

Milutin Milanković, putnik kroz vasionu i vekove.

Zoran Knežević

Astronomska opservatorija, Beograd

PMF, Niš, 5. decembar 2008.

J.J. Štrosmajer, Dimitriju Milankoviću:

Lako je vama, Srbima! Vi imate svoju istoriju.

(Sećanja, Dereta 2005, str. 31)

Aktivnosti

- Naučni rad
- Nastava
- Knjige namenjene nastavi
- Popularne knjige
- SANU
- Astronomska opservatorija

Najvažniji doprinosi

- Astronomska teorija klimatskih promena
- Kretanje Zemljinih polova
- Kalendar

Profesor Univerziteta u Beogradu

- 22. septembar 1909. vanredni profesor
- 29. septembar 1919. redovni profesor
- 1926/28 dekan Filozofskog fakulteta
- Racionalna mehanika (od 1920. Anton Bilimovič)
- Nebeska mehanika
- Teorijska fizika (od 1925. Vjačeslav Žardecki)

Knjige namenjene nastavi

- Nebeska mehanika, 1935
- Osnove nebeske mehanike, 1947
- Istorija astronomske nauke od njenih prvih početaka do 1727, 1948
- Astronomska teorija klimatskih promena i njena primena u geofizici, 1948

Popularne knjige

- Kroz vasionu i vekove, 1928
- Kroz carstvo nauke, 1950
- Uspomene, doživljaji i saznanja, 1956

SANU

- 16. februar 1920. dopisni član
- 18. februar 1924. redovni (pravi) član
- 7. mart 1925. pristupna beseda “Kalendar Zemljine prošlosti”
- 1948. potpredsednik SANU

Astronomska opservatorija

- Direktor 1948-1951

Astronomska teorija klimatskih promena

Istorijat astronomske teorije klimatskih promena; preteče Milankovića

- **Lagrange 1781,1782**, sekularne promene Zemljinih putanjskih elemenata
- **Pontécoulant 1834; Leverrier 1850, 1856; Stockwell 1873; Harzer 1895; Hill 1897**;, ibid;
- **Agassiz 1840**, geološki dokazi o ledenim dobima, potraga za geološko-astronomskim korelacijama;
- **Adhémar 1842**, uzrok klimatskih promena precesija Zemljine ose rotacije
- **Croll 1890**, promene ekscentričnosti Zemljine putanje takodje važne za razumevanje promena klime
- **Pilgrim 1904**, promene nagiba Zemljine ose rotacije zbog sekularnih promena putanje
- **Milanković 1912–1941**

“Since then, the understanding of the climate response to the orbital forcing has evolved, but all the necessary ingredients for the insolation computations were present in Milankovitch’s work”

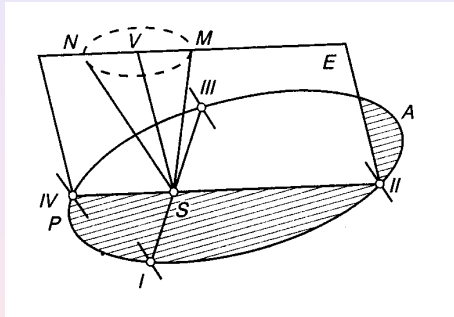
Laskar et al. 2004

Astronomska teorija klimatskih promena

Istorijat astronomske teorije klimatskih promena; posle Milankovića

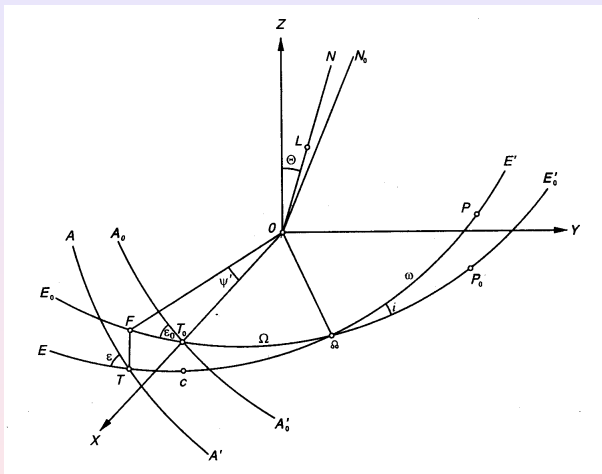
- **Soergel, Köppen, Wegener, Devaux, ...**; savremenici
- **Brouwer&Van Woerkom 1950**, LeVerrier+Hill
- **Sharaf & Boudnikova 1967a,b**; parametri osunčavanja
- **Vernekar 1972** → **Hays et al. 1976**, korelacija astronomskih parametara i promena klime dokazana;
- **Bretagnon 1974** → **Berger 1978**, precesija i parametri osunčavanja prema S&B
- **Berger, Imbrie, 1982** Simpozijum "Milankovich and Climate", Columbia University, SAD, Milanković prvi otkrio glavne uzroke klimatskih promena
- **Laskar 1984,1985,1986, 1988; Laskar et al. 2004**, sekularne promene Zemljine putanje, parametri osunčavanja za 10 miliona godina, 50 miliona godina tačno; 500 miliona godina približno

Naučni rad: Astronomska teorija klimatskih promena



Ekscentričnost
Zemljine putanje,
precesija i nagib
Zemljine ose rotacije
→ osunčavanje.

Naučni rad: Astronomska teorija klimatskih promena



Naučni rad: Astronomska teorija klimatskih promena

Table VIII

Secular variations of the elements Π_γ , e , ϵ according to Stockwell-Pilgrim

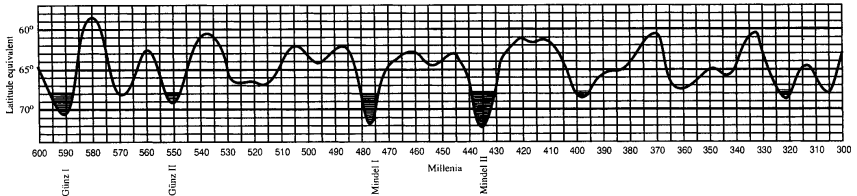
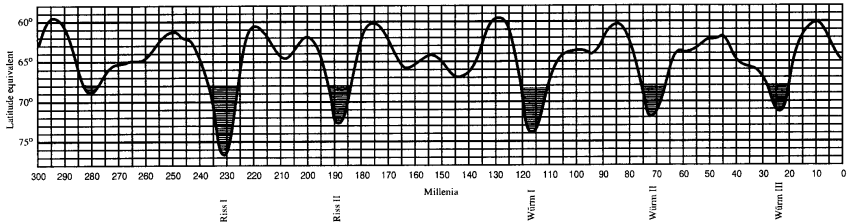
Millenia before 1850	Π_γ	e	ϵ	Millenia before 1850	Π_γ	e	ϵ
1000	145° 36'	0.0150	22° 37'	905	131° 48'	0.0378	23° 41'
995	248° 6'	0.0095	23° 3'	900	214° 12'	0.0291	24° 7'
994.2	270°	0.0084	23° 9'	896.5	270°	0.0226	24° 3'
990	21° 30'	0.0059	23° 36'	895	294° 48'	0.0196	23° 54'
987.2	90°	0.0069	23° 46'	890	7° 30'	0.0099	23° 28'
985	145° 36'	0.0093	23° 53'	885	8° 12'	0.0043	23° 0'
980	263°	0.0156	23° 55'	880	44° 24'	0.0127	22° 40'
979.6	270°	0.0161	23° 53'	876.9	90°	0.0182	22° 42'
975	358° 12'	0.0228	23° 30'	875	117° 30'	0.0216	22° 49'
970	85° 24'	0.0305	23° 0'	870	206° 54'	0.0321	23° 8'
969.7	90°	0.0308	22° 59'	866.2	270°	0.0387	23° 22'
965	174° 54'	0.0377	22° 43'	865	290° 54'	0.0409	23° 27'
960	263° 30'	0.0444	22° 39'	860	15° 42'	0.0486	23° 40'
959.6	270°	0.0448	22° 40'	855.6	90°	0.0542	23° 39'
955	351° 30'	0.0504	22° 59'	855	100° 18'	0.0550	23° 38'
950	78° 18'	0.0554	23° 25'	850	185° 18'	0.0600	23° 28'
949.3	90°	0.0559	23° 29'	845.1	270°	0.0634	23° 11'
945	162° 48'	0.0592	23° 49'	845	271°	0.0635	23° 11'
940	247°	0.0617	24° 2'	840	357° 18'	0.0653	22° 57'

Naučni rad: Astronomska teorija klimatskih promena

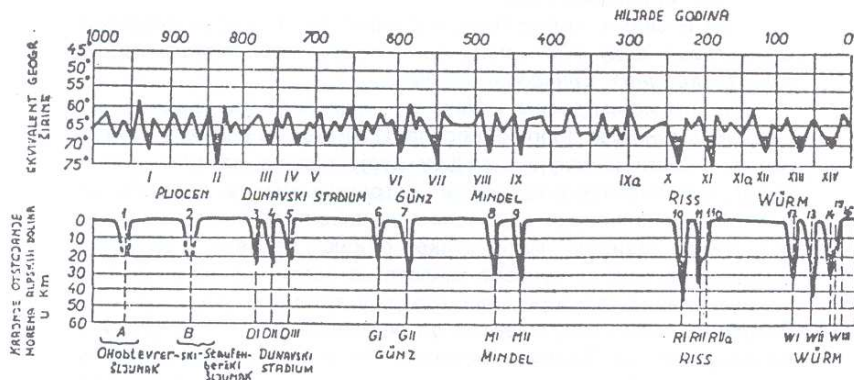
Secular variations of the elements $\Delta\varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_0$; $\Delta(e \sin \Pi_\gamma) = e \sin \Pi_\gamma - e_0 \sin \Pi_\gamma^0$
according to Leverrier-Mišković

Millenia before 1850	$\Delta\varepsilon$	$\Delta(e \sin \Pi_\gamma)$	Millenia before 1850	$\Delta\varepsilon$	$\Delta(e \sin \Pi_\gamma)$
	°			°	
600	-1.065	-0.0431	497.1	+0.405	+0.0071
595	-1.108	-0.0145	495	+0.347	+0.0054
590.3	-0.718	+0.0202	490	-0.095	-0.0294
590	-0.693	+0.0204	486.1	-0.480	-0.0514
585	+0.252	+0.0165	485	-0.588	-0.0516
580	+0.637	-0.0598	480	-0.902	-0.0078
579.7	+0.627	-0.0601	475.6	-0.792	+0.0228
575	+0.483	-0.0231	475	-0.773	+0.0223
570	+0.060	+0.0301	470	-0.468	-0.0198
569.4	-0.007	+0.0308	465.4	-0.177	-0.0571
565	-0.495	-0.0053	465	-0.152	-0.0567
560	-0.842	-0.0605	460	+0.422	-0.0080
559.0	-0.835	-0.0615	455	+0.682	+0.0208
555	-0.812	-0.0314	454.8	+0.658	+0.0208
550	-0.472	+0.0192	450	+0.083	-0.0053
548.6	-0.368	+0.0212	445	-0.572	-0.0458
545	-0.170	-0.0001	444.0	-0.772	-0.0465
540	+0.187	-0.0403	440	-1.072	-0.0282
537.8	+0.298	-0.0426	435	-1.332	+0.0049
535	+0.442	-0.0324	433.6	-1.275	+0.0052
530	-0.083	-0.0072	430	-0.915	-0.0089
525.2	-0.552	-0.0056	425	-0.028	-0.0001

Naučni rad: Astronomska teorija klimatskih promena



Naučni rad: Astronomska teorija klimatskih promena



Astronomska teorija klimatskih promena

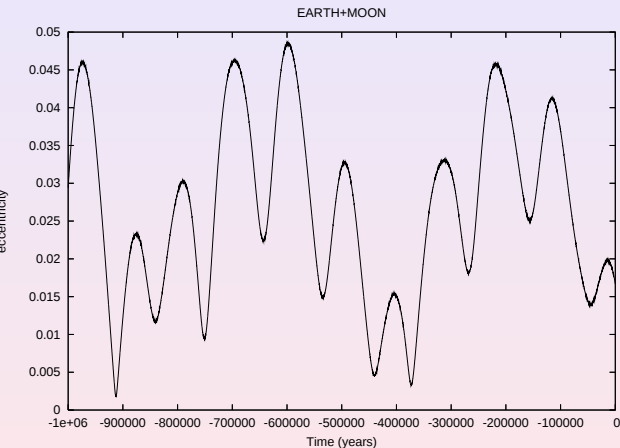
Mase velikih planeta

Planeta	Le Verrier	Milanković	JPL
Merkur	1,909,706	6,000,000	6,023,600
Venera	401,939	408,000	408,523.71
Zemlja+Mesec	356,354	329,390	328,900.56
Mars	2,680,337	3,093,500	3,098,708
Jupiter	1,050	1,047	1,047.3486
Saturn	3,512	3,501	3,497.898
Uran	17,918	22,869	22,902.98
Neptun	14,400	19,380	19,412.24

Konstanta precesije ["/god]

Milanković	IERS2000	Laskar et al.
50.3684	50.290966	50.467718

Astronomska teorija klimatskih promena danas

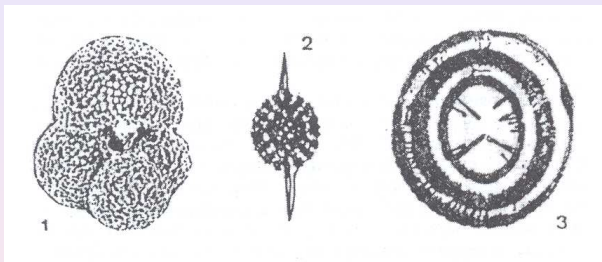


Promene
ekcentričnosti
baricentra sistema
Zemlja+Mesec u
periodu od milion
godina. Tabela VIII
Kanona: **amplituda,**
korak

Dokazi:

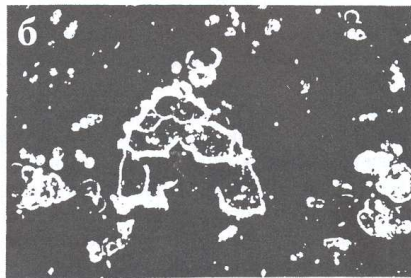
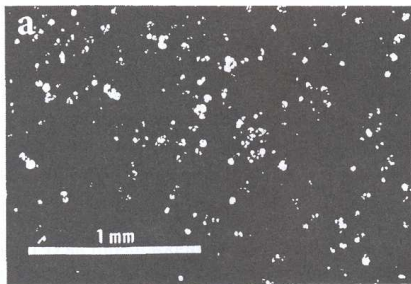
- **Emiliani 1955;** $^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \rightarrow$ temperatura morske vode
- **Ericson, 1956/63;** foraminifera *Globorotalia menardii*
- **CLIMAP, 1971:**
- Indijski okean: dve bušotine, 500000 godina, 1-3 cm za milenijum
- izotopsko proučavanje ljušturica foraminifere *Globigerina bulloides*
- zastupljenost radiolarije *Cycladophora dovisiana*, posebno dobar indikator klimatskih promena
- zastupljenost kakolitske vrste *Pseudoemiliana lacunosa* i radiolarije *Stylatractus universus*
- koralni sprudovi i abrazione terase Barbadosa, Nove Gvineje, Havaja $\rightarrow$ kolebanja nivoa mora

Astronomska teorija klimatskih promena



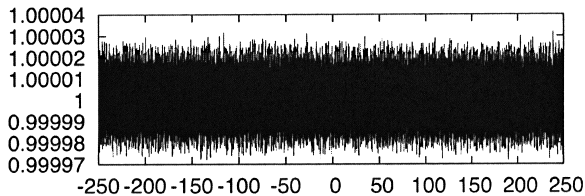
1. foraminifer 2. radiolarija 3. kokolit nanoplanktona

Astronomska teorija klimatskih promena



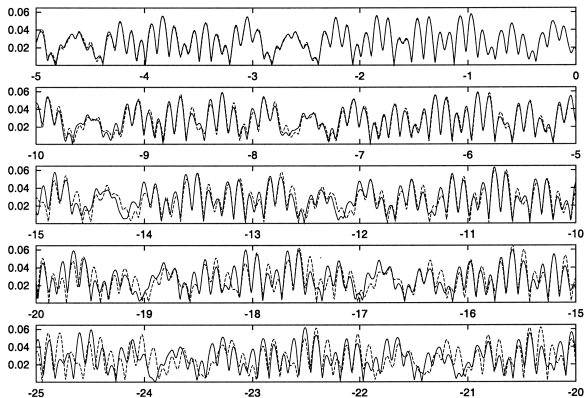
Zastupljenost
foraminifera u
slojevima krečnjaka
ispod i iznad K-T
granice

Astronomska teorija klimatskih promena danas



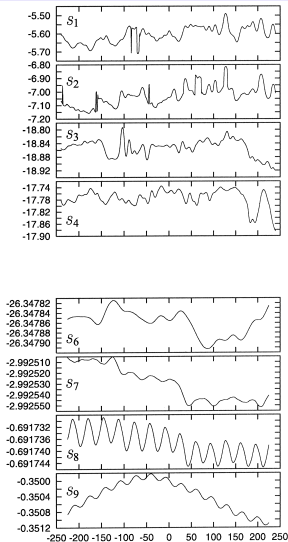
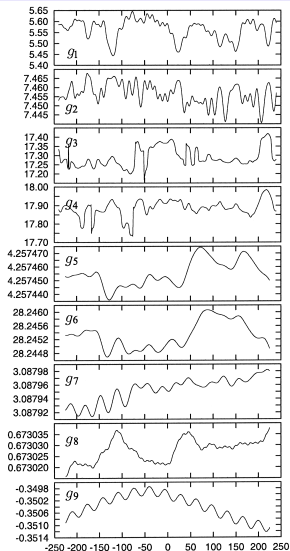
Velika poluosa
Zemljine putanje u
periodu od 500 miliona
godina.

Astronomska teorija klimatskih promena danas



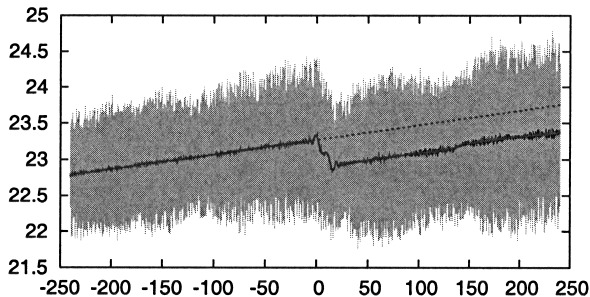
Ekscentričnost
Zemljine putanje u
periodu od 25 miliona
godina.

Astronomska teorija klimatskih promena danas



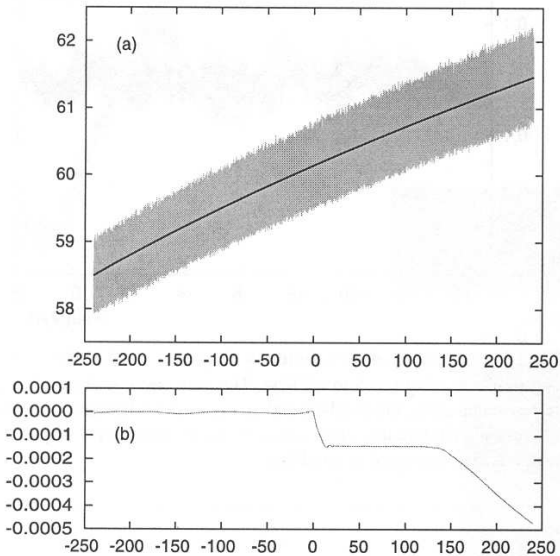
Frekvencije longitude perihela i longitude čvora velikih planeta u periodu od 500 miliona godina.

Astronomska teorija klimatskih promena danas



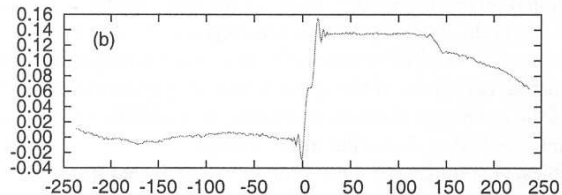
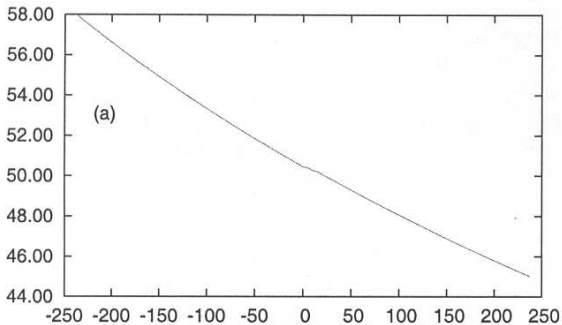
Nagib Zemljine ose rotacije u periodu od 500 miliona godina.

Astronomska teorija klimatskih promena danas



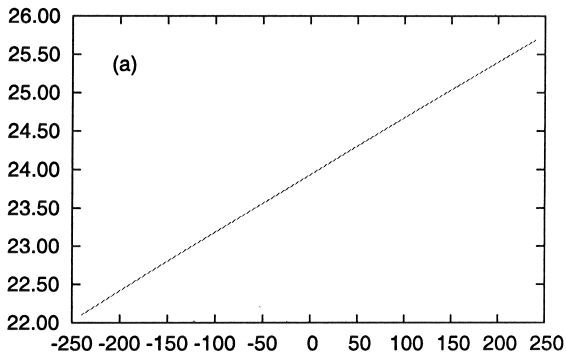
Promena rastojanja
Zemlje i Meseca u
periodu od 500 miliona
godina.

Astronomska teorija klimatskih promena danas



Promena precesione
frekvencije u periodu
od 500 miliona godina.

Astronomska teorija klimatskih promena danas



Promena dužine
trajanja dana u periodu
od 500 miliona godina.

Astronomska teorija klimatskih promena sutra

Izvori netačnosti teorije kretanja planeta i vreme važenja rešenja

Ograničavajući činilac	T [Mgod]
Netačnost masa i početnih uslova	38
Doprinos galileanskih satelita Jupitera	35
Netačnosti evolucije sistema Zemlja-Mesec	40
Uticaj velikih asteroida	32
Gubljenje mase Sunca	50
Netačnost od 2×10^{-7} za J_2 Sunca	26
Haotična evolucija Zemljine putanje	65

1605 Milankovitch

element	veličina	greška
a (AJ)	3.0124	2.199e-08
e	0.078954	7.626e-08
I (stepen)	10.568	1.122e-05
Ω (stepen)	173.915	4.609e-05
$\tilde{\omega}$ (stepen)	279.071	8.645e-05
M (stepen)	26.707	7.2e-05
Apsolutna magnituda	10.196	
Prečnik (km)	55	
MOID (AJ)	1.81622	
Orbitalni period (dan)	1909.71	