

Геол. ан. Балк. полуос. Ann. Geol. Penins. Balk.	62	47-56	Београд, децембар 1998 Belgrade, Decembre 1998
---	----	-------	---

УДК 51-7:521.93:55

Оригинални научни рад

## МАТЕМАТИЧКО ОДРЕЂИВАЊЕ ПРОМЕНЕ БРЗИНЕ РОТАЦИЈЕ ЗЕМЉЕ НА ОСНОВУ ГЕОЛОШКИХ ПОДАТАКА

од

Милоја Илића\*, Мирослава Старчевића\*,  
Луке Пешића\*\* и Владана Челебоновића\*\*\*

У овом раду учињен је покушај да се, на бази геолошких (палеонтолошких) података, математичким прорачунима одреди смањивање брзине ротације Земље у току њене геолошке историје, које је било проузроковано плимским трењем изазваним међусобним дејством гравитационих сила Земље, Месеца и Сунца. Као основ за ове прорачуне, послужили су подаци палеонтолошких проучавања скелета (тека) фосилних корала, као и њихово упоређивање са резултатима проучавања скелета савремених корала. Утврђивањем броја трака дневног раста у прстеновима годишњег раста тека корала установљено је да је у средњем девону година имала око 400 дана, у горњем карбону 385-390 дана а у доњем тријасу 380 дана. Под претпоставком да се брзина Земљине ротације смањивала по линеарном закону у том временском интервалу, прорачунато је да је за последњих 385 милиона година ово смањивање износило око 20 секунди на милион година, за колико се повећавала дужина дана. На овој основи, одређена је дужина трајања дана у даљој геолошкој прошлости (до пре 4 000 милиона година) и дата је прогноза дужине трајања дана у будућности.

У циљу целовитог сагледавања и решавања третиране проблематике промене брзине Земљине ротације, извршена је компаративна анализа са осталим планетама Сунчевог система.

**Кључне речи:** Земљина ротација, тека, дужина дана, планете.

### УВОД

У астрономији и геофизици широко је прихваћено гледиште да се брзина ротације Земље у току геолошке историје непрекидно смањивала и да се, следствено томе, дужина дана непрекидно повећавала, што је доводило до смањивања броја дана у години. Као главни узрок томе, обично се наводи плимско трење изазвано међусобним дејством гравитационих сила Земље, Месеца и Сунца (Scheidegger, 1958). Будући да споменуте науке располажу само са савременим подацима о физичким особинама Земље (као и других чланова Сунчевог система), велики проблем представља установљавање промене брзине њене ротације у прошлости, као и предвиђање исте у будућности.

Велику помоћ у решавању овог проблема пружа нам геологија – првенствено палеонтологија. Палеонтолошка проучавања скелета (тека) фосилних корала су,

\* Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Бушина 7. 11 000 Београд.

\*\* Институт за регионалну геологију и палеонтологију Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, Каменичка б. 11 000 Београд.

\*\*\* Институт за физику, Цара Душана, 11 080 Земун.

наиме, показала да они представљају својеврсне "геолошке часовнике", што ће бити подробније размотрено у наредном поглављу.

### ПАЛЕОНТОЛОШКИ ПОДАЦИ

Из палеонтологије је познато да тека корала садржи прстенове годишњег раста (видљиве и голим оком) који се састоје од наизменично распоређених светлијих и тамнијих трака (видљивих само под микроскопом). Светлије и шире траке одговарају дневном расту, а тамније и уже – ноћном расту. Могуће грешке у одређивању броја трака могу бити до око 2%.

Могућност коришћења ових прстенова и трака као "геолошких часовника" открио је Велс (Wells, 1963 из Кузмичева, 1982). Проучавајући теку средњодевонског корала *Cyathophyllum helianthoides*, овај аутор је установио да прстен годишњег раста садржи 400 прираштајних трака, што сведочи да је година тада имала 400 дана. Аналогна проучавања теке савременог корала *Manicina arcolata*, показала су да се у прстену његовог годишњег раста налази 360 трака, што готово сасвим одговара броју дану у години.

Слична проучавања вршили су следећи аутори: код горњокарбонских корала – Скратон (Scrutton, 1965 из Кузмичева, 1982), а код доњотријаских корала Бове и Шевалије (Beauvais & Chevallier, 1980 из Кузмичева, 1982). Они су установили да је у горњем карбону година имала 385–390 дана, а у доњем тријасу око 380 дана (табела 1).

Табела 1. Резултати палеонтолошких проучавања скелета корала  
Table 1. Results of paleontological studies on coral's thecae

Геолошка епоха Geological epoch	Ma	Број дана у години Number of days per year	Број сати у дану Number of hours per day
Холоцен Holocene	0	365	24
Доњи тријас Lower Triassic	220–230	380	23.1
Горњи карбон The Upper Carboniferous	285–310	385–390	22.8–22.5
Средњи девон The Middle Devonian	370–385	400	21.9
Почетак палеозоика The beginning of Paleozoic	450	417	21

Синтетички приказ резултата оваквих палеонтолошких проучавања скелета корала, дала је Кузмичева (1982). Овоме треба додати и податке које су добили Манк и Мекдоналд (Munk & Macdonald, 1960), за почетак палеозоика. У табели 1, поред колоне са бројем дана у години, дата је и колона са бројем сати у једном дану.

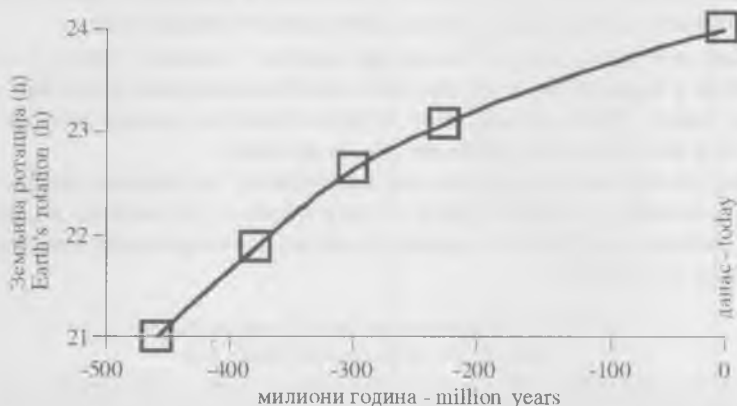
### МОДЕЛ ПРОРАЧУНА

Ако податке из табеле 1 прикажемо графички, добићемо дијаграм зависности дужине трајања дана за временски интервал од пре око 450 милиона година до данас. Овај дијаграм је приказан на сл. 1.

Ако се претпостави, у првој апроксимацији (на основу података из табеле 1), да се брзина Земљине ротације у току времена линеарно смањује по стопи од 20 секунди на милион година, онда се може одредити функционална зависност ових величина на следећи начин:

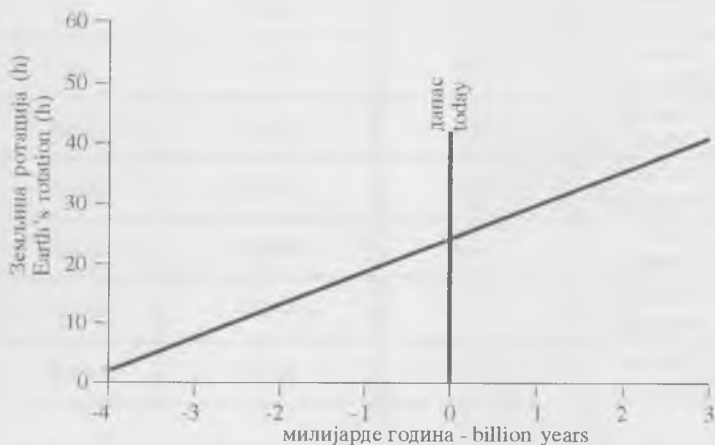
$$h = 5,556b + 24 \tag{1}$$

где је:  $h$  – дужина трајања дана у часовима  
 $b$  – време у милијардама година (данас = 0)



Сл. 1. Трајање дневне ротације Земље од девона до данас.  
 Fig. 1. The Earth's rotation from the Devonian to Recent.

Из израза (1) произилази да је пре 4 милијарде година ( $b=-4$ ) дужина дана износила мање од 2 часа, а да ће кроз 3 милијарди година ( $b=+3$ ) иста износити преко 40 часова (сл. 2).



Сл. 2. Трајање дневне ротације Земље (у часовима) у прошлости и будућности по линеарним закону.  
 Fig. 2. The Earth's daily rotation length in past and future.

Када се има у виду чињеница да су на смањивање брзине Земљине ротације могли утицати и многи други фактори, и то у току веома дугог времена (преко 4 000

милиона година), онда се може поставити питање веродостојности претпоставке о линеарном смањивању ове брзине.

За одређивање аналитичког израза за промену брзине Земљине ротације током времена по закону који није линеаран, могу се искористити подаци за интервал времена од пре 450 милиона година до данас и на основу тога извршити апроксимација за дужи временски период.

Проблемом промене времена ротације Земље, бавили су се многи аутори, при чему су неки то везивали са променом димензија Земље током геолошке историје, нпр. Џордан (Jordan, 1971). Аутори овог рада, нису улазили у овакву врсту разматрања, сматрајући да те хипотезе нису до данас опште прихваћене.

Од наших научника, треба поменути радове Савића (1961) и Milankovića (1941). Савић је у наведеном раду третирао проблем порекла ротације небеских тела и система, док је Миланковић само дотакао проблем дневне ротације Земље, не упуштајући се у анализу њене промене током времена.

Међутим, за целовито сагледавање и решавање третиране проблематике промене брзине Земљине ротације, треба узети у обзир и релевантне податке о другим планетама Сунчевог система и извршити њихову компаративну анализу. Ови подаци приказани су у табели 2.

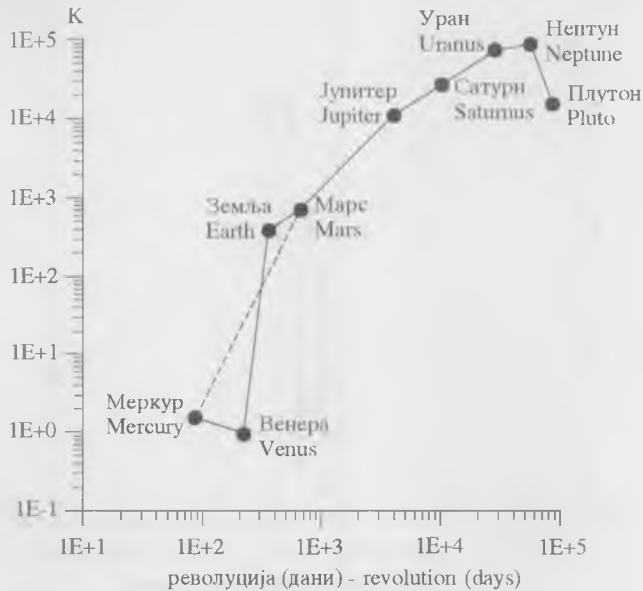
Табела 2. Подаци о планетама Сунчевог система  
Table 2. The Solar system planets data

(1)	(2)	(3)	(4)
Планета Planet	Ротација (дана) Rotation (days)	Револуција (дана) Revolution (days)	$K: (3)/(2)$
Меркур Mercury	59	88	1.49
Венера Venus	243	224.7	0.92
Земља Earth	1	365.24	365
Марс Mars	1.02	687	674
Јупитер Jupiter	0.41	4 329	10 558
Сатурн Saturnus	0.43	10 753	25 007
Уран Uranus	0.45	30 660	68 133
Нептун Neptune	0.74	60 225	81 385
Плутон Pluto	6.39	90 520	14 166

С обзиром да је успоравање ротације планета условљено растојањем од Сунца, у последњој колони табеле 2 приказан је однос револуције (у данима) и ротације (у данима) за сваку планету. Овај однос представља неименован број и у даљем тексту биће означаван словом  $K$ .

На сл. 3 приказан је дијаграм промене односа  $K$ , датог у табели 2, у функцији револуције планета.

На слици се може запазити да постоји правилност у облику дијаграма, која је нарушена само за три планете: Венери, Земљу и Плутона. Ова одступања могу се објаснити ако се узму у обзир посебне одлике ових планета у односу на остале.



Сл. 3. Дијаграм промене односа К: револуција (дани)/ротација (дани).  
Fig. 3. Ratio K change diagram: revolution(days)/rotation(days).

Венера је једина планета у Сунчевом систему која има ретроградну ротацију, што је вероватно последица судара са неким објектом у далекој прошлости. Овај судар је знатно успорио ротацију Венере, тако да је период једне ротације већи од револуције, што није случај ни код једне друге планете Сунчевог система.

Земља има велики сателит – Месец, који има релативно велику масу и налази се на релативно малој удаљености од Земље, што је вероватно довело до корекције у њеној ротацији. Такође, по неким астрономима, Месец је настао као последица судара великог тела са Земљом, што је довело до стварања овог двојног система.

Плутон је планета са врло ексцентричном орбитом која у неким периодима времена пресеца Нептунову орбиту, тако да је нејасно да ли је то планета која припада низу од самог стварања Сунчевог система, или је настала касније у процесу неких судара или одвајања од постојећих планета.

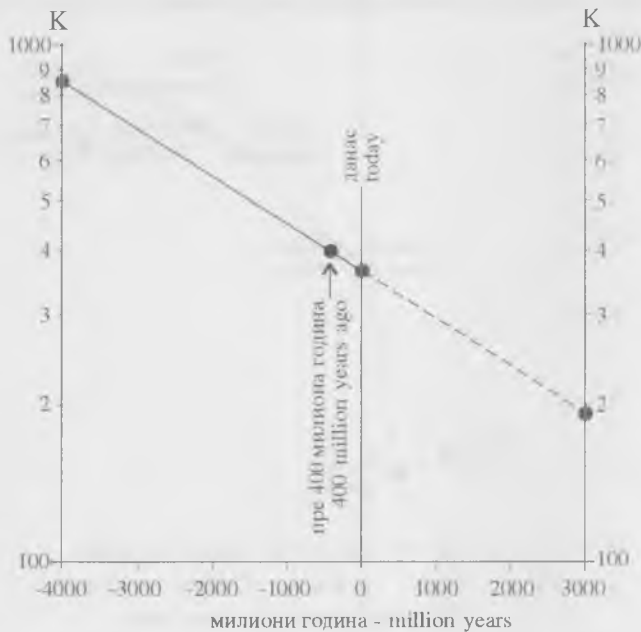
Као што је напред речено, основа за даље прорачуне су палеонтолошки налази о дужини трајања дана на Земљи према дневном и годишњем расту скелета – тека фосилних корала.

Ако се претпостави да је револуција планета (у часовима) константна током дугог временског периода, може се срачунати однос К за временски период девона на основу података из табеле 1, из односа:

$$K = \frac{\text{револуција (сати)}}{\text{ротација (сати)}} = \frac{8\,766}{21,9} \approx 400,27$$

На сл. 4 приказан је дијаграм односа К у функцији времена од пре 4 000 милиона година до 3 000 милиона година у будућности за планету Земљу, имајући у виду

да је пре 400 милиона година тај параметар износио 400,27. Обзиром на логаритамску размену, јасно је да је зависност величина експоненцијална.



Сл. 4. Дијаграм односа К за планету Земљу.

Fig. 4. Ratio K diagram for the planet Earth.

На основу података са дијаграма на сл. 3 може се срачунати да је пре 4 000 милиона година време ротације Земље износило:

$$\text{Rot} = \frac{\text{Rev}}{K} = \frac{8\,766}{850} = 10,3\text{h}$$

У будућности, кроз 3 000 милиона година, ротација ће износити:

$$\text{Rot} = \frac{\text{Rev}}{K} = \frac{8\,766}{195} = 45\text{h}$$

Ако се претпостави да је пре 4 000 милиона година време ротације за све планете било приближно исто, што значи око 10 часова, као што је добијено за Земљу, могуће је добити сличне дијаграме и за остале планете.

Геол. ан. Балк. полуос. Ann. Géol. Penins. Balk.	62	47-52	Београд, децембар 1998 Belgrade, Decembre 1998
---	----	-------	---

UDC 51-7:521.93:55

Original scientific paper

## MATHEMATICAL DETERMINATION OF A CHANGE OF THE EARTH'S VELOCITY ON THE BASIS OF GEOLOGICAL DATA

by

Miloje Ilić<sup>\*</sup>, Miroslav Starčević<sup>\*</sup>,  
Luka Pešić<sup>\*\*</sup> and Vladan Čelebonović<sup>\*\*\*</sup>

In this paper the an attempt was made, using mathematical calculations based on geological (paleontological) data, to determine reduction of the Earth's rotation velocity within its geological history, that was caused by tidal affects induced by gravitational pull of the Earth, the Moon and the Sun. Both the data on paleontological study of fossilized coral skeletons (thecae) and comparative analyses of modern coral skeletons represented the basis of these calculations. Thus, it was established, by determining the number of daily growth bands within annual growth rings of coral's thecae that a year lasted about 400 days in the Middle Devonian, about 385-390 days in the Upper Carboniferous and 380 days in the Lower Triassic. Under presumption that the Earth's rotation velocity reduced according to linear law within this time interval, it was calculated that for the last 385 million years this reduction was about 20 seconds per million years, the same as the length of a day increased. On this basis, duration of a day was established for a more distant geological past (up to 4000 million years ago) and a prognosis was given for duration of a day in the future.

**Key words:** Earth's rotation, theca, day duration, planets.

### INTRODUCTION

A concept, widely accepted in both astronomy and physics, supports a hypothesis according to which the Earth's rotation velocity has constantly decreased during its geological history while the length of days kept on increasing thus reducing the number of days in a year. Tidal affect, resulting from mutual activity of gravitational pull of the Earth, the Moon and the Sun, is usually mentioned as a predominant cause (Scheidegger, 1958). As these sciences dispose only of modern data on the Earth's physical properties (as well as on other members of the Solar system), establishment of the Earth's rotation velocity change in past as well as anticipation of the same in future, has emerged as a significant problem.

<sup>\*</sup> University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Djušina 7, 11000 Belgrade.

<sup>\*\*</sup> Univeristy of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Institute of Regional Geology and Paleontology, Kamenička 6, 11000 Belgrade.

<sup>\*\*\*</sup> Institute of Physics, Cara Dusana, 11080 Zemun.

Geology, particularly paleontology, has proved to be of valuable help in solving this problem. Namely, paleontological studies of fossil corals' thecae showed that they represent special "geological clocks", thorough discussion of which will be presented in the following chapter.

### PALEONTOLOGICAL DATA

It is well known from paleontology that a coral's theca is characteristic for annual growth rings (visible even with the naked eye) that consist of light and dark bands distributed in alternating sequence (visible only by microscope). Lighter and wider bands correspond to a daily growth while darker and narrower to a night growth. Possible mistakes in bands' determination do not exceed 2%.

The possibility of using rings and bands as "geological clocks" was discovered by Wells (1963, in Kuzmitcheva 1982). While investigating thecae of a Middle Devonian coral, known as *Cyathophyllum helianthoides*, this author established that an annual growth ring contains 400 increment bands, thus strongly supporting the fact that a year of that time had 400 days. However, a modern coral's *Manicina arcolata* annual growth ring is characteristic for 360 increment bands that approximately corresponds to the length of a modern year.

Similar investigations were performed by the following authors: Scrutton (1965, in Kuzmitcheva 1982) for Upper Carboniferous corals, and Beauvais & Chevallier (1980, in Kuzmitcheva 1982) for Lower Triassic corals. They established that in the Upper Carboniferous a year lasted 385–390 days, and in the Lower Triassic about 380 days (Table 1).

A synthesized review of these paleontological studies on corals' thecae was prepared and presented by Kuzmitcheva (1982) and added by Munk & Macdonalds (1960) for the beginning of Paleozoic. The Table 1 besides a column giving a number of days in a year is supplemented by a column containing a number of hours in a day.

### MODEL OF CALCULATION

If data from Table 1 are graphically presented, we shall obtain a diagram of dependence for a day duration per a period of about 450 million years ago till today. This diagram is given in Fig. 1.

If rotation velocity, in first order of approximation (according to data from Table 1) is supposed to reduce linearly during time at rate of 20 seconds per million years, then a functional dependence of these values can be determined in the following way:

$$h=5.556b+24 \quad (1)$$

where: h – duration of a day in hours

b – time in million years (today = 0)

It results from expression (1) that 4 billion years ago (b=-4) a day lasted less than 2 hours, and that the day will last more than 40 hours in 3 billion years (b=+3) – Fig. 2.



But, having in mind the fact that many other factors as well might have influence on reduction of the Earth's rotation velocity within a rather long time (more than 4000 million years), then the question of hypothesis reliability on linear reduction of this velocity, may appear.

When determining an analytical expression for the Earth's rotation velocity change during time according to non-linear law, the data covering a short period from about 400 million years ago till today may be used and extrapolation for a longer period of time can be made on this basis.

The problem of Earth's rotation velocity was studied by many authors. Jordan (1971) related it with changing of Earth dimensions within geological history. Savić (1961) was treated a problem the origin of rotation of heavenly bodies and systems, while Milanković (1941) discussed some Earth's rotation data, but did not analyzed its changes in the time.

However, more precise calculations require data on both revolution and rotation of all the planets from the solar system. The relevant data are given in Table 2. As deceleration of a planet's rotation is conditioned by a distance from the Sun, the revolution (in days) and rotation (in days) ratio for each planet is given in the last column in Table 2. This parameter represents a non-named number and will be marked by letter K in the following text.

Fig. 3 shows a diagram of change in ratio K given in Table 2, in function of planets' revolution.

A regularity in diagram shape is evident, except for the three planets: Venus, the Earth and Pluto. These deviations can be explained when particular features of the said planets are taken into consideration.

Venus is the only planet within the solar system having a retrograde rotation, that probably results from a collision with some object in distant past. This impact considerably decelerated rotation of Venus, causing a period of one rotation to exceed its period of revolution, not being the case with all other planets of the solar system.

The Moon is the Earth's great natural satellite, the mass of which is relatively great and distance from the Earth relatively small, what probably caused correction in the Earth's rotation. Also, after some astronomers, the Moon was formed after a violent impact of a great body with the Earth causing formation of this dual system.

Pluto is the planet with very excentric orbit crossing, in certain time periods, the Neptun's one, and therefore its origin is rather vague: the question is whether this planet belongs to the series from the very beginning of the solar system formation or was it formed later on during certain impacts with or separation from the existing planets.

As already mentioned above, paleontological findings referring to the length of days on the Earth, according to daily and annual growth of skeletons (thecae) of fossilized corals, represent the basis for further calculation.

Under presumption that revolution of planets (in hours) is constant for a longer period of time, a ratio K for the Devonian period can be calculated on the grounds of data from Table 1, namely from the following relation:

$$K = \frac{\text{Revolution (hours)}}{\text{Rotation (hours)}} = \frac{8766}{21.9} = 400.27$$

A diagram of K ratio in function of time from about 4000 million years ago to 3000 million years in future for the Earth, is given in Fig. 4, bearing in mind that 400

million years ago this parameter was 400.27. Taking into consideration the logarithm scale, it is obvious that the dependence is an exponential value.

On the grounds of the data from the diagram presented in Fig. 3, the calculations indicate that 4000 million years ago the Earth's rotation time was

$$\text{Rot} = \frac{\text{Rev}}{\text{K}} = \frac{8766}{850} = 10.3\text{h}$$

In future, in about 3000 million years, the rotation will be:

$$\text{Rot} = \frac{\text{Rev}}{\text{K}} = \frac{8766}{195} = 45\text{h}$$

Under assumption that 4000 million years ago the rotation time for all planets was approximately the same, namely 10 hours, as was obtained for the Earth, then similar diagrams for all other planets can be made.

*Translated by V. Vukčević*

#### ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Jordan P., 1971: The expanding Earth.– International series of Monographs in Natural Philosophy, 37, Pergamon Press, Oxford, 1–202, New York.
- Кузмичева Е. И. (=Kuzmitcheva), 1982: Коралль как "геологические часы".– Природа. 10, 19–25. Москва.
- Milankovic M., 1941: Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem.– Königlich Serbische Akademie, 633 p., Belgrade.
- Munk W.H. & Macdonald G.J.F., 1960: The rotation of the Earth.– Cambridge University Press, 1–323, London.
- Савић П. (=Savic), 1961: О происхождении вращения системы и отдельных небесных тел.– Bulletin Academie Serbe des Sciences et des Arts, T. XXVI, 8, 107–112. Београд.
- Scheidegger A. E., 1958: Principles of Geodynamics.– Springer-Verlag, 1–280, Berlin.