითს. ხახუნის არარსებობისას ასეთ სისტემაში ატრაქტორი არ არსებობს.

მაგრამ თვით ყველაზე სუსტი ხახუნიც კი რადიკაურად ცვლის ქანქარის მოძრაობას და შემოჰყავს ატრაქტორი.

დისიპაციური სისტემები ჩვეულებრივ არ დადიან ერთადერთ საბოლოო წერტილამდე. მაგალითად, ისეთი ძლიერ არაწონასწორული დისიპაციური ფუნქცია, როგორიცაა „ქიმიური საათი“, ევოლუციონირებს მდგრადი პერიოდული რეჟიმისაკენ [6]. ამ შემთხვე-

ვაში ატრაქტორს წარმოადგენს წრფე, რომელიც აღწერს სისტემაში ქიმიურ ნივთიერებათა კონცენტრაციების პერიოდულ ცვლილებას დროში. ამ შემთხვევაში ნებისმიერი საწყისი პირობების დროს სისტემა განიცდის ევოლუციას „ზღვრული ციკლისაკენ“. ის რჩება პროგნოზირებადი, ამიტომ უშვებენ თანმიმდევრულ მათემატიკური აღწერას. სხვა შემთხვევაში ატრაქტორი შეიძლება აღმოჩნდეს რაღაც ზედაპირის თუ მოცულობის სახით ისინი შეიძლება იყვნენ ერთობ საოცარი კონფიგურაციის სტოქასტური არეები.

გასაკვირი იყო ისეთი ატრაქტორების აღმოჩენა, რომელთაც ახასიათებენ წილადი განზომილებებით და მათ მიიღეს „უცნაური ატრაქტორების“ სახელწოდება. ისინი წარმოადგენენ „ფრაქტალურ“ ობიექტებს, რომელთა აღმოჩენამ შესაძლებლობა გააჩინა, ახლებურად შეგვეხედა ბუნებაში არსებული სამყაროს ფორმებზე. მათი უმრავლესობა არ წრმოადგენს წესიერ გეომეტრიულ ობიექტებს, მაგრამ შეიძლება დახასიათდნენ წილადი განზომილებებით. მაგალითად, ღრუბელი წარმოადგენს არა მოცულობით ან ზედაპირულ სხეულს, არამედ შუალედურ- გეომეტრიულ ობიექტს.

ფრაქტალური განზომილებების მქონე ატრაქტორების აღმოჩენამ საშუალება მოგვცა ისინი გამოგვეყენებინა სისტემების დროში ქცევების აღწერისათვის. თუ ადრე ატრაქტორის არსებობა იყო მდგრადობის და აღწარმოების სინონიმი - ე.ი. ერთი და იგივე „გასვლა“ - ნებისმიერი საწყისი პირობების დროს, მაშინ ფრაქტალური განზომილებების მქონე ახალი ატრაქტორები ქმნიან ქცევის ისეთ ახალ ტიპებს, რომელთა წინასწარმეტყველება და აღწარმოება შეუძლებელია. ფრაქტალური ატრაქტორის მიერ დაკავებულ ნებისმიერ არეში, რამდენადაც მცირე არ უნდა იყოს ის, ჩვენ აღმოვაჩენთ ერთსა და იმავე რთულ სტრუქტურას. ამიტომ საწყისი პირობებიც, რაგინდ გნებავთ მახლობელი, მაგრამ მაინც განსხვავებული, წარმოშობენ სხვადასხვა ევოლუციებს. სისტემები ევოლუციონირებენ ტრაექტორიების მიხედვით, რომლებიც დროთა განმავლობაში განიშლებიან. საწყის პირობებში უმცირესი განსხვავებები თუ შეშფოთებები არ მიილევიან, არამედ ძლიერდებიან ატრაქტორებით. ისინი განსაზღვრავენ რეჟიმებს, „მგრძნობიარენია საწყისი პირობებისადმი“.

საწყისი პირობებისადმი თავიანთი მგრძნობელობის ძალით ფრაქტალური ატრაქტორები მიგვიყვანს თვით მიზეზობრიობის აზრის გადახედვის აუცილებლობამდე. სკოლის კურსიდან ცნობილი ზოგადი განმსაზღვრელი კავშირი მიზეზსა და შედეგს შორის აუცილებელია შევცვალოთ ახალი თვისებებით, რომლებიც შეესაბამებიან ხარისხობრივ განსხვავებებს მდგრად და ქაოსურ რეჟიმებს შორის. რეჟიმს ეწოდება ქაოსური თუ მანძილი ტრაექტორიის ორ ნებისმიერ წერტილს შორის, დასაწყიში რაგინდ გნებავთ მცირეა, ხოლო დროთა განმავლობაში ექსპონენციალურად იზრდება.

ლიტერატურა:

1. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. М., Изд. «Иностранная литература». 1980.
2. ადეიშვილი თ., ადეიშვილი ი., ადეიშვილი მ. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების მოკლე ისტორია, ქუთაისი, 2026, ნაწ. I.
3. ადეიშვილი თ., კვარაცხელია ო., ჩხიროძე დ., ქაოსის თეორია და მისი გამოყენება ეკოლოგიაში და სხვა მონათესავე მეცნიერებებში. ს/კ შრომები, ტომი VIII, ბათუმი, 2022.
4. ადეიშვილი თ. და სხვ. გეოფიზიკა IV.

5. Пригожин И. Время, Хаос, Квант. К решению парадокса времены: Пер. С английского, Москва, 1994.
6. Palmeri L., Jorgenson E. Ecological Processes, Handbook, London: CRC Press, 2014.
7. N. Berdzenishvili. Climatic Features of the Resort. Journals of Georgian Geophysical Society 24 (2)

Order, Chaos, Self – Organization and Synergism

Adeishvili T, Jhvitiashvili, Davarashvili Kh., Kvaratskelia O. and Minashvili J.

SUMMARY

The work discusses the issues of chaos, order, self – organization and synergism. Their interrelationships and other problems of thermodynamics are presented.