Mechanics

One General Approach to the Investigation of Different Nature Complex Nonequilibrium Processes

Guram Gabrichidze

Academy Member, Commission for Scientific Studies of the Problems of Natural Catastrophes, Georgian National Academy of Sciences, Tbilisi

ABSTRACT. Any processes can be mechanical, physical, chemical, biological, psychological, spiritual, social. All of them are forms of movement. They are interrelated. The more simple ones enter the more complex and can form qualitatively new form of the processes. The processes can be complex, nonlinear, nonequilibrium but stable. Stability can be considered as a definite qualitative threshold at stepping over of which the process becomes uncontrolled, unpredictable. We suggest a general approach to the study of complex processes formulated in terms of mechanics for the first time. For characterization of the process we use the notion of the momentum vector applied to the center of the mass of the system of points. To expand the field of application of the relations obtained beyond the frameworks of mechanics we suggest to give new meaning to the notions and symbols applied. For example, the mass is defined as inertness to change any property, and the center of mass as the center of inertness of the system of points to the change of properties. The mystic idea of vector multiplication is emphasized indicating the determining role of the choice of the solution for development of the process and difficulty of such choice in unstable process. *© 2015 Bull. Georg. Natl. Acad. Sci.*

Key words: *properties of point, change, instability, vector product.*

The process, meant while reading the paper, can be mechanical, physical, chemical, biological, psychological, spiritual, social. The objects, depending on the character of the process in which they take part, and interrelations between them can be completely different. The complexity of the process can also be of different origin. It can be conditioned by great quantity of objects (or subjects) of nonlinear, discontinuous character of the process, obscurity or even ignorance of interrelations among the participants of the process. All the mentioned above processes are forms of movement. They are interrelated. The simpler ones enter the more complex ones and can form qualitatively new form of the processes. Processes can be complex, nonlinear, nonequilibrium, but stable. The notion of stability can be considered as definite qualitative threshold. When stepping over this threshold, the process becomes uncontrolled, unpredictable. Let us refer to the monograph [1]:

"Nonlinear system deviated from equilibrium can form instability leading to bifurcation and to distortion of the symmetry. In our analysis a special attention is given to a sudden appearance of chaotic dynamics - a natural tendency of a wide class of systems to transit to the states, at which both the deterministic behavior and the unpredictability are observed".

The Nobel Prize winner Ilya Prigogine, one of the founders of thermodynamics of nonequilibrium processes, noted that some significant results had already been obtained in the direction of development of the theory and pointed out generality of the rules controlling the processes in the fields of different nature opening the opportunity for transferring the knowledge from one field into another.Twenty-five years passed since then. Scientific world applied huge intellectual energy to study the complex processes in all the spheres of human activity. Great success is achieved, but "generality" is "carried away" into different fields and the main thing is that everybody observes tragic manifestations of those uncontrolled processes: the spread of AIDS in biological sphere; acute political conflicts in different regions of the world in social sphere; local and global crisis in economic sphere; climatic changes, catastrophic events of earthquake in Fukushima, Nepal, etc. In all these cataclysms a human is a participant, either being a creator or a victim. It can evidence that the humanity cannot well define the threshold over which one cannot step with impunity.

The goal of our study is to consider those processes once again from the general point of view without going deep into the problem denoting qualitative rather quantitative: stable and unstable, negative and positive, good and bad, useful and dangerous. Mechanics will serve us as a "telescope". Formulating basic provisions of our approach in terms of mechanics we had an attempt to extrapolate and increase the relations obtained by giving another meaning to the notions and symbols applied.

General approach for investigation of complex nonequilibrium processes suggests two main prerequisites:

1) To characterize the process the momentum vector of the system is used.

2) The main momentum vector of the system is applied to the mass center of the system.

Such an approach for characteristic of the process gives the possibility to eliminate inner forces of the interaction from consideration.

To illustrate the above we present (Fig. 1) the system consisting of $\{A_k\}_n$ material points with masses m_k in inertial system of count OXYZ. Outer forces $\{\vec{F}_k^{\ell}\}$ act on the dots of the system and the inner forces $\{\vec{F}_k^{i}\}$, which can appear due to the action of outer forces or independently of them (Fig. 2).

It is known that each set of material points contains in it an imaginary point, mass center, coordinates of which are defined by the following expression [2]:

$$\sum m_k \cdot \vec{r}_k = M \cdot \vec{R}_c \tag{1}$$

where m_k - mass of separate material points; $\vec{r}_k$ - radius-vector of k mass; $M = \sum m_k$ - sum of the mass of the whole material points system; $\vec{R}_c$ - radius-vector of C-center mass system point.

At displacement of points of the system, correlation (1) is saved and after differentiation it will have the form:

$$\sum m_k \cdot \vec{U}_k = M \cdot \vec{U}_c, \tag{2}$$

where $\vec{U}_k$ and $\vec{U}_c$ are vectors of displacement of k mass and point C, respectively.

Having differentiated the expression (2), we get

$$\sum m_k \cdot \vec{V}_k = M \cdot \vec{V}_c \tag{3}$$

where $\vec{V}_k$ and $\vec{V}_c$ are velocities of displacements of k mass and C point.

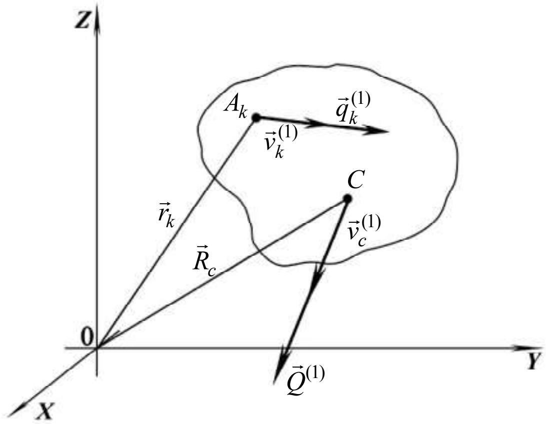

Fig. 1. First dynamic state of the system of material points.

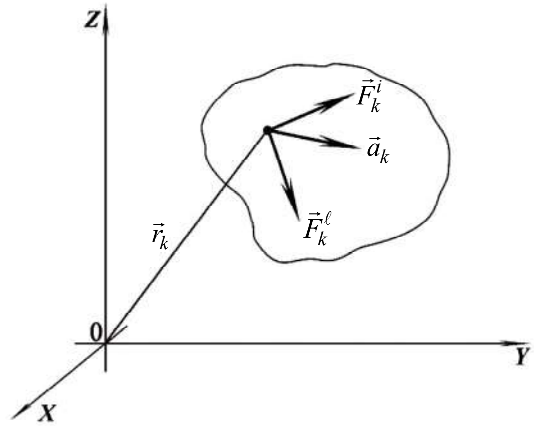

Fig. 2. Material point under the action of inner and outer forces.

Expression (3) will be written in the form:

$$\sum m_k \cdot \vec{V}_k = \vec{Q} = M \cdot \vec{V}_c \tag{4}$$

$\vec{Q}$ - is the momentum vector of the system of material points.

When differentiating the expression (4) we get:

$$\sum m_k \cdot \vec{a}_k = \frac{d\vec{Q}}{dt} = M \cdot \vec{a}_c \tag{5}$$

Here $\vec{a}_k$ and $\vec{a}_c$ are accelerations of material points and center mass C.

Acceleration of material point $\vec{a}_k$ is the result of interaction on it of outer force $\vec{F}_k^\ell$ and inner forces of interaction $\vec{F}_k^i$. This position is shown in Fig. 2. Taking into account the above we write:

$$\sum m_k \cdot \vec{a}_k = \sum \vec{F}_k^\ell + \sum \vec{F}_k^i = \frac{d\vec{Q}}{dt} = M \cdot \vec{a}_c \tag{6}$$

However, the main vector of all inner forces of interaction is equal to zero $\sum \vec{F}_k^i = 0$ and expression (6) will be rewritten as:

$$\sum m_k \cdot \vec{a}_k = \sum \vec{F}_k^\ell = \vec{U}^\ell = \frac{d\vec{Q}}{dt} = M \cdot \vec{a}_c \tag{7}$$

or

$$M \cdot \vec{a}_c = \vec{U}^\ell \text{ and } \vec{Q} = M \cdot \vec{V}_c \ ,$$

where $\vec{U}^\ell$ is the main vector of outer forces applied to the system.

Main advantage of the obtained correlations is the fact that inner forces do not take part in identification of the process, which allows us to formulate the following simple sequence of quantitative identification of the considered process:

1) We apply the known main vector of outer forces $\vec{U}^\ell$, acting to the system to material point with mass M and define its velocity $\vec{V}_c$.

2) Having multiplied the received velocity $\vec{V}_c$ by introduced mass *M* we get:

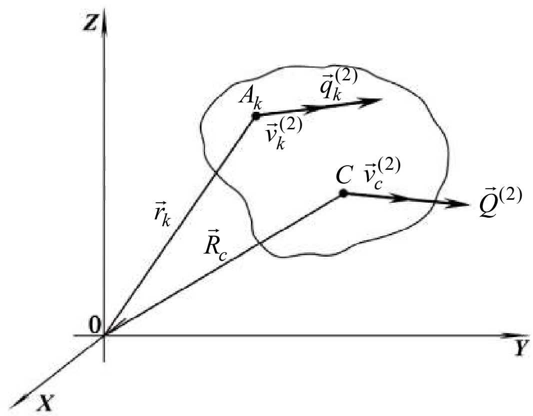

Fig. 3. Second dynamic state of the system of material points.

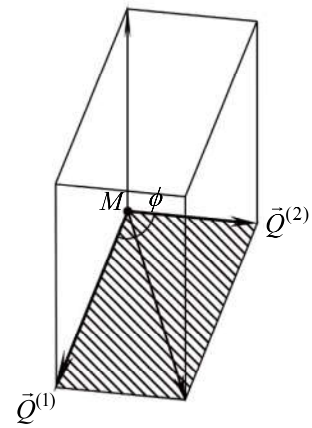

Fig. 4. Center mass system under the influence of two vectors.

$$\vec{Q} = M \cdot \vec{V}_c \, .$$

In Fig. 1 this procedure is graphically shown: vector $\vec{Q}^{(1)}$ is applied to the center mass M_c system.

In Fig. 3 the second dynamic state of the same system of material points is expressed. In this state not only outer forces different from the first state are applied, but we can admit inner interactions of the other character. In Fig. 3 vector $\vec{Q}^{(2)}$ is applied to the C center mass.

Let us put a problem. The question is: How will the system of material points behave, if two systems of outer forces with two different inner correlations act on it simultaneously?

Taking into account the formulated above procedure this problem is graphically presented in Fig. 4. To the introduced mass M_c two vectors $\vec{Q}^{(1)}$ and $\vec{Q}^{(2)}$ are applied. Such representation gives an interesting opportunity to analyze mutual process from the state of the positions of vector algebra, in particular, to give it physical sense to the sum of vectors, scalar product, vector product.

Expression of angle between vectors can be particularly singled out. It is written as:

$$\cos\varphi = \frac{\vec{Q}^{(1)} \cdot \vec{Q}^{(2)}}{\sqrt{\left|\vec{Q}^{(1)}\right|^2 \cdot \left|\vec{Q}^{(2)}\right|^2}} \tag{8}$$

expression (8) defines whether the process is stable or unstable at mutual action of different outer and inner interactions. In fact at $\varphi = 0$ two vectors $\vec{Q}^{(1)}$ and $\vec{Q}^{(2)}$ coincide and do not form the basis. It can be interpreted as transformation of determinant of the system of algebraic equations into zero, or the loss of stability of the construction or process.

The above relations are from the field of Mechanics obtained for three-dimensional inertial systems of counting out OXYZ (Fig.1). Let us try to expand the field of application of the expressions obtained giving another meaning to the notions and symbols applied.

Let us begin with the notion of mass. In Mechanics the mass is a quantitative expression of capability of a physical body to resist to the change of position in space or inertness of a physical body to change its position in space.

In generalized approach, mass is a quantitative expression of capability to resist to the change of a certain property or inertness to change certain property, e.g.: color, merits, outlook.

Consequently:

$d\vec{r}_k$ – is the change of properties of the point

$\vec{V}_k = \dfrac{d\vec{r}_k}{dt}$ – velocity of the change of property of the point

$\vec{q}_k = m_k \vec{V}_k$ – momentum vector of the change of properties of the point

$M = \sum^{n} m_k$ – the sum of inertness of the system of points

$\sum^{n} m_k \vec{V}_k$ – momentum vector of the change of properties of the system

$\sum m_k \vec{r}_k = M\vec{R}_c$ – the center of inertness of the system of points

$\{\vec{F}_k^{\ell}\}$ – external action

$\{\vec{F}_k^{i}\}$ – internal action.

In conclusion, we should note that some of the above statements or propositions require additional consideration and proofs to better outline the scope of the suggested generalization. The mystic idea of vector multiplication is emphasized indicating the determining role of the choice of the solution for development of the process and difficulty of such choice in unstable process.

მექანიკა

სხვადასხვა ბუნების მქონე რთული უწონასწორო პროცესების კვლევის ერთიანი მიდგომის შესახებ

გ. გაბრიჩიძე

აკადემიის წევრი, საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია, ბუნებრივი კატასტროფების სამეცნიერო პრობლემების შემსწავლელი კომისია, თბილისი

პროცესი შეიძლება იყოს მექანიკური, ფიზიკური, ქიმიური, ბიოლოგიური,ფსიქოლოგიური, სულიერი, სოციალური. პროცესის ბუნებიდან გამომდინარე, მასში მონაწილე ობიექტები, ან სუბიექტები და მათ შორის დამოკიდებულებები შეიძლება იყოს სრულიად განსხვავებული. პროცესის სირთულეც შეიძლება სხვადასხვა სახისა იყოს; იგი შეიძლება განპირობებული იყოს მონაწილეთა დიდი რაოდენობით, ან იმით, რომ პროცესში მონაწილე მხარეებს შორის არ არის ცხადი დამოკიდებულებები, ან საერთოდაც უცნობია ისინი. ყველა ზემოხსენებული პროცესები მოძრაობის ფორმებს წარმოადგენენ. ისინი ურთიერთკავშირში არიან, მარტივი ფორმები რთულში შედიან და შეუძლიათ მოძრაობის ხარისხობრივად ახალი ფორმები წარმოქმნან. თვით პროცესი შეიძლება

იყოს რთული, უწონასწორო, მაგრამ მდგრადი. მდგრადობა შეიძლება განვიხილოთ გარკვეულ ზღურბლად, რომლის გადალახვისას პროცესი ხდება უმართავი, არაპროგნოზირებადი. კაცობრიობამ უდიდესი ინტელექტუალური ენერგია დაახარჯა სხვადასხვა სფეროში მიმდინარე რთული, უწონასწორო პროცესების კვლევას. შედეგები შთამბეჭდავია, მაგრამ ასეთი პროცესების ტრაგიკულ გამოვლინებასაც ყველა ვხედავთ: ბიოლოგიურ სფეროში შიდსის გავრცელება, სოციალურ სფეროში მწვავე პოლიტიკური დაპირისპირებები მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონებში, ეკონომიკურ სფეროში ლოკალური და გლობალური კრიზისები, კლიმატური ცვლილებები, მიწისძვრების ტრაგიკული შედეგები ფუკუსიმასა და ნეპალში. ყველა ამ კატაკლიზმებში მონაწილეობს ადამიანი, ან როგორც შემოქმედი, ან როგორც მსხვერპლი. ეს შეიძლება იმაზე მიუთითებდეს, რომ კაცობრიობამ არ იცის იმ ზღურბლის კარგად გარჩევა, რომელზე გადაბიჯება არ შეიძლება დაუსჯელად! სტატიაში სხვადასხვა ბუნების მქონე რთული პროცესების შესასწავლად შემოთავაზებულია ერთიანი მიდგომა, რომელიც თავდაპირველად ჩამოყალიბებულია თეორიულ მექანიკაში ცნობილ ტერმინებში – ნებისმიერი პროცესის იდენტიფიკაციისათვის გამოიყენება მოძრაობის რაოდენობის ვექტორი, რომელიც მოედება სისტემის მასათა ცენტრში. მიღებული დამოკიდებულებების გამოყენების სფეროს გასაფართოებლად მექანიკის ფარგლებს გარეთ, შემოთავაზებულია გამოყენებული მცნებების და სიმბოლოების ახალი შინაარსით დატვირთვა, მაგალითად, მასა განიხილება, როგორც ფიზიკური ობიექტის ინერტულობა მისი რაიმე თვისების ცვლილების მიმართ, შესაბამისად, სისტემის მასების ცენტრი, როგორც სისტემის ინერტულობის ცენტრი რაიმე თვისების შეცვლის მიმართ. ვექტორული გამრავლება შეფასებულია როგორც მისტიკური ცნება, რომელიც მიუთითებს გადაწყვეტილების არჩევანის მნიშვნელობასა და მისი მიღების სირთულეზე, პროცესის არამდგრადობის პირობებში.

REFERENCES

1. *Nicolis Gregorie, Prigogine Ilya* (1989) Exploring Complexity. New York.
2. *Chernogorov E.P.* (2010) Teoreticheskaia mekhanika. Obshchie teoremy dinamiki. Chelyabinsk (in Russian)

Received May, 2015