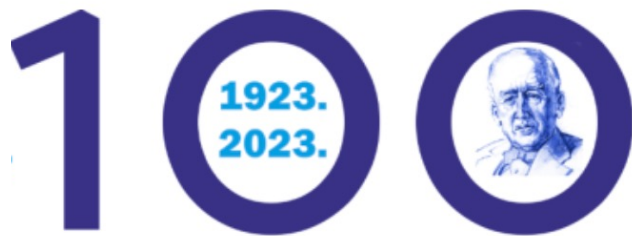


MILUTIN MILANKOVIĆ: CIKLUSI, KLIMATSKA TEORIJA I KALENDAR

Dragana Ilić

100 GODINA NOVOJULIJANSKOG KALENDARA

14-16. December 2023.



**HUNDRED YEARS
OF THE NEW JULIAN
CALENDAR**



MILUTIN MILANKOVIĆ – KRATKA BIOGRAFIJA

- Milutin Milanković (rođen 1879. u Dalju, Austro-Ugarska [sada u Hrvatskoj] – preminuo 1958. u Beogradu, Jugoslavija [sada u Srbiji])
- Srpski astronom, matematičar i geofizičar
- Studirao građevinarstvo u Beču, diplomirao 1902. godine, stekao doktorat 1904. (prvi doktorat Tehničkih nauka iz Srbije)
- 1905. godine počeo akademsku karijeru na Univerzitetu u Beogradu (Srbija)
- Bio je profesor primenjene matematike na Univerzitetu u Beogradu
- Sekretar Srpske akademije nauka i umetnosti
- Objavio je naučne i popularne knjige (<http://legati.matf.bg.ac.rs/milankovic>)

The background features a dark blue, textured surface with glowing mathematical formulas and circuit-like patterns. Visible formulas include $M \rightarrow Z$, $X + 0$, $Y + 0$, $Z = Y + 0$, $p = \frac{1}{3} m_0 n v^2$, $\frac{2}{3} n E_k = \frac{2}{3} n k T$, $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$, and $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

ASTRONOMSKI OSNOVI KALENDARA

ASTRONOMSKI CIKLUSI

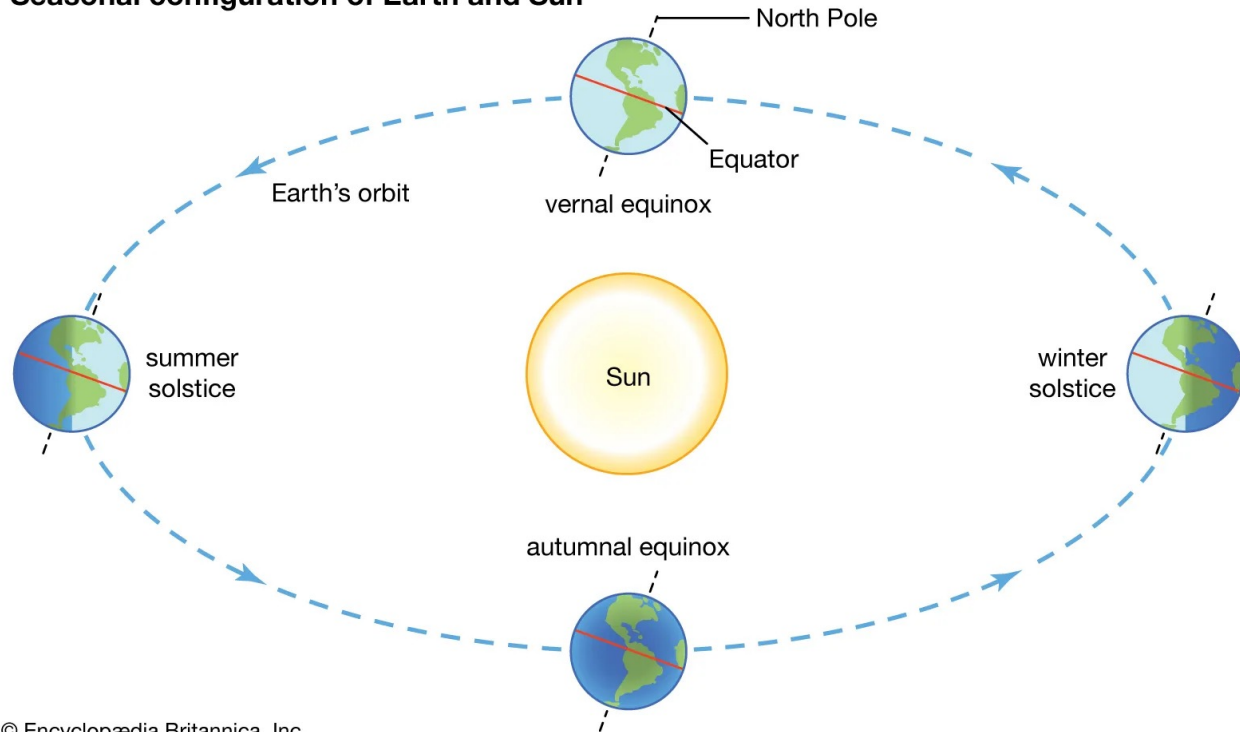
- dan (zasnovan na rotaciji Zemlje oko svoje ose)
- godina (zasnovana na revoluciji Zemlje oko Sunca)
 - tropska godina: srednji interval između prolećnih ravnodevica; ~ 365.25 dana
- mesec (zasnovan na revoluciji Meseca oko Zemlje)
- složenost kalendara zbog:
 - ciklusi revolucije ne obuhvataju ceo broj dana
 - ciklusi nisu konstantni niti savršeno međusobno uklopljeni
- solarni (Gregorijanski), lunarni (Islamski) i lunisolarni kalendar (Hebrejski, Kineski)

LETNJA RAVNODNEVICA

Kalendar godina koja se sastoji od celog broja dana ne može biti savršeno sinhronizovan sa tropskom godinom (u odnosu na Sunce).

Tropska godina - 365.242
Siderička godina - 365.256

Seasonal configuration of Earth and Sun



TRI TIPA KALENDARA

Solarni kalendar, čiji je primer građanski Gregorijanski kalendar, napravljen je da održi sinhronizaciju sa tropskom godinom. Da bi to postigao, dani se ubacuju (formirajući prestupne godine) kako bi se povećala prosečna dužina kalendarske godine.

Lunarni kalendar, kao što je Islamski kalendar, prati lunarni fazni ciklus bez obzira na tropsku godinu. Zbog toga se meseci Islamskog kalendara sistematski pomeraju u odnosu na mesece Gregorijanskog kalendara.

Treći tip kalendara, *lunisolarski kalendar*, ima niz meseci zasnovanih na lunarnom faznom ciklusu; ali svakih nekoliko godina se ubacuje ceo mesec kako bi se kalendar vratio u fazu sa tropskom godinom. Hebrejski i Kineski kalendari su primeri ovog tipa kalendara.

GREGORIJANSKI KALENDAR

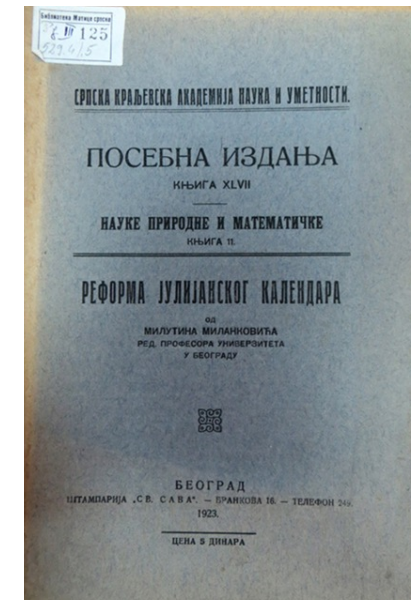
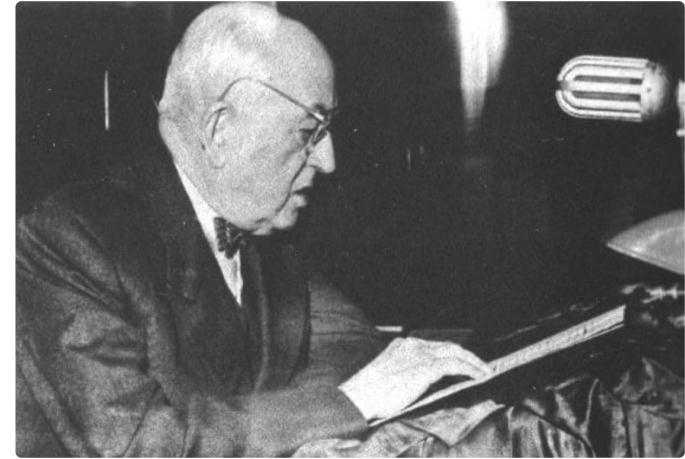
- In 1582, Pope Gregory XIII decreed that the day after Thursday, 4 October would be the 15th (not the 5th) of October
 - proposed by astronomers Aloysius Lilius and Christopher Clavius
- Common years – 365 days
- Leap years – 366 days, with an intercalary day, February 29
 - Every year divisible by 4, except those divisible by 100
 - These centurial years are leap years only if divisible by 400
- Accumulates an error of one day in about 2500 years
- Date of Easter: the Sunday following the **ecclesiastical** Full Moon that falls on or next after March 21
 - This is NOT: the first Sunday after the first Full Moon following the vernal equinox



see for details: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/calendars.html#JulianCal>

REFORMISAN JULIJANSKI KALENDAR

- Predložen od strane Milankovića 1923. na Ekumenskom kongresu istočnih pravoslavnih crkava u Carigradu.
 - Cilj reforme bio je da ujedini verske proslave u obe hrišćanske crkve (pravoslavnu i katoličku) i izbegne dvostruke proslave koje dovode do konfuzije i finansijskih gubitaka za nacionalne ekonomije.
- Ima iste mesece i iste dužine meseci kao Julijanski i Gregorijanski kalendar, ali pravila za prestupne godine su sledeća:
 - Godine koje su deljive sa 4 su prestupne godine.
 - Izuzetak: stogodišnje godine (uvek deljive sa 100) bi bile prestupne samo ako je deljenje sa 900 ostavilo ostatak 200 ili 600 (Gregorijanski: deljenje sa 400 bez ostatka).



TAČNOST

- **10x tačniji od Gregorijanskog kalendara**

-

Ovaj kalendar odražava tropsku godinu sa greškom od samo 2 sekunde godišnje, dok Gregorijanski kalendar ima grešku od 27 sekundi godišnje.

- Razlika će biti tek u 2800. godini

GREGORIAN LEAP YEARS:

2000 2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800

MILANKOVITCH LEAP YEARS:

2000 2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800
2900 3000 3100 3200 3300 3400 3500 3600 3700

UPOTREBA NOVOJULIJANSKOG KALENDARA

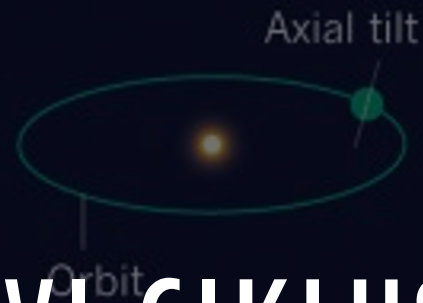


- Nije široko u upotrebi, glavni razlog je taj što nikada nije bio namenjen za civilnu upotrebu → Smišljen je kako bi reformisao merenje vremena u Pravoslavnoj crkvi.
- "Novi", "revidirani" ili "ispravljani" Julijanski kalendar koriste:
 - Patrijaršije Carigrada, Aleksandrije i Antiohije, Crkve u Grčkoj, Kipru, Bugarskoj, Rumuniji, Poljskoj, Albaniji, Češkoj, Slovačkoj, Pravoslavna crkva u Americi (od 1983)
- Stari Julijanski kalendar koriste:
 - Patrijaršija Jerusalima, Crkve u Rusiji i Srbiji, Manastiri autonomne monaške države Svete Gore.

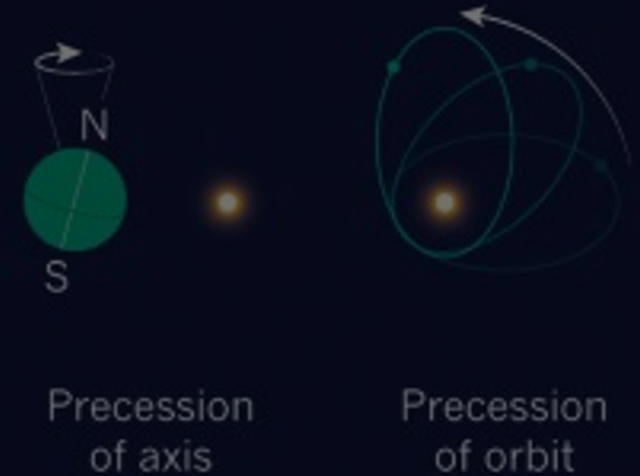
a Eccentricity



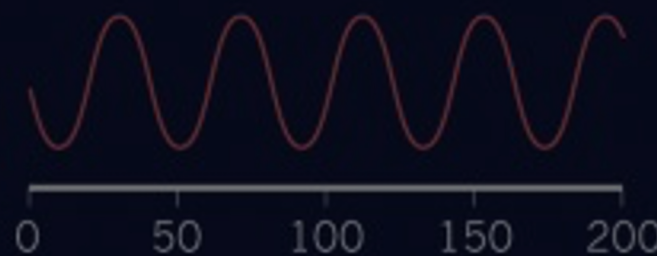
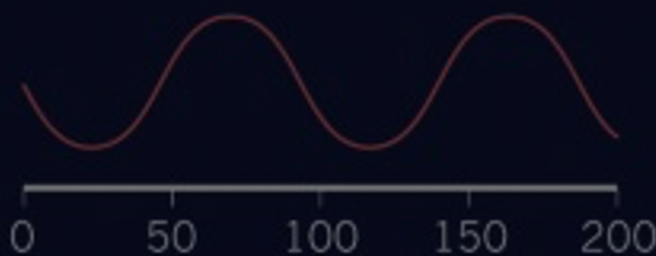
b Obliquity



c Precession



MILANKOVIĆEVI CIKLUSI



Thousands of years

MILANKOVIĆEVI CIKLUSI

Milankovićeви ciklusi opisuju kolektivne efekte dugoročnih (seklularnih) promena u orbitalnim elementima Zemlje na njen klimatski sistem tokom veoma dugih vremenskih razdoblja.

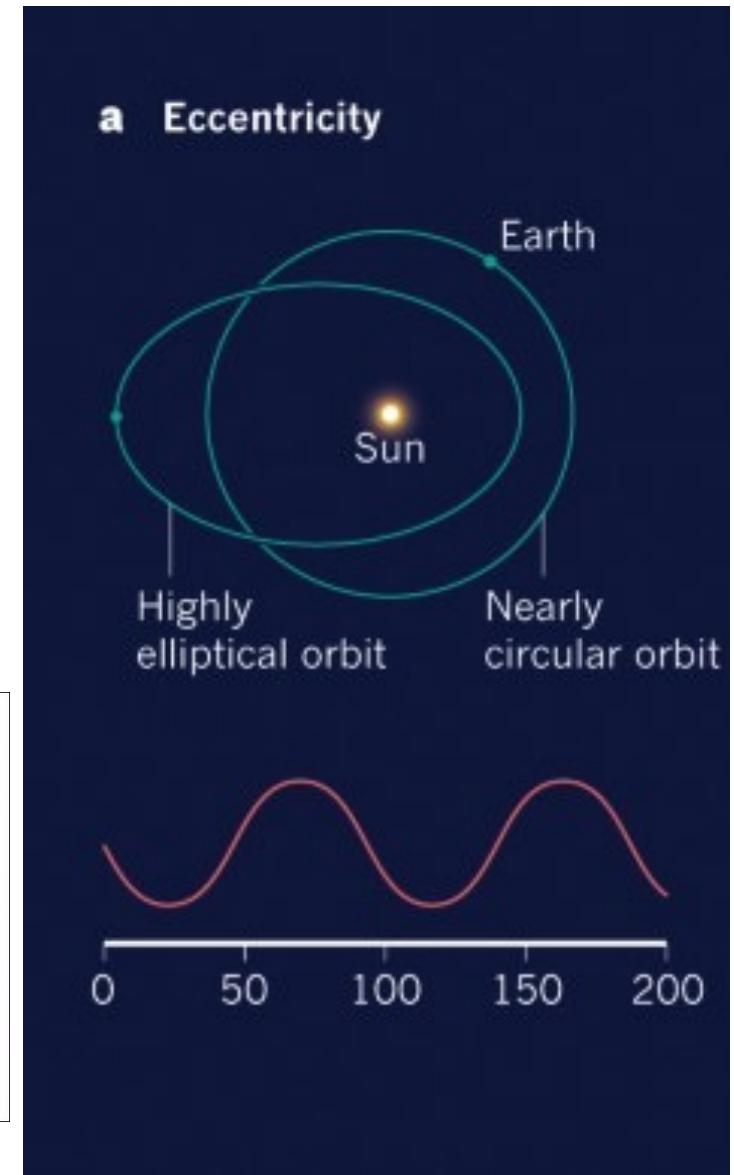
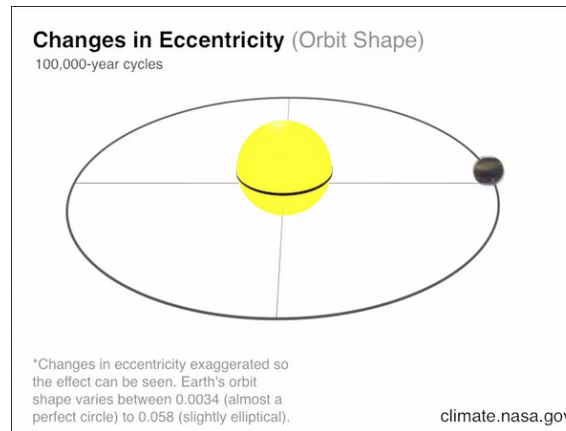
Krajem 19. veka, istraživanja o klime Zemlje su bila na veoma niskom nivou, uglavnom zbog nedostatka podataka.

Ideje da su promene u Zemljinim orbitama odgovorne za ledene doba su već bile postulirane od strane Džeјmsa Krola (James Croll), naučnika iz 19. veka iz Škotske.

EKSCENTRICITET

Ekscentricitet opisuje oblik Zemljine orbite oko Sunca i varira od gotovo kruga do elipse, delimično zbog gravitacije Jupitera

period ~96,000 godina



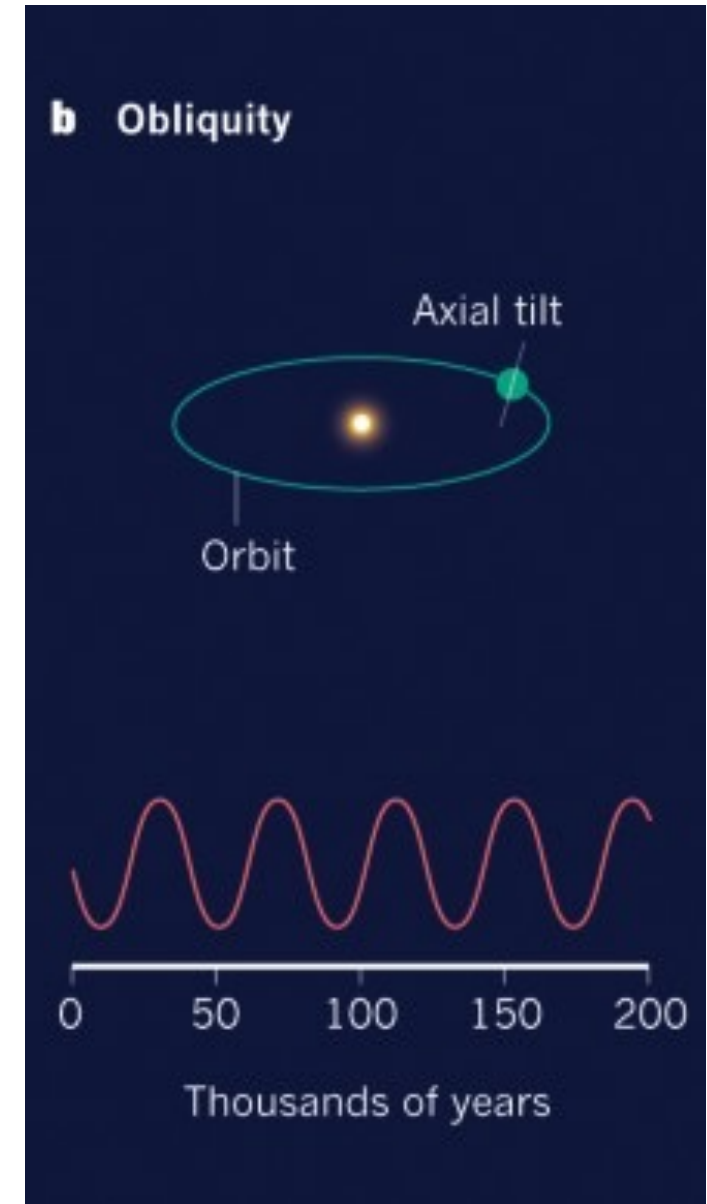
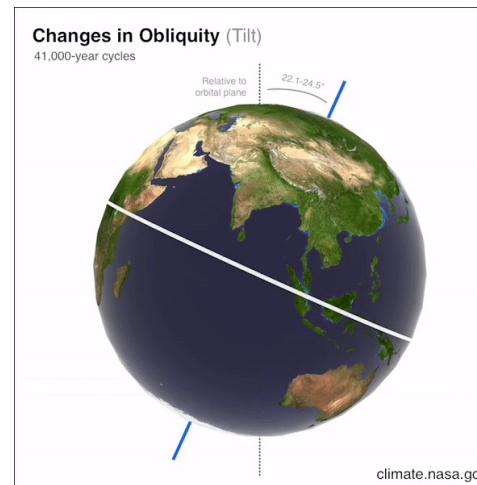
Maslin, M. Forty years of linking orbits to ice ages. *Nature* **540**, 208–209 (2016)

NAGIB (INKLINACIJA)

Nagib Zemljine ose rotacije u odnosu na ravan njene orbite varira u opsegu 22,1-24,5 stepeni.

Ovo direktno utiče na intenzitet godišnjih doba.

Oscilira u periodu od ~41.000 godina.



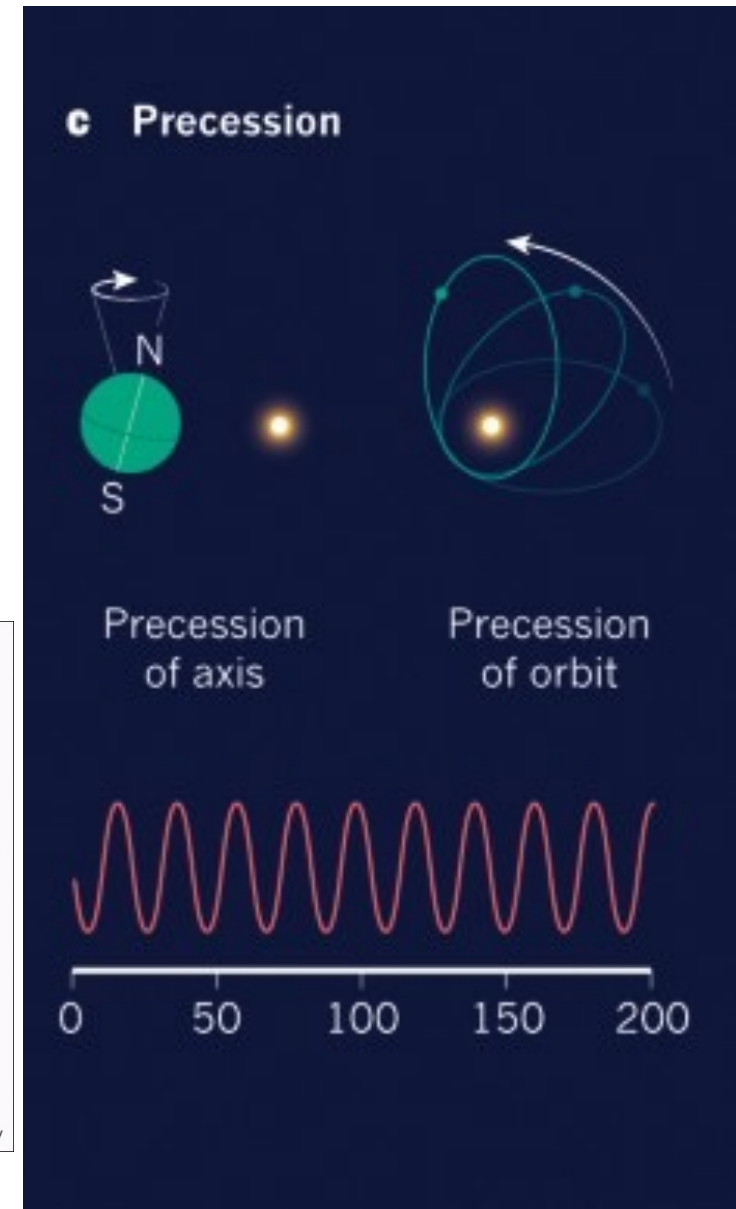
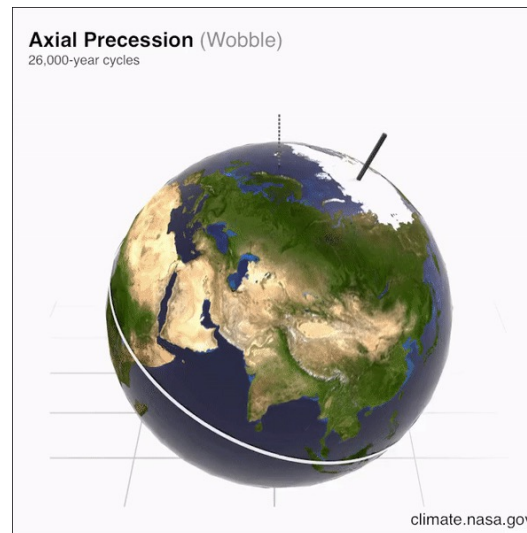
Maslin, M. Forty years of linking orbits to ice ages. *Nature* **540**, 208–209 (2016)

PRECESIJA

Osa Zemljine rotacije i njena orbita precesiraju (rotiraju se) tokom vremena.

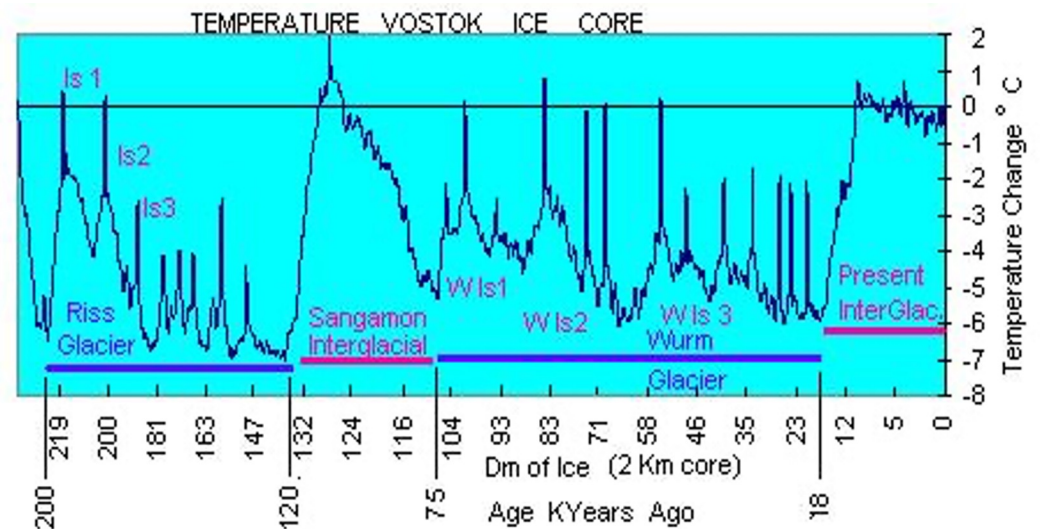
Ovo je najkomplikovaniji tip promene orbite jer menja udaljenost između Zemlje i Sunca tokom svake sezone.

Kombinovani efekti ove dve komponente i ekscentricitet daju ciklus od oko ~21.000 godina



Maslin, M. Forty years of linking orbits to ice ages. *Nature* **540**, 208–209 (2016)

NEREŠEN PROBLEM – LEDENA DOBA



KANON DER ERDBESTRAHLUNG

UND

SEINE ANWENDUNG

AUF

DAS HEUTIGEN PROBLEM

KANON OSUNČAVANJA
ZEMLJE I NJEGOVA
PRIMENA NA PROBLEM
LEDENIH DOBA

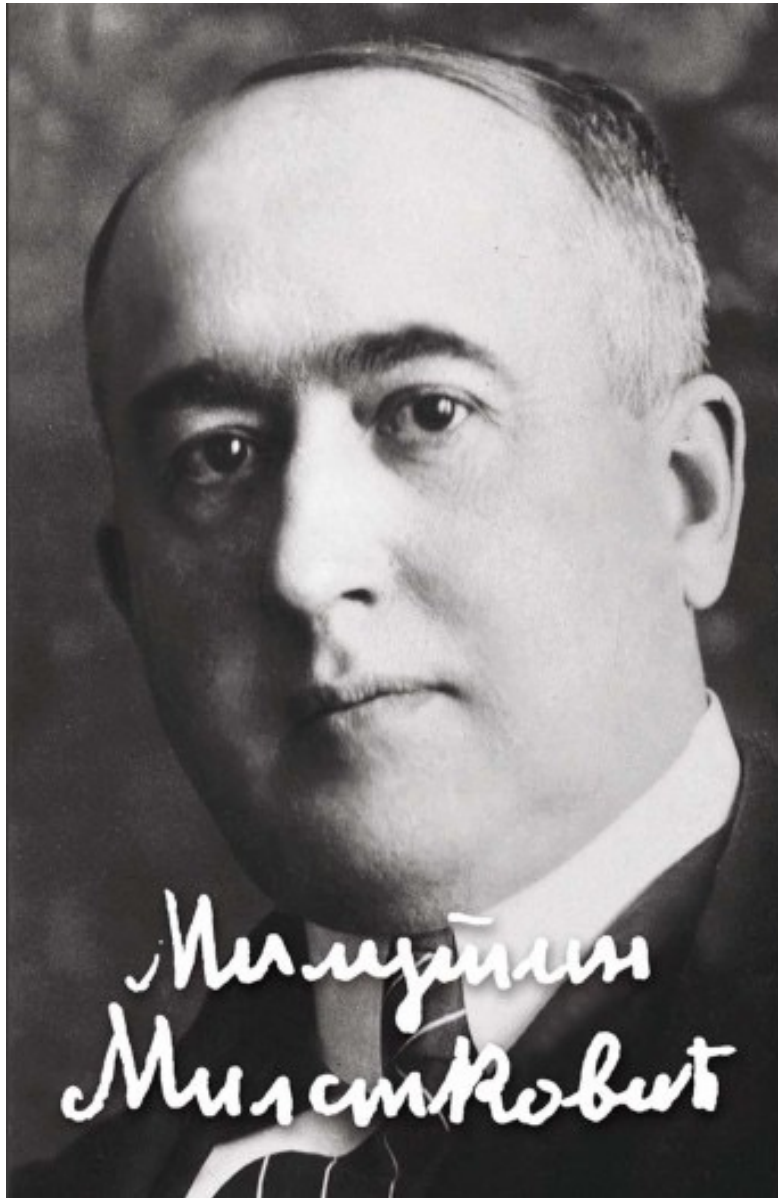
VON

M. MILANKOVITCH

ordentlichem Professor an der Universität in Belgrad, wirklichem Mitgliede

MILUTIN MILANKOVIĆ – BIBLIOGRAFIJA U OVOJ OBLASTI

- 1914: “About the issue of the astronomical theory of ice ages”
- Njegov rad je prekinut Prvim svetskim ratom, međutim nastavio je da radi pod kućnim pritvorom.
- 1919: “Investigation of the climate of the planet Mars”
 - Predviđanja o surovim atmosferskim uslovima na Marsu; klimatski uslovi na Merkuru i Veneri i predviđene temperature na Mesecu bile su okvirno tačne.
- 1920: “Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire” (Mathematical Theory of Heat Phenomena Produced by Solar Radiation)
- 1930: “Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen” (Mathematical Climatology and the Astronomical Theory of Climate Change)
- **1941: Kanon der Erdbestahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem (Kanon osunčavanja zemlje i njegova primena na problem ledenih doba)**



ACADÉMIE YOUGOSLAVE DES SCIENCES ET DES ARTS DE ZAGREB

MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE
DU ROYAUME DES SERBES, CROATES ET SLOVÈNES

THÉORIE MATHÉMATIQUE
DES
PHÉNOMÈNES THERMIQUES

PRODUITS PAR
LA RADIATION SOLAIRE,

PAR

M. MILANKOVITCH,

PROFESSEUR ORDINAIRE DE MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES
À LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE BELGRADE.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET C^o, ÉDITEURS
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 25.

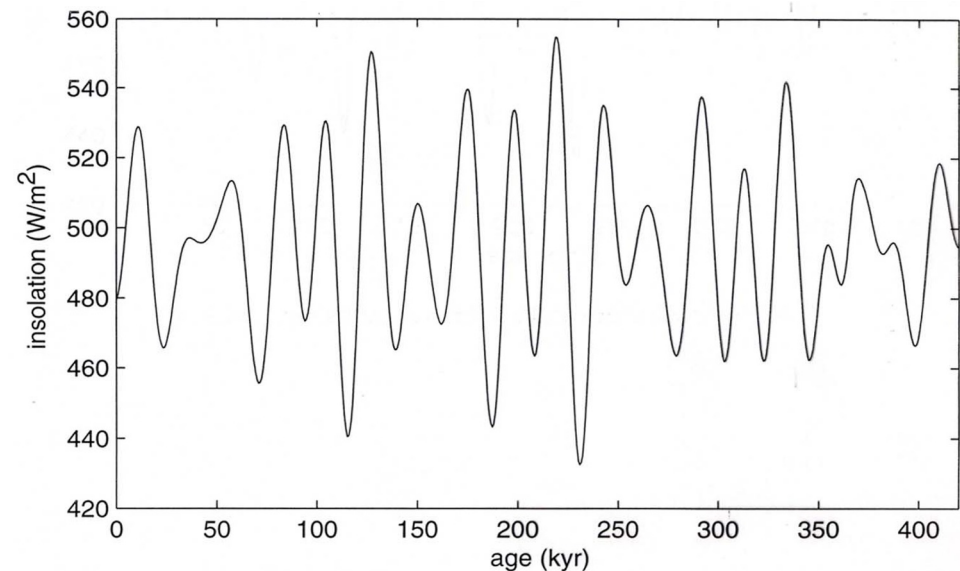
1920

KRIVA SUNČEVOG ZRAČENJA: OSUNČANOST NA 65°N

Ukupna količina sunčevog zračenja na polovima ima veći uticaj na globalnu klimu nego zračenje koje pada na ekvatoru.

→ Kada su polovi bili hladniji, mogle su se formirati veće ledeno ploče. → Veća ledena ploča reflektuje više sunčeve svetlosti sa površine Zemlje, što dovodi do hlađenja klime, stvarajući još veću ledena ploču

Milanković je prepoznao da je ukupna masa ledenih ploča uglavnom određena procesima ablacije: Region oko geografske širine od oko 65 stepeni severno i minimalna osunčanost tokom leta imaju najveći uticaj na napredovanje ledenih ploča i samim tim na cikluse ledenih doba.



Insolation, July 65N.

(e.g., Ice Ages book by Imbrie and Imbrie)

OSUNČANOST ZEMLJE

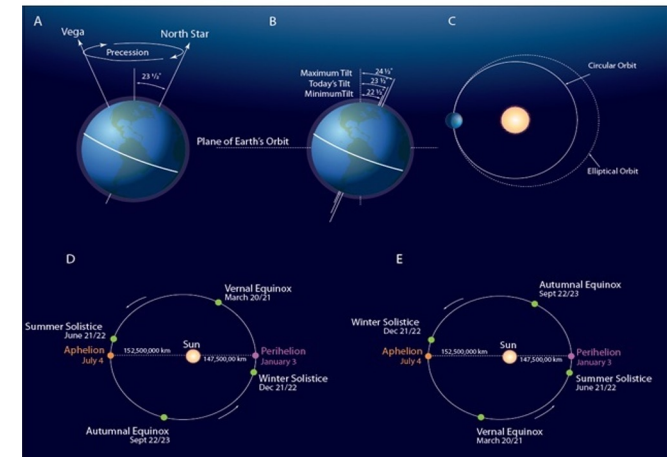
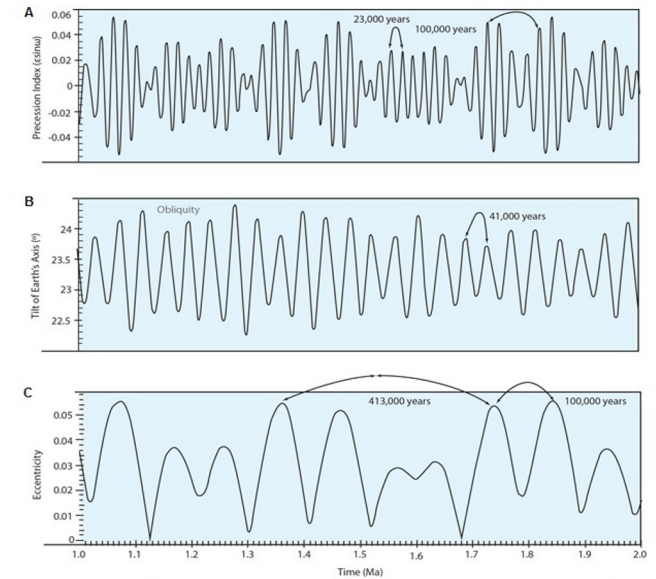
A. Precession and precessional index with a periodicity of ~23,000 years, with the amplitude of the cycles modulated at eccentricity periods of 100,000 years and 413,000 years (“variability packets”).

B. The tilt of the Earth’s axis with a periodicity of 41,000 years.

C. The eccentricity of the Earth’s orbit with periodicities of 100,000 and 413,000 years.

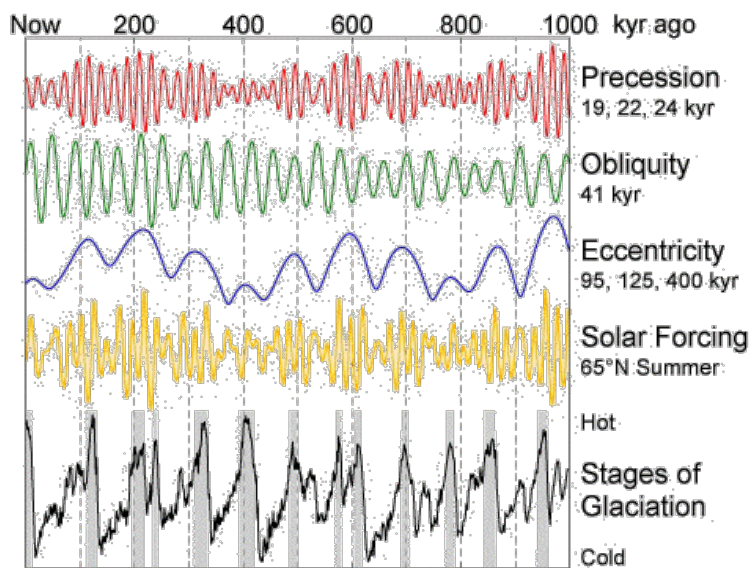
D. Present position of the Earth in its orbit at different times of the year.

E. Position of the Earth in its orbit at different times of year ~11,000 years in the future.



© 2012 **Nature Education** Graph reproduced from Kingston 2005, diagrams a–c reproduced from Lutgens & Tarbuck 2001, d–e reproduced from PhysicalGeography.net. All rights reserved

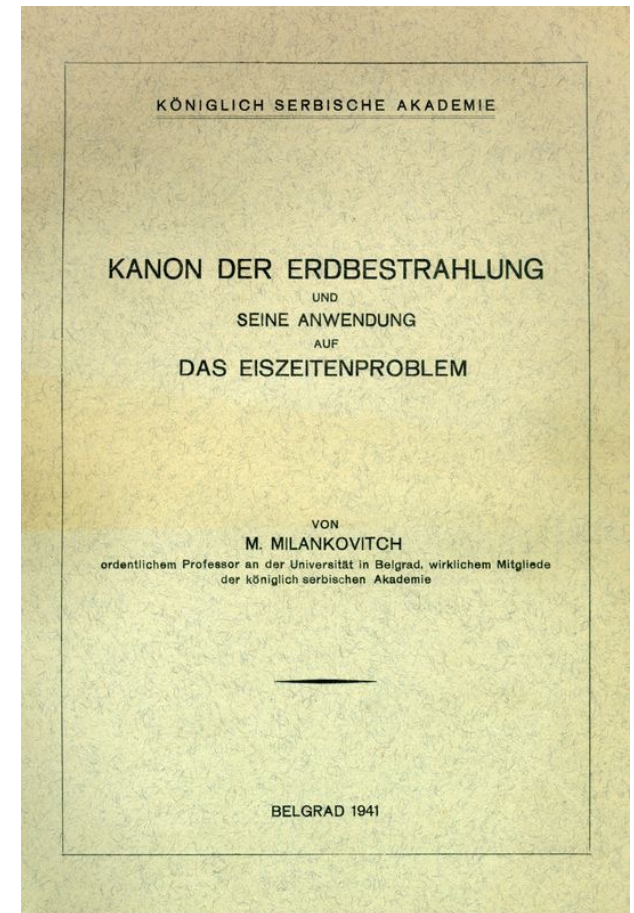
KRIVA SUNČEVOG ZRAČENJA



Milanković je
izračunao cikluse za
600,000 godina.

Ali su bili potrebni
tačno vremenski
određeni geološki
zapisi o ledenim
dobima.

Credit: Pianka UTexas



KASNO PRIZNANJE



Deep-sea sediments: Cycles can be observed in the colouration and resistance of different sediment strata.

Oko 50 godina Milankovićeva teorija je uglavnom bila ignorisana.

1976: istraživanja snimaka visoko-rezolucije sedimenata iz dubokog mora potvrdila su da ledena razdoblja, koja se ogledaju u temperaturama morske vode, precizno prate Milankovićeva predviđanja u poslednjih milion godina (Science, Hays et al. 1976): *“The observed regularity is too great to be explained as a random result”*

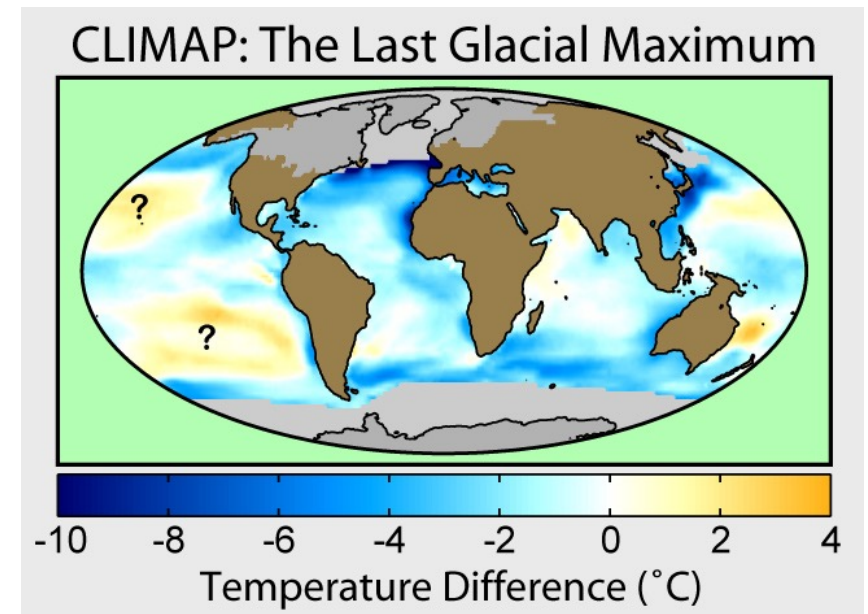
Ledeni periodi su se događali kada je Zemlja prolazila kroz različite faze promena u orbiti.

CLIMAP

“Climate: Long range Investigation, Mapping, and Prediction” (CLIMAP, 1981)

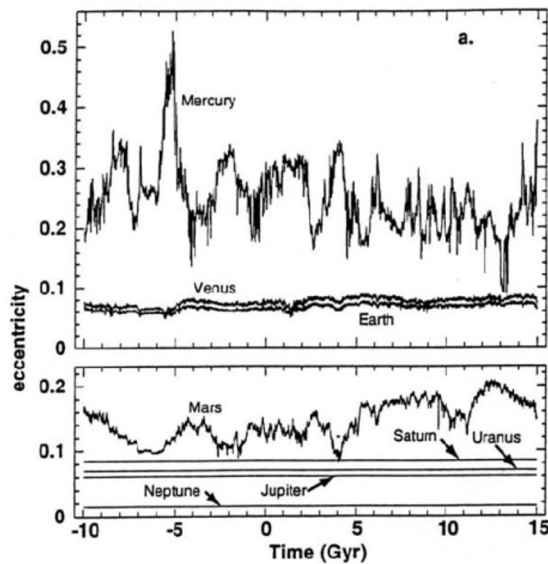
Cilj: rekonstruisati svetsku klimatsku istoriju kroz istraživanja sedimenta dubokog mora.

Posle toga je Američka nacionalna akademija nauka zvanično prihvatila Milankovićev model klimatskih ciklusa, sa zaključkom da: “orbital variations remain the most thoroughly examined mechanism of climatic change” (National Research Council, 1982, p. 7).

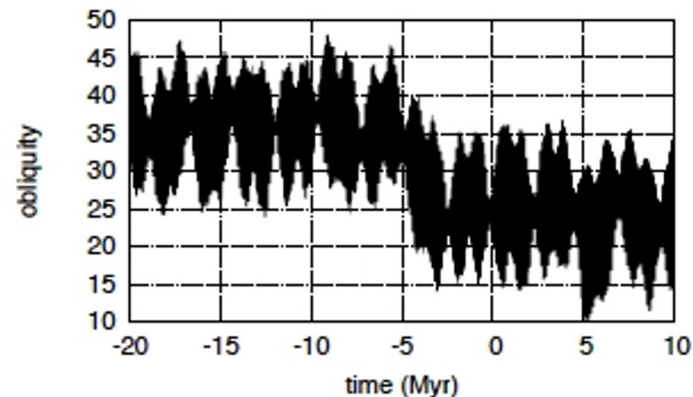


MILANKOVIĆEVI CIKLUSI VAN ZEMLJE

Milankovićeви ciklusi nisu jedinstveni za Zemlju, niti su orbitalne karakteristike solarnog sistema fiksne u vremenu. U unutrašnjem solarnom sistemu, ekscentriciteti planeta pokazuju haotično ponašanje na vremenskim razmerama od milijardu godina.



Numerical Integration describing orbital parameters (10 Byr backward, note this is older than the age of these planets, and 15 Byr forwards). The larger planets behave more regularly. Based on J. Laskar, A&A 287, L9 (1994)



Recent obliquity variation on Mars (-20 Myr to 10 Myr). See Laskar et al (2004)

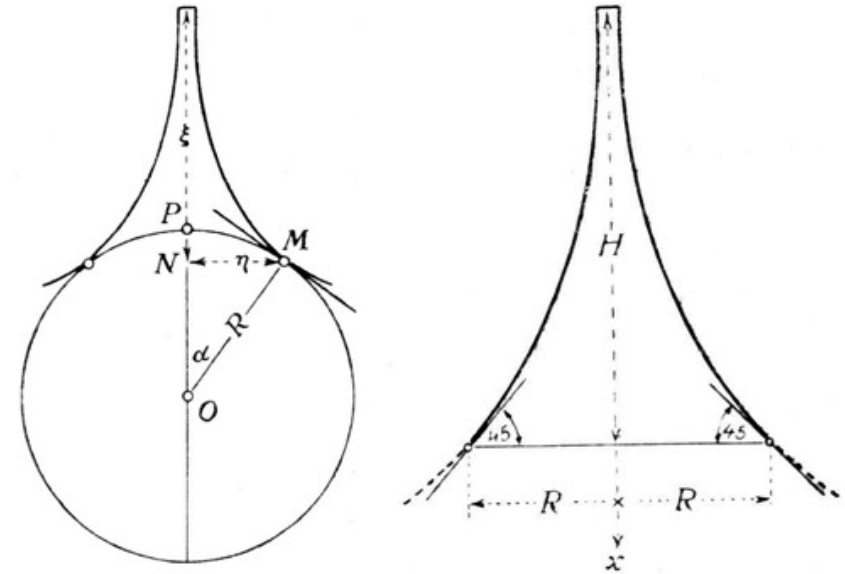
Mars ima nagib ose koji može haotično da se menja između $\sim 0-60^\circ$, što ima ozbiljne posledice za evoluciju klime na Marsu. Milankovićeви ciklusi na Marsu zapravo mogu imati ulogu u redistribuciji leda na globalnom nivou. Konkretno, smatra se da su naslage velike količine leda koja su nedavno pronađena u određenim područjima srednjih geografskih širina Marsa (npr. Holt et al., 2008) morale nastati u vreme kada je klima bila pogodna za glacijaciju na srednjim geografskim širinama.

“APSOLUTNA ZGRADA”

1955: izračunao je da bi najviša moguća zgrada na našem planetu morala biti slična Ajfelovom tornju, sa rotacionom simetrijom i bazom prečnika skoro 113 km, kako bi se uzdizala 20.25 km iznad Zemlje.

Dakle, "modernizovana Vavilonska kula" bi imala razumnu bazu od 2 km za visinu od 13.58 km

Kao materijal u svojim proračunima koristio je beton zbog njegovog stvrdnjavanja tokom vremena, dok gvožđe počinje da rđa; stoga bi najviša zgrada trebala biti napravljena od betona, ojačanog na višim nivoima zbog pritiska vetra.



Original drawings of Milankovitch

LITERATURA

Published scientific and popular books of Milutin Milankovitch all available online through Digital legacy (thanks to University of Belgrade – Faculty of Mathematics <http://legati.matf.bg.ac.rs/milankovic>)

Cvijanovic, I., Lukovic, J. & Begg, J.D. One hundred years of Milanković cycles. *Nat. Geosci.* **13**, 524–525 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0621-2>

Maslin, M. Forty years of linking orbits to ice ages. *Nature* **540**, 208–209 (2016). <https://doi.org/10.1038/540208a>



Milutin Milanković Digitalni legat

Математички факултет Универзитета у Београду
Удружење "Милутин Миланковић"

[Naslovna strana](#) [Prilozi](#) [Dela](#) [Rasprave](#) [Predavanja](#) [Knjige o Milankoviću](#) [Radovi o Milankoviću](#)

LINKOVI

<https://www.advancedsciencenews.com/pioneers-in-science-milutin-milankovic/>

<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/calendars.html#JulianCal>

<https://hgss.copernicus.org/articles/10/235/2019/>

<https://climate.nasa.gov/news/2948/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/>