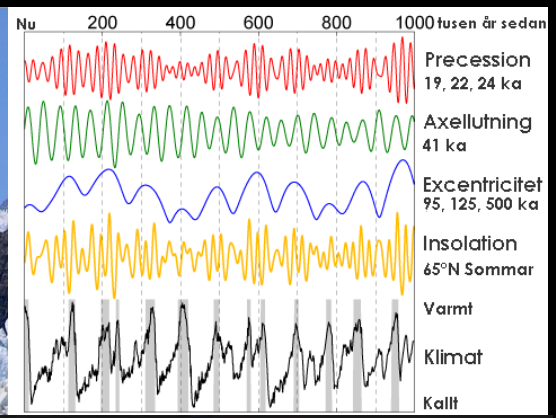
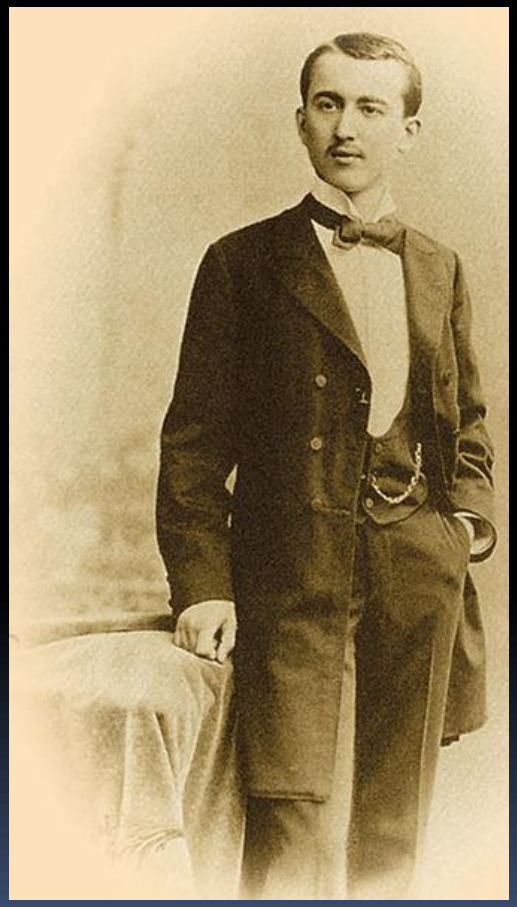


Tom Reidar Henriksen (TAF)

MILANKOVIĆ-SYKLENE

Milutin Milanković

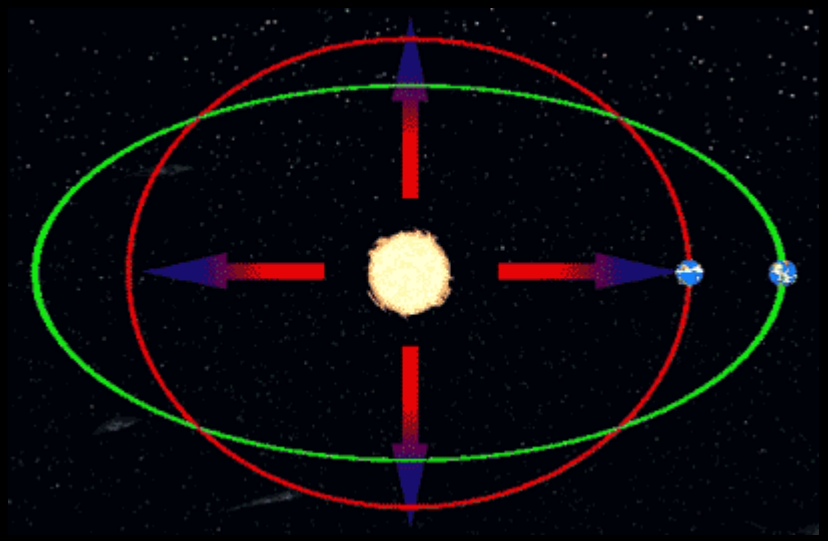
- Serbisk byggingeniør og geofysiker
- F. 1879 i Dalj, Kroatia, d. 1958 i Beograd
- Utdannelse: Technische Universität Wien 1896 – 1902 (byggingeniør)
- 1902-1909: bygget demninger, broer, viadukter og akvedukter i Østerrike-Ungarn
- 1909: Professorat i anvendt matematikk i Beograd
- Fra 1912 interesserte han seg for klima
- 1920: "*Mathematical theory of thermic phenomena caused by solar radiations*" . Fikk godt rykte.
- 1924: Hans kurve om solinnstråling ble tatt med i Köppen-Wegeners: "*Climates of the geological past*". Gjennombrudd.
- Hans største verk: "*Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*" på 626 sider, fullført 1941



Milanković-syklene

- Sykliske endringer i Jordens bane og rotasjonsakse, forårsaket av Sola, Månen og de andre planetenes gravitasjonelle påvirkning
- Endringer i Jordens bane
  - Eksentrisitet
  - (Apsidial presesjon)
  - (Inklinasjon)
- Endringer i Jordens rotasjonsakse
  - Presesjon
  - Oblikvitet
  - (Polvandring)

Eksentrisitet

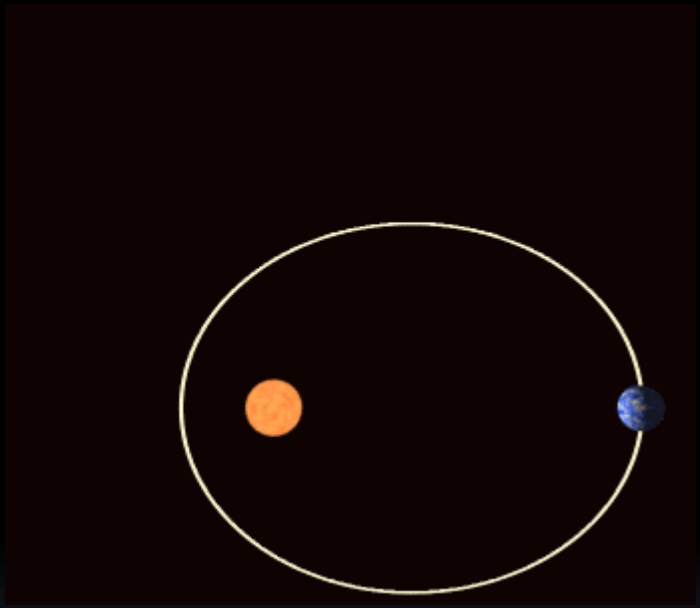


- Minimum: e = 0,005
- Maksimum: e = 0,058
- Nå: e = 0,017

- Hovedsyklus:
  413.000 år (e: +/- 0,012)

- Syklus: 95.000 år
- Syklus: 125.000 år
- Kombinerer løst til ca. 100.000 år (e: -0,03/+0,02)

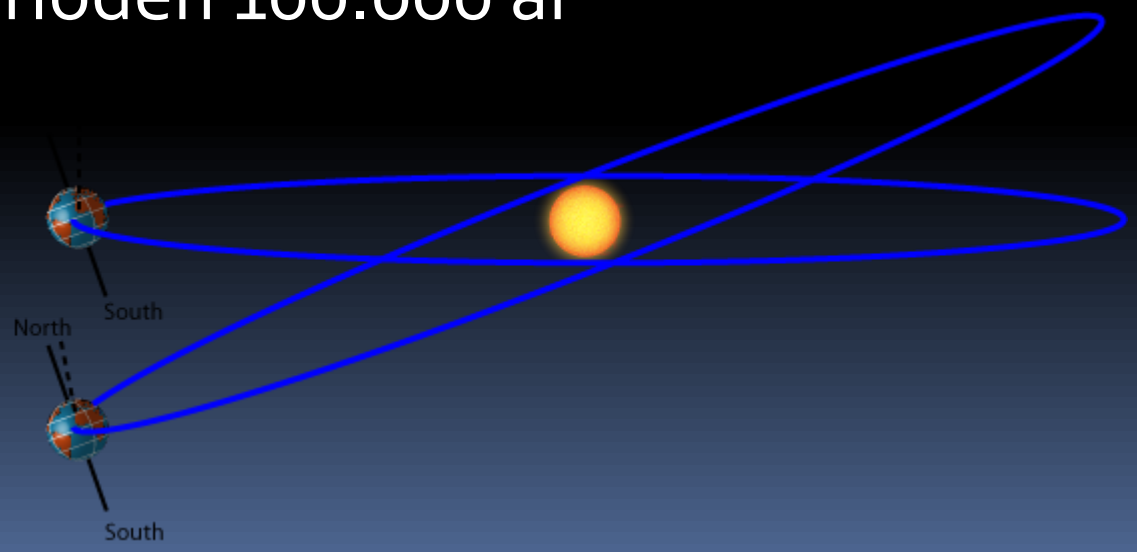
Apsidial presesjon



- Selve jordbanen roterer
- Gravitasjonell påvirkning fra andre planeter
- Pluss et lite bidrag fra generell relativitetsteori:
  - *Frame dragging*
  - Sola snurrer rundt selve verdensrommet i nærheten av seg selv
- Periode: 134.000 år

Inklinasjon av baneplan

- Jordas bane vipper også opp og ned
- Perioden er ca. 70.000 år mhp. jordas nåværende inklinasjon
- I forhold Solsystemets gj.snitts plan er perioden 100.000 år



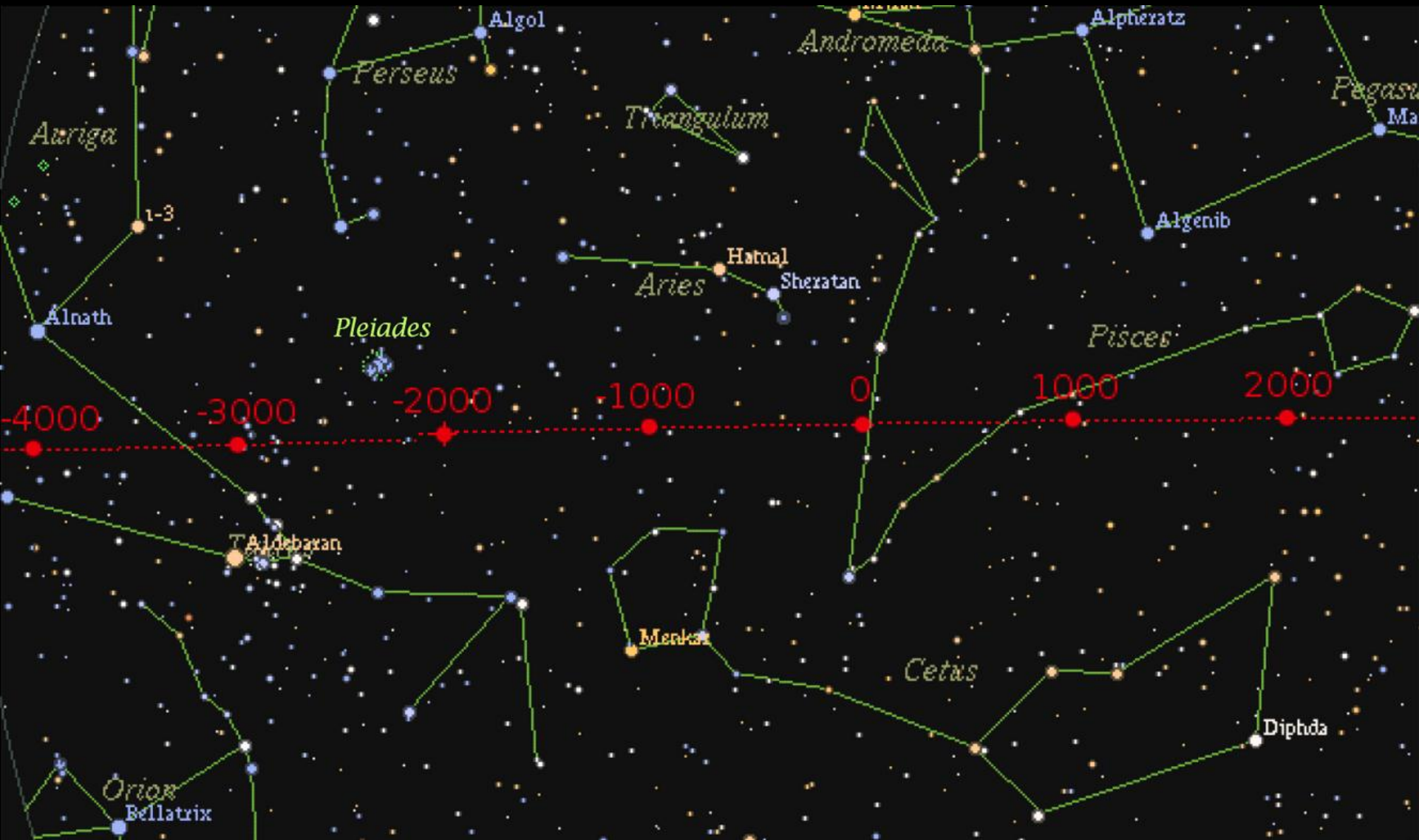
Presesjon

- Jordaksen vingler som en snurrebass
- Periode: 25.771 år
- Modulasjon med apsidial presesjon:
  - syklus på ca. 21.600 år
- Modulasjon med eksentrisitet:
  - Solinnstråling splittes i perioder på ca. 23.000 år og 19.000 år pga. varierende elliptisk baneform

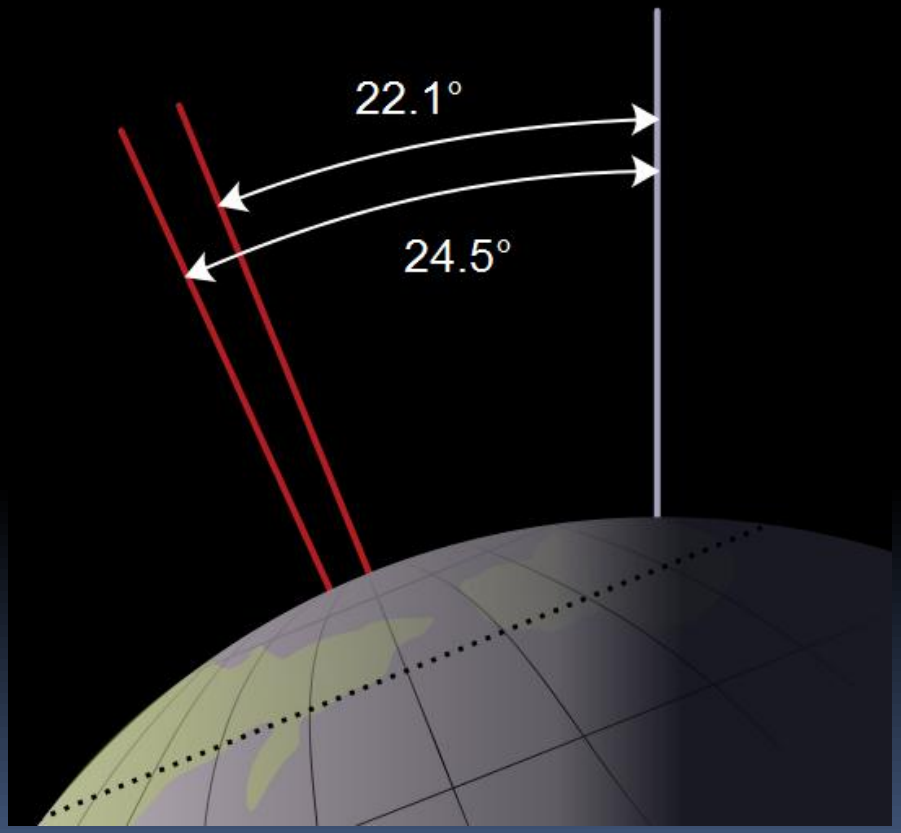
Polpunktets vandring

- I det gamle Egypt var Thuban polstjerne
- Kulturelle og religiøse bygg var orientert etter datidens stjernehimmel

Vårjevndøgnpunktets vandring



Oblikvitet - aksehelning



- Min: 22° 02′ 33″
- Maks: 24° 30′ 16″
- Nå: 23° 26′ 21″
- Tendens: Synkende

- Periode: 41.040 år
- Amplituden varierer

Tallenes nøyaktighet

- Numeriske modeller er brukt i simulasjoner av Solsystemet
- Blir bare så nøyaktige som modellene er
- Studier av orientasjonen til kulturelle og religiøse byggverk gir avvik fra modellen for jordaksens helning
  - Jfr. min artikkel om Amon-Ra templet i Corona
- Kan dette skyldes ukjente kortsiktige svingninger/ekstraordinære hendelser?

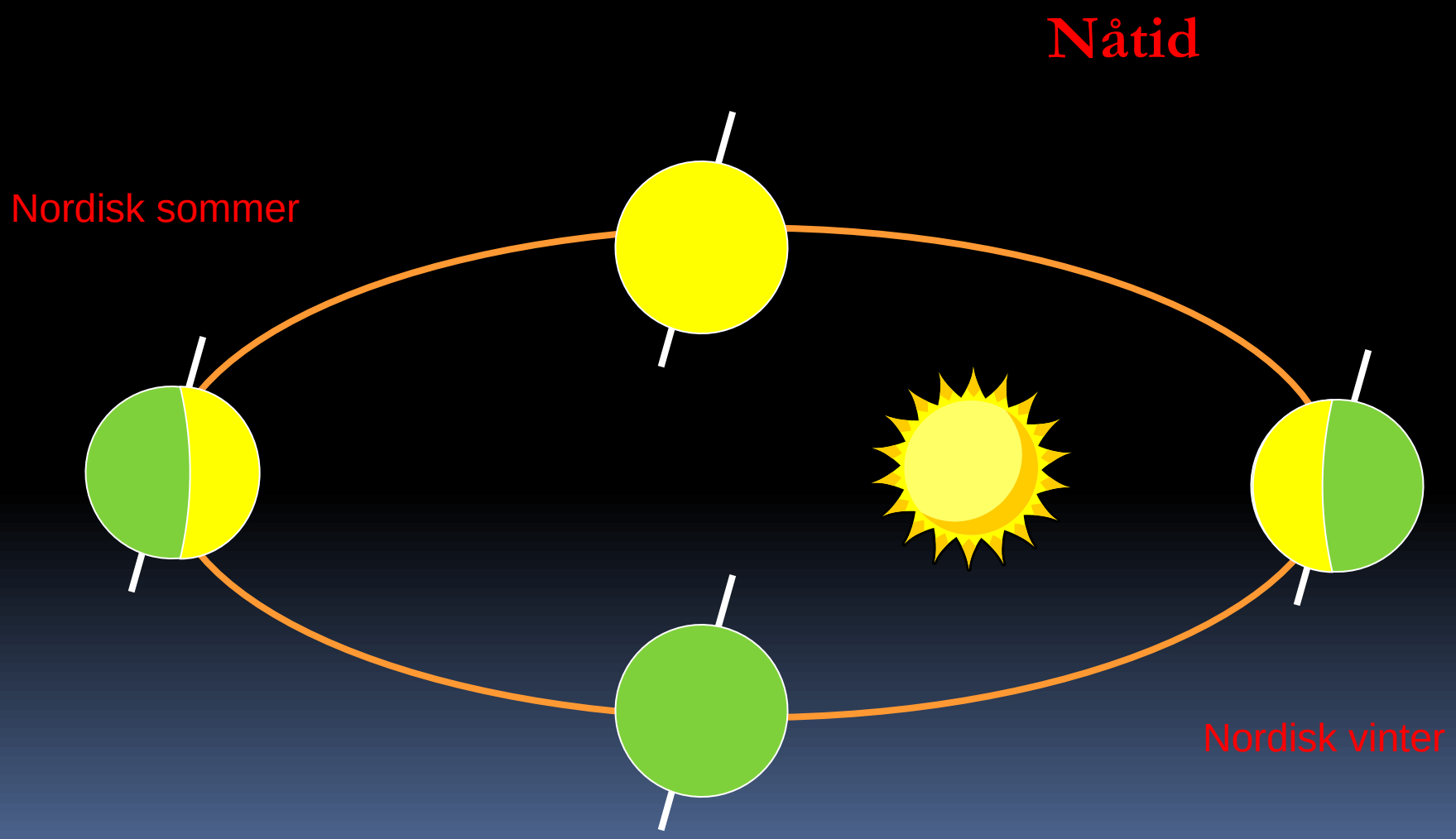
Polvandring

- Kortsiktige endringer av polpunktets posisjon
- Årlig vingling
- Chandler wobble
  - +/- 9 meter forflytning over 433 dagers periode
- Usikre komponenter med større periode
- Kan skyldes endringer i kjernen og mantelen, samt store forflytninger av masse på overflaten (issmelting, jordskjelv)
- *Tilsynelatende* polvandring
  - Skyldes jordplatenes bevegelse

Kobling til klima

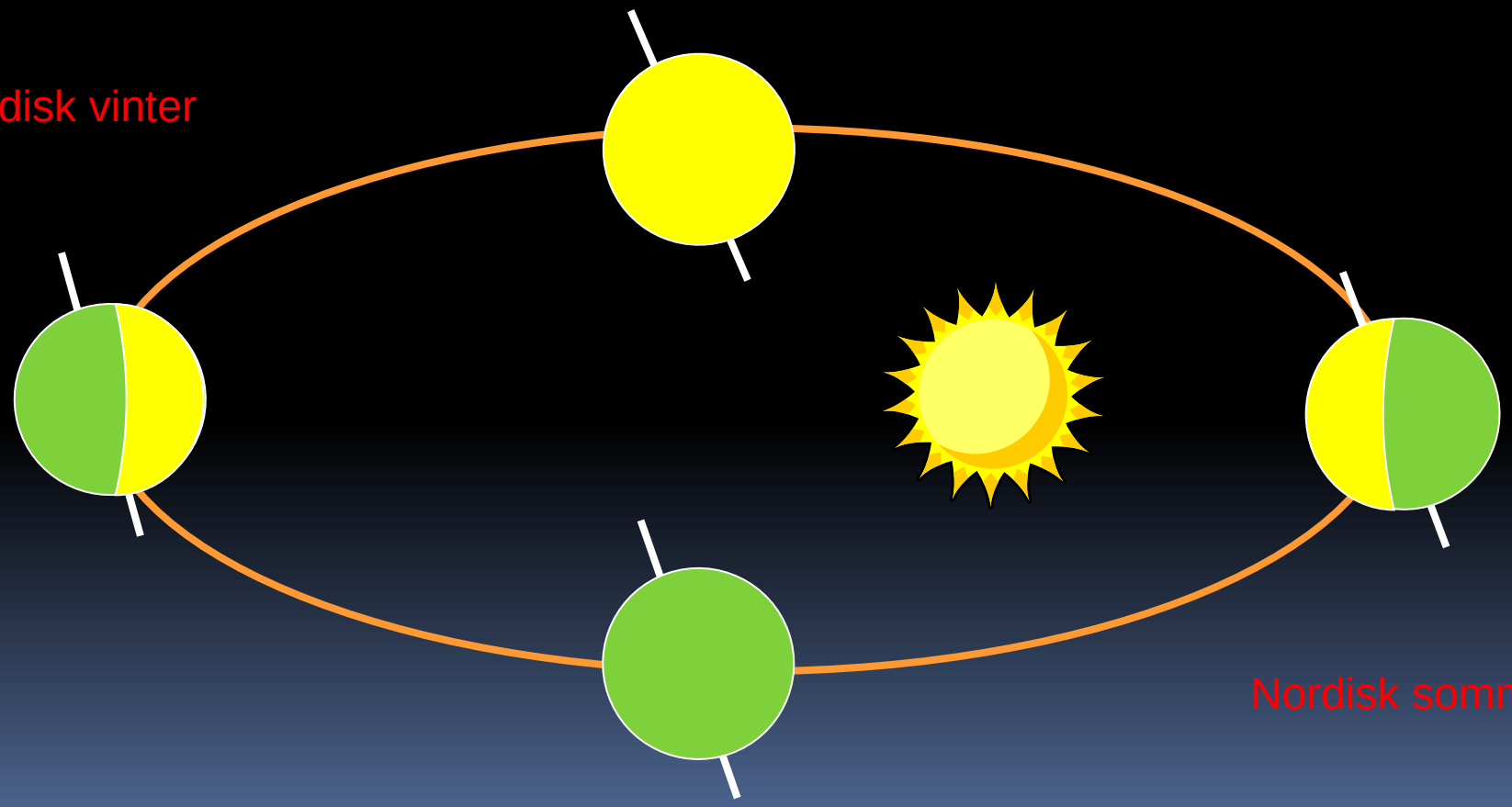
- Milanković-syklene er interessante i seg selv rent astronomisk sett
- I vår tid er klima uhyre dagsaktuelt
- Milanković-syklene forklarer de langperiodiske, naturlige klimavariasjonene
- I tillegg bidrar Sola og dens sykluser
  - To tidligere TAF-foredrag over temaet
  - Solas effekt på klimaet er fremdeles usikker

Presesjonens innflytelse



Presesjonens innflytelse

Om 11000 år



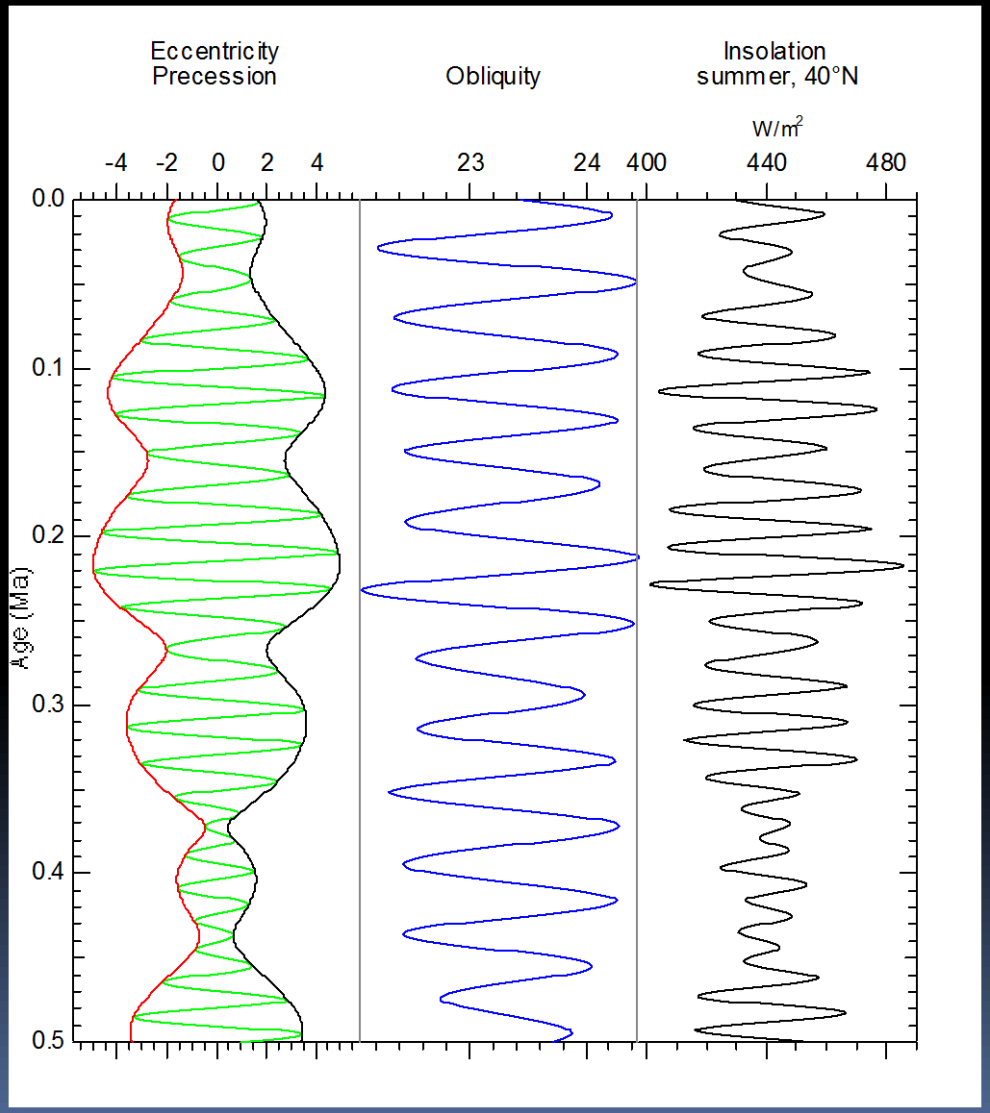
Presesjonens innflytelse

- Når Jorda er nærmest Sola øker innstrålingen av solenergi.
- Da er det sommer på sørlige halvkule
  - For det meste hav, reflekterer mer sollys
  - Mindre sesongvariasjoner
- Om 11.000 år
  - Motsatt situasjon, større sesongvariasjoner

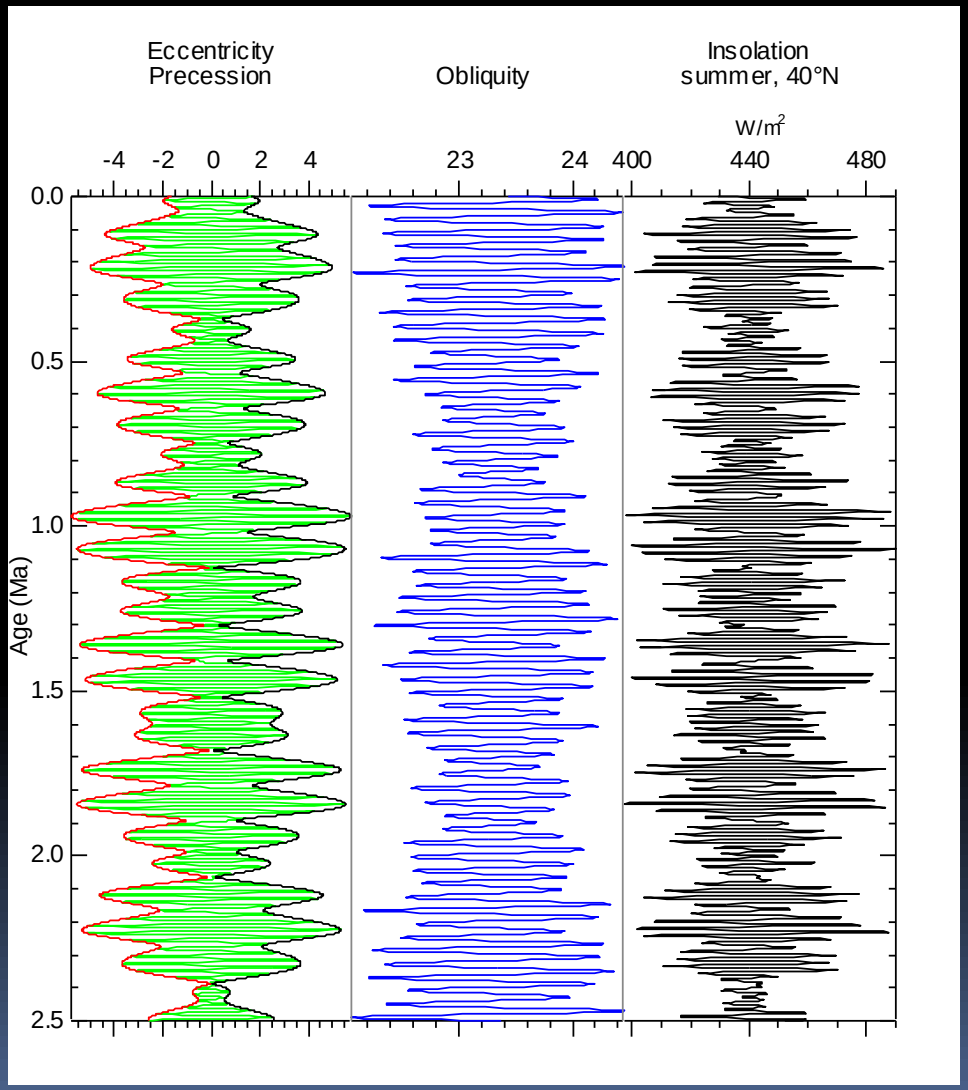
Eksentrisitet, obliktivitet

- Større eksentrisitet
  - $\longrightarrow$ Sterkere solinnstråling ved perihel
  - $\longrightarrow$ Svakere solinnstråling ved aphel
- Lavere obliktivitet (aksehelning)
  - $\longrightarrow$ Polområdene får mindre solinnstråling
  - $\longrightarrow$ Kaldere polområder, varmere ved ekvator
- Alle kombinasjoner finnes
  - Varierende solinnstråling!
  - I et "kaotisk" mønster

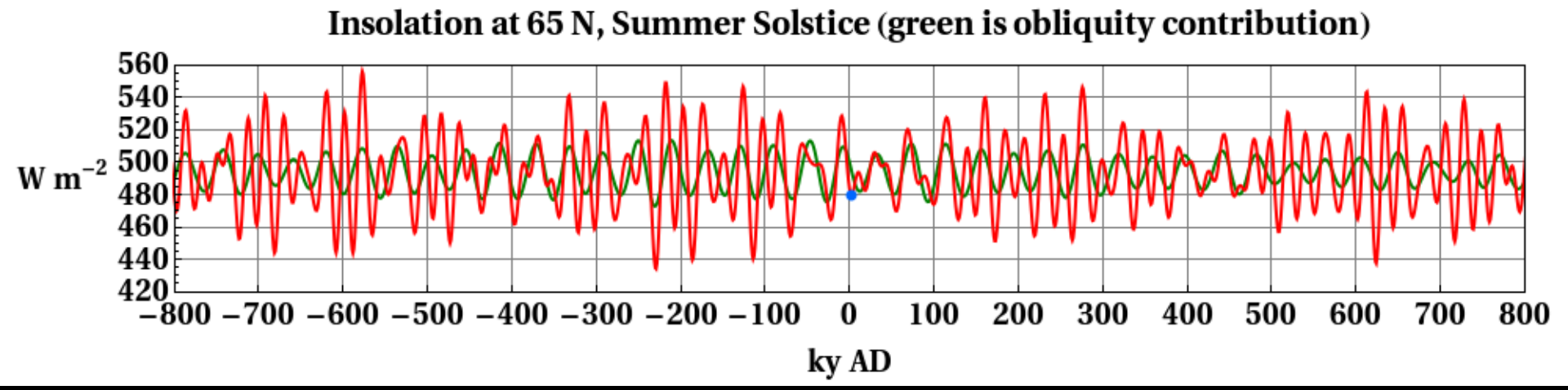
Solinnstråling v/40ºN



Solinnstråling v/40ºN

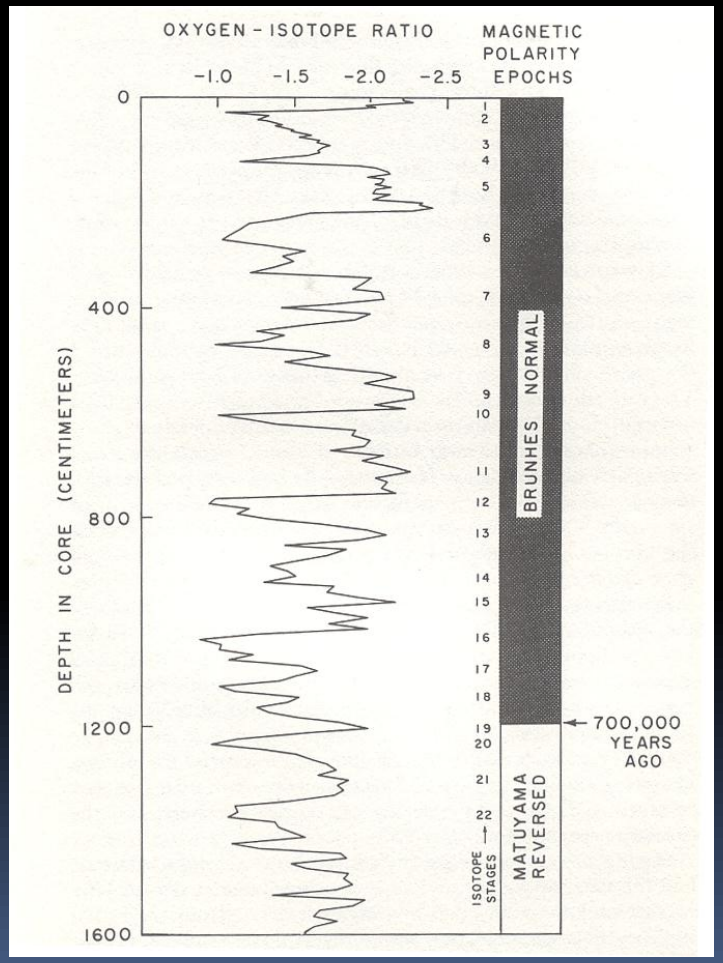


Solinnstråling v/65ºN



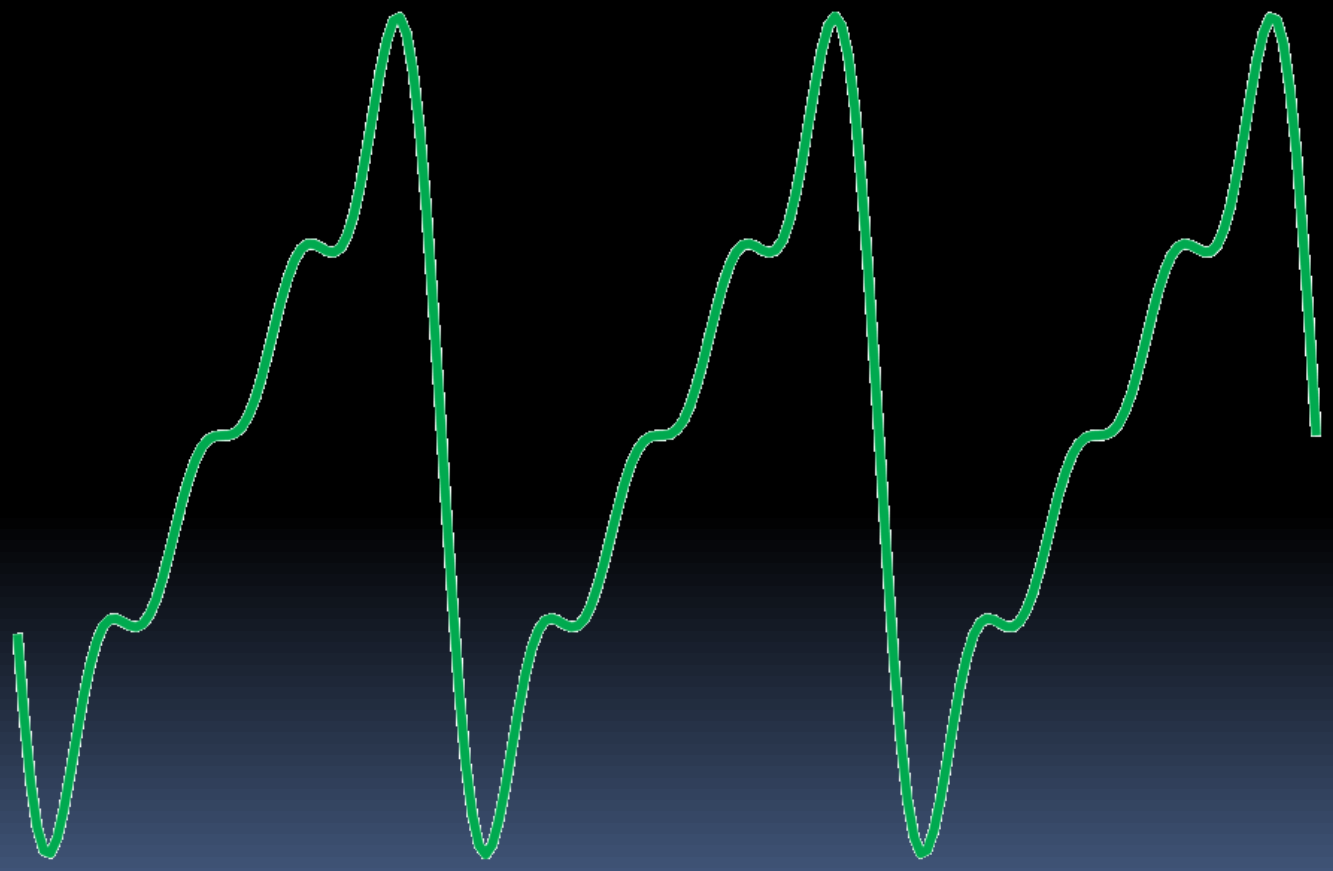
Hvordan finne bevis for syklene i klimadata?

- Eks: Kalkavleiringer av fossile foraminiferer (encellede skalldyr)
- Regn/snø har lavere ^{18}O /^{16}O. Fordampning i havene øker ^{18}O.
- Lite ^{18}O i kalde strøk
- ^{18}O/ ^{16}O blir et mål på klima, høyt ^{18}O betyr varmt klima

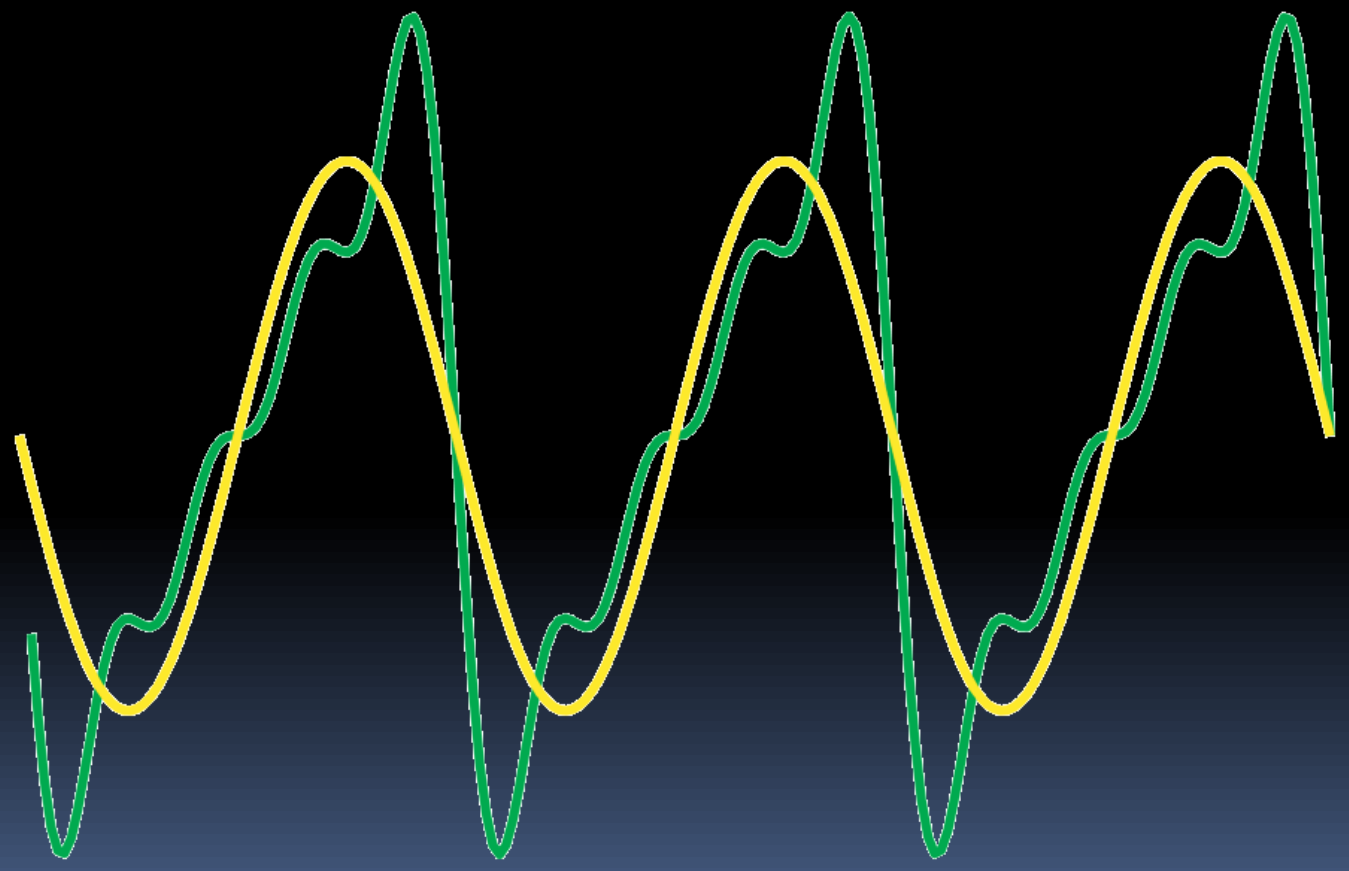


[Imbrie & Imbrie 79]

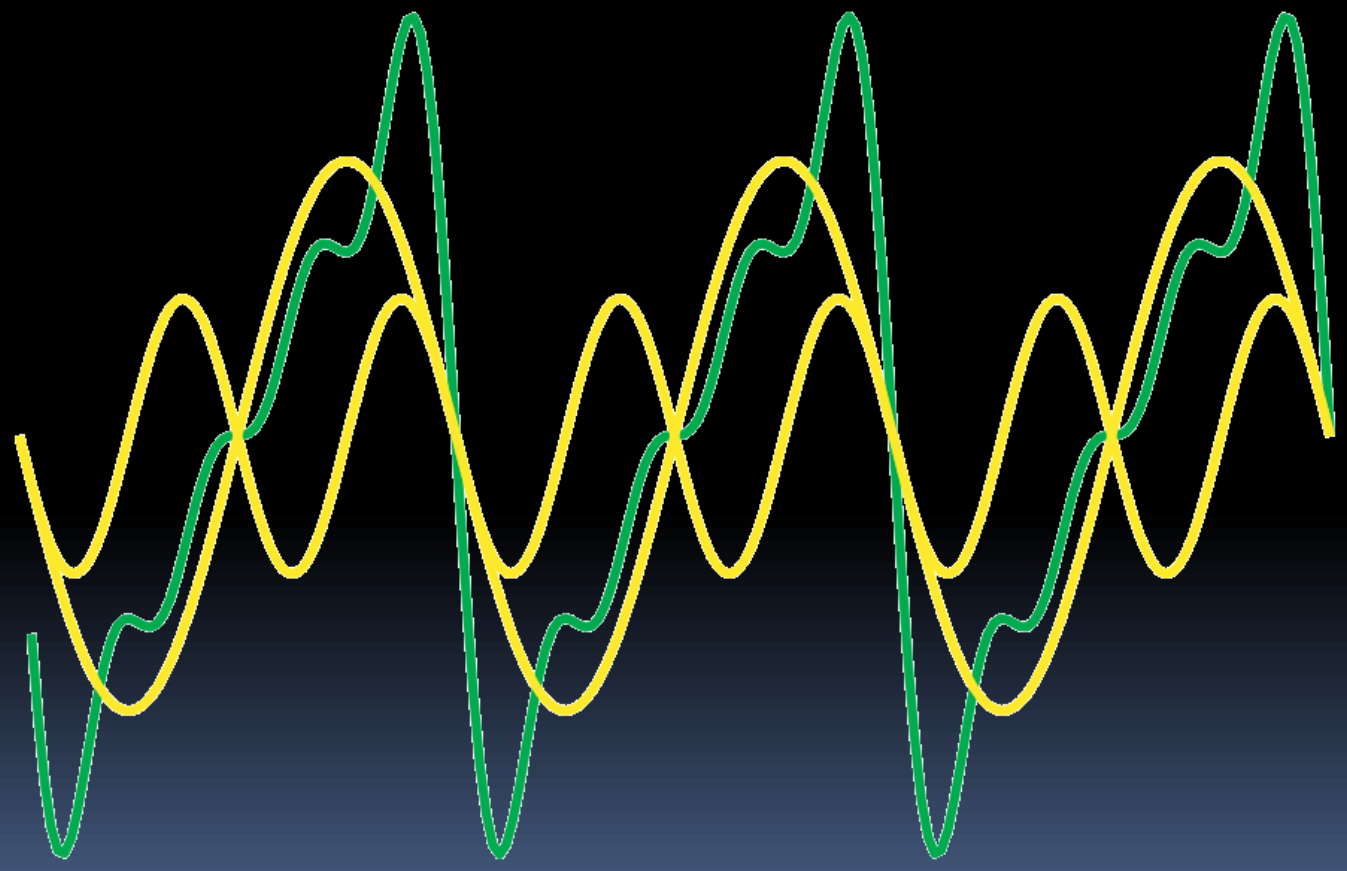
Fouriér-analyse



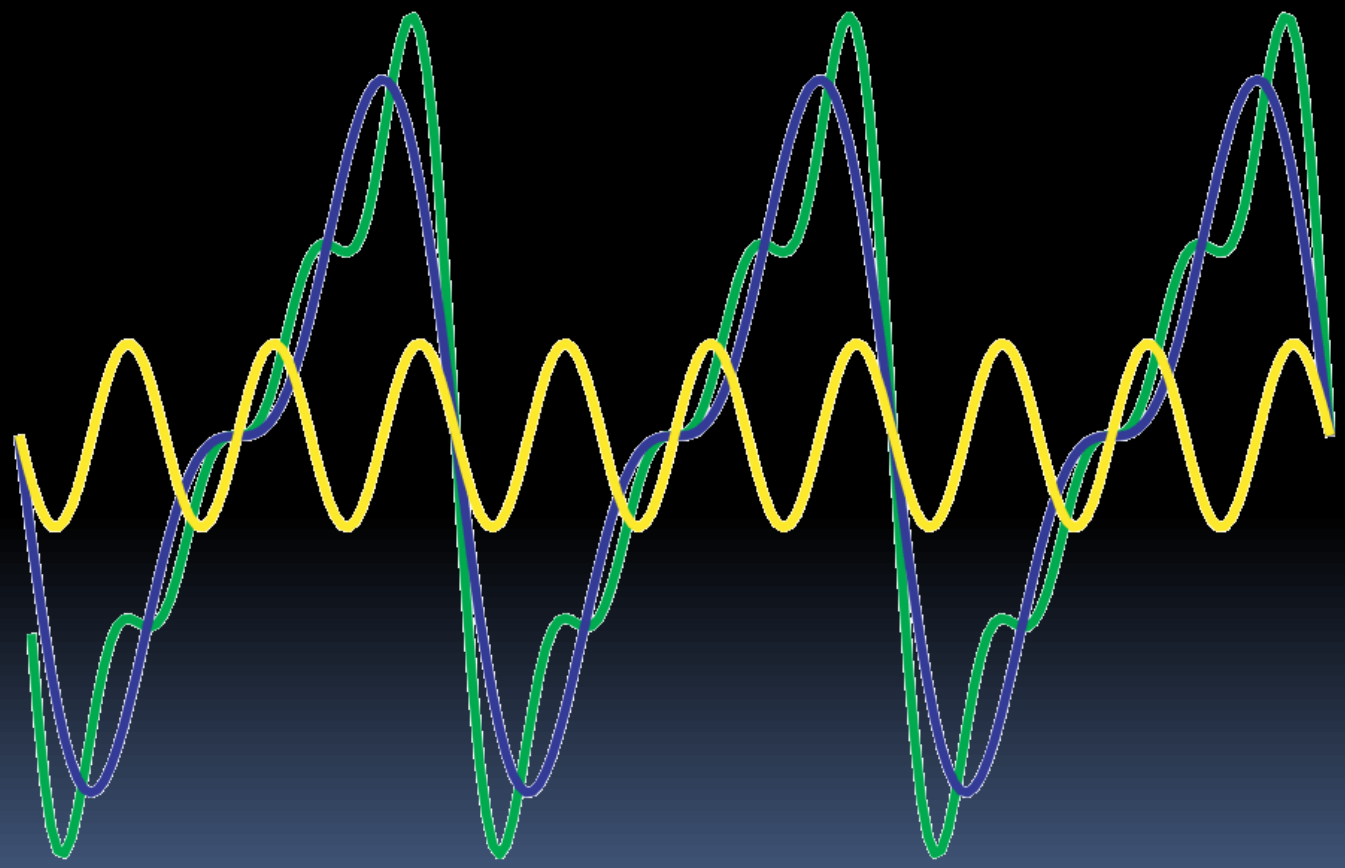
Fouriér-analyse



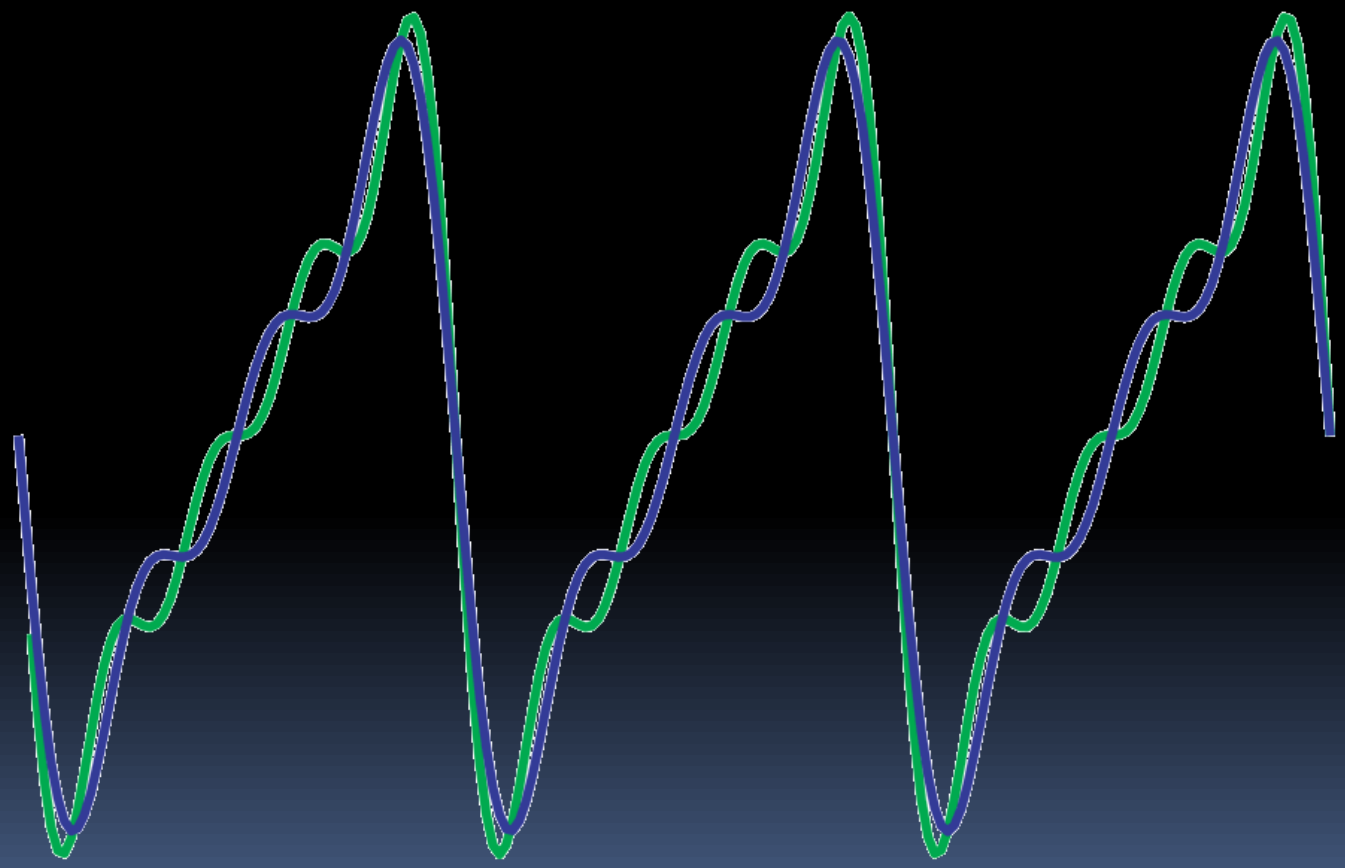
Fouriér-analyse



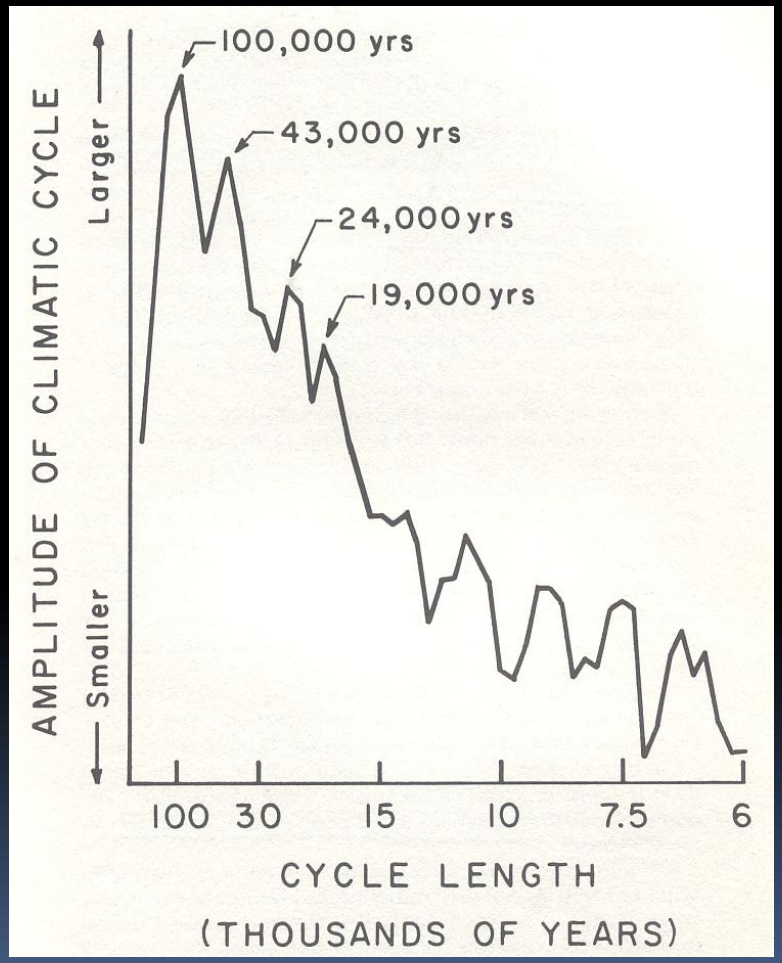
Fouriér-analyse



Fouriér-analyse



Voila!



[Imbrie & Imbrie 79]

- Klimadataene har frekvenstopper som passer
- 100.000 år: eksentrisitet
- 43.000 år: obliktivitet
- 24.000 år/19.000 år: presesjon

Klimasykler på andre planeter

- Pol-isens utbredelse på mars
  - 51000 år syklus, skyldes variasjon i eksentrisitet
- Titan har en ~60.000 års syklus på metansjøenes posisjoner og utbredelse
- Triton har en tilsvarende syklus for migrering av avsetninger med fast nitrogen

Takk for meg!

Referanser

- http://www.people.fas.harvard.edu/~phuybers/Doc/amfm_paleoc2010.pdf
- http://www.global-climate-change.org.uk/2-5-2-3.php
- www.skepticalscience.com/Milankovitch.html
- http://no.wikipedia.org/wiki/Milutin_Milankovi%C4%87
- http://www.egu.eu/egs/milankovic.htm
- http://en.wikipedia.org/wiki/Chandler_wobble
- http://www.nature.com/news/2005/050224/full/news050221-14.html
- http://en.wikipedia.org/wiki/%CE%9418O
- http://snl.no/foraminiferer
- http://en.wikipedia.org/wiki/Insolation
- http://en.wikipedia.org/wiki/Axial_tilt
- http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/seasons_orbit.php
- http://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles
- http://en.wikipedia.org/wiki/Polar_motion
- http://en.wikipedia.org/wiki/Axial_precession
- http://en.wikipedia.org/wiki/Precession
- http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Milankovitch/milankovitch.php
- http://www.indiana.edu/~geol105/images/gaia_chapter_4/milankovitch.htm
- http://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&ved=0CEQQFjAD&url=http%3A%2F%2Frockbox.rutgers.edu%2F~jdwright%2FMarGeol%2FMilankovitch_files%2FMilankovitch.ppt&ei=D_L7UtHKNemBywOWx4HgCw&usg=AFQjCNF2SQUiWmrsvr_5hygWiDhbLyUkvQ&bvm=bv.61190604,d.bGQ