

Algol-tähden arvoitus

Lauri Jetsu

Fysiikan laitos, Helsingin yliopisto (lauri.jetsu@helsinki.fi)



- **Tarina lyhyesti:** Muinaiset egyptiläiset löysivät Algol tähden säännölliset kirkkauden muutokset kolme tuhatta vuotta aiemmin kuin modernit tähtitieteilijät löysivät ensimmäisen muuttuvan tähden Miran.
- **Seuraavat tulokset** esitetään aikajärjestyksessä

Paper I: “Evidence of Periodicity in Ancient Egyptian Calendars of Lucky and Unlucky Days”, 2008, Porceddu, P.; Jetsu, L.; Markkanen, T.; Toivari-Viitala, J., *Cambridge Archaeological Journal*, **18**, No. 3, 327-339

Paper II: “Did the Ancient Egyptians Record the Period of the Eclipsing Binary Algol—The Raging One?”, 2013, Jetsu, L.; Porceddu, S.; Lyytinen, J.; Kajatkari, P.; Lehtinen, J.; Markkanen, T.; Toivari-Viitala, J., *The Astrophysical Journal*, **773**, A1, 1-14

Paper III: “Shifting Milestones of Natural Sciences: The Ancient Egyptian Discovery of Algol’s Period Confirmed”, 2015, Jetsu, L.; Porceddu, S., *PLOS One* **10** (12) e0144140, 1-23

Paper IV: “Algol as Horus in the Cairo Calendar: The Possible Means and the Motives of the Observations”, 2018, Porceddu, S.; Jetsu, L.; Markkanen, T.; Lyytinen, J.; Kajatkari, P.; Lehtinen, J.; Toivari-Viitala, J., *Open Astronomy*, **27**, 232-263

Vektoreista

Perusteista

- Esitys ymmärrettävä $\Rightarrow$ Pakko puhua ensin hiukan vektoreista.
- **Vektori**: Suunta ja pituus
- Vektorien summa **$c = a + b$**

Samansuuntaiset: Iso summa **c**

- Vektori **a** osoittaa ylös oikealle
- Vektori **b** osoittaa ylös oikealle

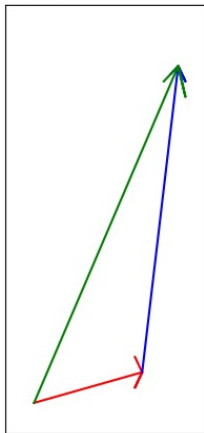
Erisuuntaiset: Pieni summa **c**

- Vektori **a** osoittaa ylös oikealle
- Vektori **b** osoittaa ylös vasemmalle

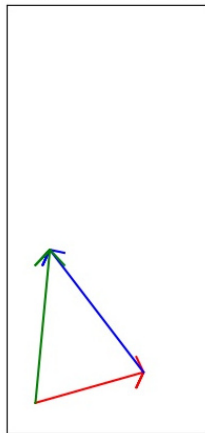
Johtopäätös: **Samansuuntaisten** vektorien summa on **suuri**.

Erisuuntaisten vektorien summa on **pieni**. Tämä sääntö pätee myös useamman vektorin summalle.

Iso summa



Pieni summa



Periodisuus ajassa

1. Ongelma: **Miten** voi mitata tapahtumien säännönmukaisuutta **ajassa**?

$t =$ **Aika**, $P =$ **Periodi**

Esimerkki: Yhden päivän periodi on $P = 1d = 24h$ = Maa pyörii kerran akselinsa ympäri = Aamu, päivä, ilta ja yö

- **Taulukossa** on $n = 8$ tapahtuma-aikaa

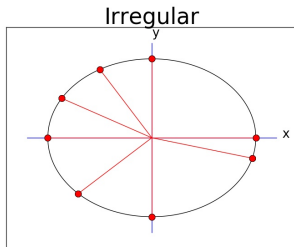
Idea: Aika on suora viiva, joka kelataan yksikköympyrälle. **Vaihekulmat** x-akselista vastapäivään ovat

$$\theta = (t/P) \times 360 \text{ deg}$$

- **Periodi** = Yksi päivä = Yksi kierros = $360 \text{ deg} = 1d = 24h = P$

- **Yksikkövektorit** $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7$ ja r_8 **erisuuntaiset** → **Summavektori**

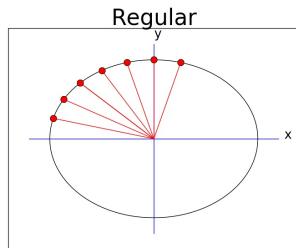
$R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7 + r_8 = \sum_{i=1}^8 r_i$
on **pieni** → Tapahtuma-ajoissa **ei** **säännönmukaisuutta** periodilla $P = 1d$



t [h]	t [d]	θ [deg]	Kellon- aika	
0	0.00	0	0	Yö
6	0.25	90	6	Aamu
12	0.50	180	12	Päivä
18	0.75	270	18	Ilta
23	0.96	345	23	Yö
34	1.42	510	10	Aamu
39	1.62	585	15	Ilta
440	18.33	6600	8	Aamu

Aamupostin saapuminen

- Posti saapuu noin kello 8.00. Vaihtelua on $\pm 3h$. **Taulukossa** ovat postin saapumisajat $n = 8$ päivältä
- **Yksikkövektorit** $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7$ ja r_8 **samansuuntaiset** $\rightarrow$ **Summavektori**
 $R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7 + r_8 = \sum_{i=1}^8 r_i$
on **suuri** $\rightarrow$ Tapahtuma-ajoissa **säännönmukaisuutta** periodilla $P = 1d$
- **1. Ongelman ratkaisu:** Tapahtuma-ajoissa $t_1, t_2, \dots, t_n$ **on säännönmukaisuutta** periodilla P , **jos** yksikkövektorien r_i summavektori $R = \sum_{i=1}^n r_i$ on **suuri**.
- **2. Ongelma:** **Miten** voi ratkaista säännönmukaisuuden **periodin**?
- **2. Ongelman ratkaisu:** **Testataan monta** periodia. Lasketaan **joka periodilla** $z = |R|^2/n$, missä $|R|$ on summavektorin pituus. **Parhaalla** periodilla **suurin** $|R|$ arvo eli **suurin** $|R|^2$ arvo eli **suurin** z arvo.



t [h]	t [d]	θ [deg]	Kellon- aika	
8	0.33	120	8	Aamu
34	1.42	510	10	Aamu
54	2.25	810	6	Aamu
81	3.38	1215	9	Aamu
103	4.29	1545	7	Aamu
179	7.46	2685	11	Aamu
197	8.21	2955	5	Aamu
225	9.38	3375	9	Aamu

Baron Rayleigh

$$z = |R|^2/n = \text{Rayleigh parametri}$$

John William Strutt
Kolmas Rayleigh paroni
1842 – 1919

- Copley Mitali 1882
- Fysiikan Nobelin palkinto 1904
- Ratkaisi z muuttujan statistiikan.
Todennäköisyys arvon z_0
saavuttamiselle on

$$P(z > z_0) = e^{-z_0}$$

- **Epäolennaista**: Ymmärtää kaikki tähän liittyvä matematiikka
- **Olennaista**: Ymmärtää, että tämän matematiikan avulla voidaan ratkaista, kuinka **merkittävää** löydetty periodisuus on



Taustaa (Porceddun pro-gradut: Tähtitiede & Egyptologia)

- **2006:** Sebastian Porceddun tapaa Jaana Toivari-Viitalan $\Rightarrow$ Hyvien ja huonojen päivien kalenterit
 - 1: P. Cairo 86637
 - 2: P. BM 10474
 - 3: P. Sallier IV
- **Miten** kalenterien ennusteet muutetaan aikapisteiksi? **Mitä** periodisuutta voi löytyä?

Paper I: Received Jan, 2008; accepted Sep 2008

Muinaisessa Egyptissä

- Hyvien ja Huonojen päivien kalentereita – Ennuste päivälle tai osalle vuorokautta – Hyvä tai huono
- Papyrus Cairo 86637: Parhaiten säilynyt kalenteri: **“Kairo kalenteri”**
- Kolme ennustetta joka päivälle – Kuvaava teksti

Egyptiläinen vuosi

- 12 kuukautta: jokainen 30 päivää
- 3 vuodenaikaa: jokainen 4 kuukautta
- Akhet (tulva), Peret (talvi) ja Shemu (sadonkorjuu) = 360 päivää
- 5 ylimääräistä epagomenaalista päivää
- Seuraava sivu: Kaikki ennusteet



Merkinnät (Leitz 1994): “G”=Gut=Hyvä, “S”=Schlecht=Huono,
 “—” = Vahingoittunut = Ei ennustetta

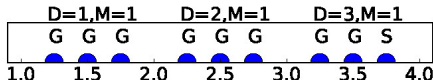
	Akhet I	Akhet II	Akhet III	Akhet IV	Peret I	Peret II	Peret III	Peret IV	Shemu I	Shemu II	Shemu III	Shemu IV
D	M = 1	M = 2	M = 3	M = 4	M = 5	M = 6	M = 7	M = 8	M = 9	M = 10	M = 11	M = 12
1	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG
2	GGG	GGG	—	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	—	—	GGG	GGG
3	GGG	GGG	GGG	SSS	GGG	—	—	SSS	GGG	GGG	SSS	SSS
4	GGG	SSS	—	GGG	GGG	GGG	GSS	GGG	SSS	SSS	GGG	SSG
5	GGG	SSS	—	GGG	GSS	GGG	GGG	SSS	—	GGG	SSS	GGG
6	SSG	GGG	GGG	SSS	GGG	—	GGG	SSS	GGG	—	—	SSS
7	GGG	SSS	GGG	SSS	SSS	GGG	SSS	GGG	GGG	SSS	SSS	—
8	GGG	GGG	—	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	—	GGG	SSS	GGG
9	GGG	GGG	SSS	GGG	GGG	GGG	GGG	—	GGG	GGG	GGG	GGG
10	GGG	GGG	GGG	GGG	SSS	SSS	SSS	—	—	GGG	SSS	GGG
11	SSS	GGG	GGG	GGG	SSS	GGG	GGG	SSS	—	SSS	SSS	SSS
12	SSS	SSS	—	SSS	—	GGG	GGG	SSS	—	GGG	—	GGG
13	GSS	GGG	SSS	GGG	GGG	SSS	GGG	SSS	—	GGG	—	GGG
14	—	GGG	SSS	GGG	SSS	SGG	—	—	—	GGG	SSS	GGG
15	GSS	GSS	SSS	—	GGG	—	SSS	GGG	—	SSS	GGG	SSS
16	SSS	GGG	GGG	GGG	GGG	—	SSS	GGG	GGG	GGG	SSS	GGG
17	SSS	GGG	—	—	SSS	GGG	SSS	SSS	GGG	SSS	—	GGG
18	GGG	SSS	SSS	SSS	GGG	SSS	GGG	—	GGG	SSS	SSS	SSG
19	GGG	GGG	SSS	SSS	SSS	GSS	—	GGG	GGG	SSS	SSS	GGG
20	SSS	SSS	SSS	SSS	SSS	SSS	SSS	—	SSS	SSS	SSS	—
21	GGG	SSG	GGG	SSG	GGG	—	—	—	SSS	SSG	GGG	GGG
22	SSS	—	—	GGG	GGG	GGG	SSS	SSS	GGG	SSS	SSS	GGG
23	SSS	—	SSS	GGS	GGG	GGG	GGG	—	GGG	GGG	SSS	SSS
24	GGG	SSS	GGG	—	GGG	SSS	SSS	SSS	—	GGG	GGG	GGG
25	GGS	SSS	GGG	—	GGG	GGG	—	SSS	GGG	GGG	GSG	GGG
26	SSS	SSS	GGG	GGG	SSS	—	SSS	—	GGG	SSS	GGG	GSG
27	GGG	SSS	GGG	GGS	GGG	—	SSS	SSS	—	SSS	SSS	SSS
28	GGG	GGG	GGG	SSS	GGG	GGG	GGG	GGG	—	GGG	SSS	GGG
29	SGG	GGG	GGG	SSS	GGG	SSS	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG
30	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	SSS	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG	GGG

Kalenterit aikapisteiksi

Tiedetään: Päivä seuraa toista.
Lasketaan **Egyptiläinen päivä**

$$N_E = 30(M - 1) + D$$

- Ratkaistu jokaisen päivän **kokonaisluku osa!**
- Kolme ennustetta on jokaisen N_E päivän **sisällä**



Yllä I Akhet 2 ennuste “GGG”

- D=3, M=1: 1. ja 2. osa hyvä = **G**
- D=3, M=1: 3. osa huono = **S**
- **Ongelma:** Mikä on ennusteiden **desimaaliosa?**

Tiedetään: Egyptiläinen päivä alkoi auringon noususta

- 1. osa: aamu
- 2. osa: keskipäivä tai ilta
- 3. osa: ilta tai yö

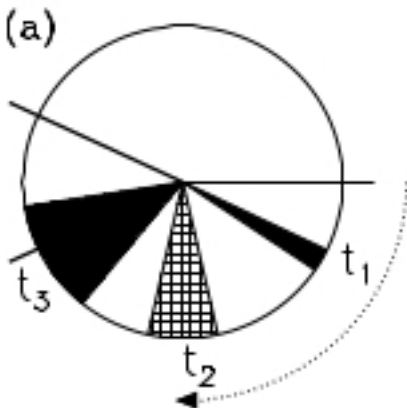
Ongelma: Päivän pituus vaihtelee?

Ratkaisu: Gregoriaaninen vuosi alkaa päivänä $N_E = 187$ (Leitz 1994)

- Tammikuun 1. päivä = $N_G = 1$
- Egyptiläinen päivämäärä N_E voidaan muuttaa Gregoriaaniseksi päivämääräksi N_G
- N_G antaa Auringon deklinaation $\delta_\odot$
- Auringon deklinaatio $\delta_\odot$ antaa päivän pituuden Egyptin leveysasteella
- **Ongelma:** Mitkä kolme kohtaa vuorokaudesta?
- **Ratkaisu:** Ennusteet tasavälein auringon nousun ja laskun väliin

Kalenterit aikapisteiksi

Aikapisteiden ratkaisu graafisessa muodossa



Rayleigh testin tulokset

- **Varma tulos:** Hyvien ennusteiden aikapisteissä **Kuun periodi** $P \approx 29.5$ päivää kaikissa kolmessa kalenterissa
- Monia muita periodeja. **Voisiko** ainoastaan Kairo kalenterista löytyvä $P \approx 2.851$ päivää olla **Algolin** periodi?

Paper I: Ratkaisemattomia ongelmia

1. **Muuttuisivatko tulokset**, jos aikapisteet luotaisiin toisella tavalla?
2. **Mitä** ovat nuo kaikki muut periodit?
3. **Mikä** on periodien merkittävyys?
4. **Mitkä** niistä ovat todellisia ja/tai epätodellisia?
5. Algolin periodi on $P \approx 2.867$ päivää, eikä 2.850 päivää?
6. **Tapahtuiko** pimennyksiä 3000 vuotta sitten?
7. **Miksi** juuri Kuu ja Algol?

Ratkaisemiseen kului 2008-2012: **Paper II**

Paper II: Received Nov 12, 2012; accepted May 23, 2013

1. Riippuvatko tulokset tavasta luoda aikapisteet?

Aiemmin: Tammikuun 1.

$$= N_G = 1 \equiv N_E = 187$$

Nyt: Kolme vaihtoehtoa

$$N_G = 1 \equiv N_E = 67$$

$$N_G = 1 \equiv N_E = 187$$

$$N_G = 1 \equiv N_E = 307$$

Aiemmin: Kolme pistettä päivällä

Nyt: Kaksi vaihtoehtoa

Kolme päivällä

Kaksi päivällä ja yksi yöllä

Aiemmin:

Ei poistettu $D = 1$ tai $D = 20$

Nyt: Kaksi vaihtoehtoa

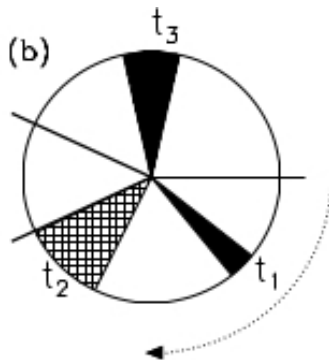
Ei poisteta $D = 1$ tai $D = 20$

Poistetaan $D = 1$ tai $D = 20$

Aiemmin ja nyt: Analysoidaan hyvät ja huonot erikseen

Analysoidaan $3 \times 2 \times 2 \times 2 = 24$ eri tavalla luotua aikapisteiden joukkoa

Tulokset ovat **samat** eli eivät riipu tavasta luoda aikapisteet



2. Mitä ovat nuo kaikki muut periodit?

Hyvien ennusteiden Rayleigh testi

- x-akseli on frekvenssi $= f = 1/P$
- Kaksi korkeinta piikkiä
29.4 päivää = Kuu?
2.85 päivää = Algol?

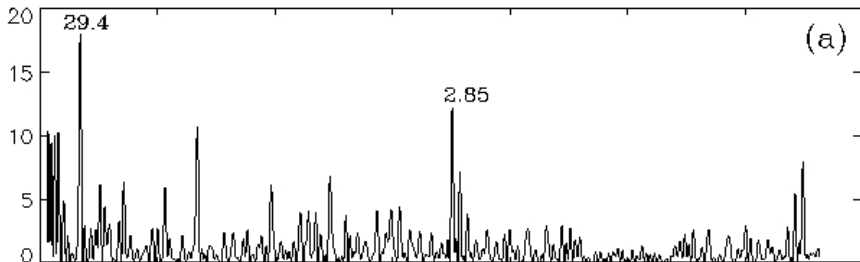
Paljon muitakin piikkejä = periodeja

7.5 päivää = ?

1.5 päivää = ?

“Frekvenssi viidakko” vasemmalla

- Mitkä näistä ovat **todellisia** ja mitkä ovat tilastollisesti **merkittäviä**?



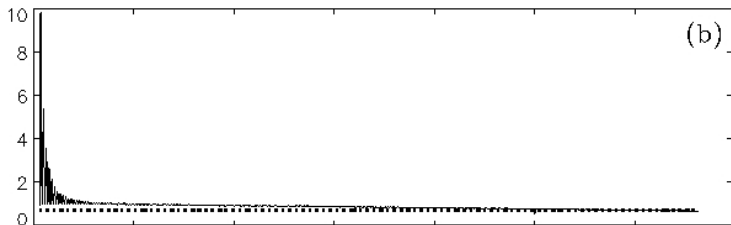
2. Mitä ovat nuo kaikki muut periodit?

Kohinan periodogrammi

- Tämän esitelmän vaikein aihe:
Simuloimme kohinaa rakenteeltaan samanlaisilla aikapisteillä
- Mikä on **odotettu=toivottu** periodogrammin z taso?

$$P(z < z_0) = 1 - e^{-z_0} = 1/2 \\ \Rightarrow z_0 = 0.693 \text{ (piste viiva)}$$

- **Kohinan periodogrammi** poikkeaa 0.693 tasosta
- Paljon huippuja pienillä frekvensseillä = suurilla periodeilla $\Rightarrow$ Selittää edellisen kuvan “periodi viidakon”
- Statistiikka hajoaa $\Rightarrow$ Merkittävyys arviot epäluotettavia
- **Idea:** Jaetaan tällä kohinan herkkyyssäyrällä edellisen sivun periodogrammi



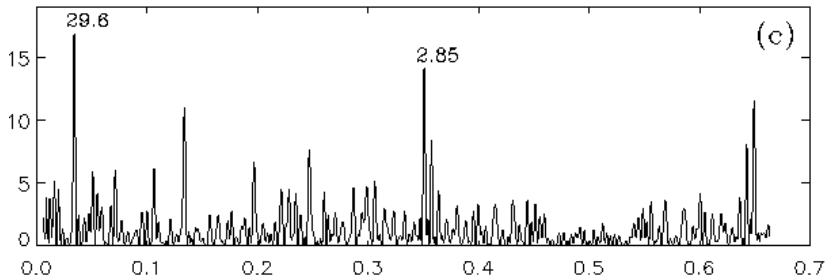
3. Mikä on periodien merkittävyys?

Jakamisen tulos

- Huippu 29.4 päivää siirtyy 29.6 päivään lähemmäs Kuun oikean synodiseen periodiin
- Huippu 2.85 päivää ei siirry
- “Periodi viidakko” katosi

Tilastollinen merkittävyys

- Oli ratkaistava simuloimalla
29.6 päivää periodi sattumaa: noin 1/100 000
2.85 päivän periodi sattumaa : noin 1/10 000
- **Johtopäätös:** Nämä ovat **varmasti ihmisten** Kairo Kalenteriin kirjaamia periodeja



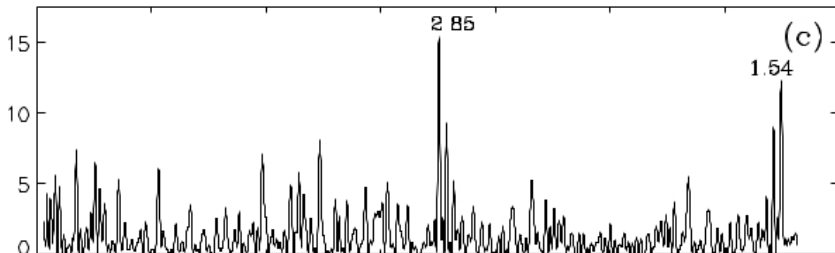
4. Mitkä periodit ovat todellisia tai epätodellisia?

Poistetaan joka kuukauden $D = 1$ = ensimmäisen päivän GGG aikapisteet

- Kuun 29.6 päivää katoaa ja siihen liittyvä 7.5 päivää
- Ainoat jäljelle jäävät merkittävät periodit ovat 2.85 ja 1.54 päivää
- Yhden päivän “ikkuna” yhdistettynä 2.85 päivän **todelliseen** periodiin selittää **epätodellisen** 1.54 päivän periodin

Yhteenveto

- **Ainoat todelliset periodit** ovat 29.6 ja 2.85 päivää
- **Epätodellisia** ovat 7.5 päivää, 1.5 päivää ja kaikki muut periodit, kuten myös “periodi viidakko”
- Periodogrammin korkeimmat piikit ovat **täysin aukottomasti** selitetty ja ymmärretty



5. Algolin periodi on **2.867 päivää**, eikä 2.850 päivää?

Muuttuvat tähdet

- Mikä on muuttuva tähti?
- Planeetat liikkuu – Tähdet eivät
- 1596: David Fabricius (Saksalainen, 1564–1617) löysi **1. periodisesti muuttuvan tähden: Mira**
- 1638: Johannes Holwarda (1618–1651) ⇒ Ilmestyy ja katoaa 11 kuukauden **periodissa** ⇒ Laajenee ja kutistuu
- 1667: Geminiano Montanari (1633–1687) löysi **2. periodisen muuttuvan tähden: Algol**
- Montanari ei huomannut periodisuutta
- Pimennysmuuttuja: Kaksi tähteä kiertää yhteistä massakeskipistettä
- Näkösäde lähes kiertotason suuntainen



5. Algoln periodi on **2.867 päivää**, eikä 2.850 päivää?

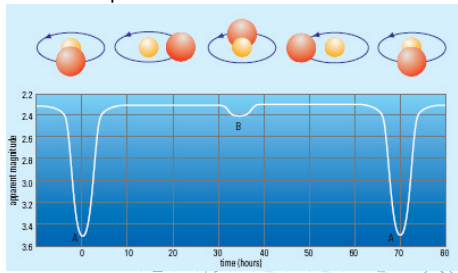
John Goodricke (Englanti, 1764–1786)

- Amatööri astronomi: Kuuro, mykkä ja kuoli 21 vuotiaana
- 1783: määrittä **Algoln 2.867 päivän periodin** paljain silmin
- Copleyn Mitali (the Royal Society of London)
- Hypoteesi: pimennys tai pilkkuja



$M_{\odot}$ = **Auringon massa**

- Algol A: pääsarja, $3.7M_{\odot}$, kirkkaampi
- Algol B: jättiläinen, $0.8M_{\odot}$, himmeämpi
- Algol B suurempi kuin Algol A
- Valokäyrä: kaksi minimiä
- 230 vuotta: Ei mitattavaa periodin kasvua
- Pieniä epäsäännöllisiä muutoksia, mikä syy 0.017 päivän kasvuun?



5. Algol in periodi on **2.867 päivää**, eikä 2.850 päivää?

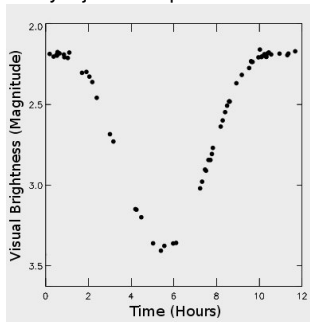
- Magnitudit: m kasvaa $\Rightarrow$ himmenee

Nimi	m	Δm	Menee alle	Pysyy alla
Algol	2.1	1.3		
α Per	1.8	–	ei	ei
γ And	2.3	–	2 tuntia	6 tuntia
ζ Per	2.8	–	3 tuntia	4 tuntia
ϵ Per	2.9	0.1	3 tuntia	4 tuntia
γ Per	2.9	–	3 tuntia	4 tuntia
β Tri	3.0	–	3 tuntia	4 tuntia
δ Per	3.0	–	3 tuntia	4 tuntia



Miten Goodricke löysi periodin?

- Vertasi 10 tunnin pimennyksen aikana tähtien magnitudreja
- Silmän tarkkuus 0.1 magnitudia
- Ratkaisi minimien ajanhetket muistiinpanoista
- Pimennysajat 2.867 päivän monikertoja



5. Algoln periodi on **2.867 päivää**, eikä 2.850 päivää?

Rochen pinta: Alue jonka sisältä materia ei voi paeta tähden painovoimakentästä

- Sen ulkopuolella: materia alkaa karata

Laki: Painavimmat tähdet kehittyvät nopeammin

- Kevyempi Algol B kehittynyt jättiläiseksi
- Painavampi Algol A on yhä pääsarjassa, eli "polttaa" vetyä?

Systeemin syntyhetki: Algol B massiivisempi kuin Algol A

- Algol B kehittyi jättiläiseksi täyttäen Roche pintansa $\Rightarrow$ Materiaa alkoi virrata Algol A:han, josta tuli massiivisempi
- Massavirtauksen kevyestä painavampaan tähteen pitäisi kasvattaa periodia
- Kaavan ymmärtäminen **epäolennaista**, seurausten ymmärtäminen **olennaista**

$$t_1 = \mathbf{1224 \text{ ekr}}: P_1 = 2.^{\text{d}}850$$

$$t_2 = \mathbf{2012 \text{ jkr}}: P_2 = 2.^{\text{d}}867$$

Periodin muutos:

$$\dot{P}/P = [(P_2 - P_1)/(t_2 - t_1)]/P$$

Yhteys massavirtaukseen:

$$\dot{P}/P = -[3 \dot{m}_B (m_A - m_B)]/(m_A m_B)$$

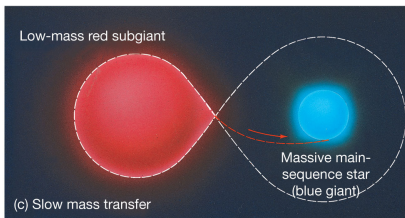
Meidän tuloksemme:

$$\dot{m}_B = -2.2 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{ per vuosi.}$$

Sarnan (1993) ennustava evoluutiomalli:

$$\dot{m}_B = -2.9 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{ per vuosi}$$

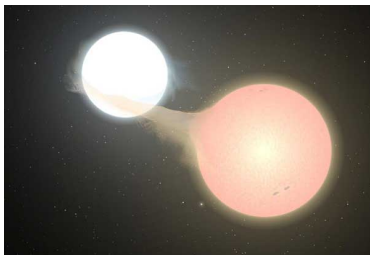
Johtopäätös: Massavirtaus selittää periodin kasvun 3000 vuodessa



6. **Tapahtuiko** pimennyksiä 3000 vuotta sitten?

Algol on kolmoistähti

- Himmeämmän **Algol B**:n säde suurempi
- Kirkkaamman **Algol A**:n säde pienempi
- **Algol A–B systeemi**: paljain silmin havaittavat pimennykset 2.867 päivän välein



- Kolmas tähti **Algol C** kiertää kaukana
- **Algol AB–C** systeemi: 680 päivää

- **Algol C** kääntää **Algol A–B** systeemin ratatasoa $\Rightarrow$ Pimennyksiä ei aina havaita maan suunnasta
- Jos **Algol A–B** ja **Algol AB–C** ratatasojen välinen kulma ei ole 90 astetta $\Rightarrow$ **Algol A–B** ratataso vaappuu $\Rightarrow$ Ei välttämättä pimennyksiä Egyptissä 1224 ekr
 $96^\circ \pm 5^\circ$ (Csizmadia 2009) $\Rightarrow$ **Ehkä** pimennyksiä Egyptissä 1224 ekr?
 $95^\circ \pm 3^\circ$ (Zavala, 2010) $\Rightarrow$ **Ehkä** pimennyksiä Egyptissä 1224 ekr?
 $90^\circ.2 \pm 0^\circ.32$ (Baron et al. Toukokuun 3, 2012) $\Rightarrow$ **Varmasti** pimennyksiä Egyptissä 1224 ekr!
- **Väitimme**: Pimennyksiä tapahtui $\Rightarrow$ Baron et al. (2012) varmistivat sen **jälkikäteen**

7. Miksi juuri Kuu ja Algol?

Ongelma: Testatut periodit $1.5 \leq P \leq 90$. Mitä sellaista voi havaita taivaalta paljain silmin?

Ratkaisu: Aurinko, kuu, planeetat ja tähdet

- **Aurinko ja planeetat:** $P > 90$ päivää $\Rightarrow$ Ei voi löytyä Kairo kalenterista
- **Kuu:** $P = 29.6$ päivää löytyi Kairo kalenterista
- **Muuttuvat tähdet:** Mitkä **40 000** tunnetusta muuttuvasta tähdestä voisivat löytyä Kairo kalenterista?

Ratkaisu: Eliminointi kahdeksalla kriteerillä

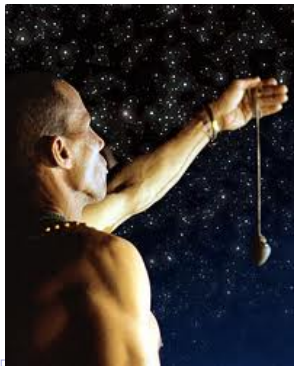
- **Silmä:** Kohde näkyy $= m < 6$
- **Silmä:** Kohde muuttuu $= \Delta m > 0.1$

C_1 : Muuttuvan tähden maksimikirkkaus on $m_{\max} \leq 4.0$ ja vaihtelu $\Delta m \geq 0.1$.
 $\Rightarrow$ **109 kandidaattia**

C_2 : Kirkkauden vaihtelun periodi P tunnetaan ja se on välillä $1.5 \leq P \leq 90$ päivää
 $\Rightarrow$ **13 kandidaattia**

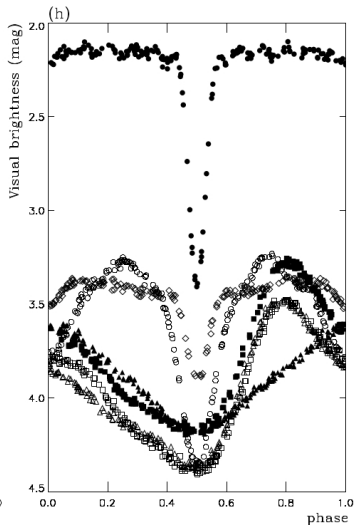
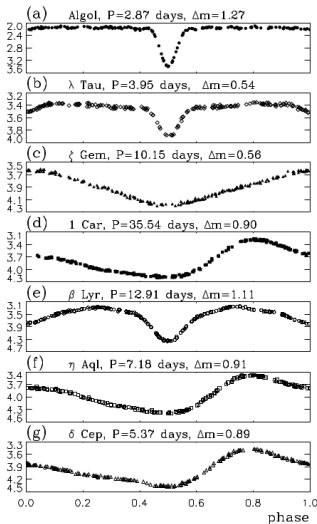
C_3 : Muuttuja näkyi Egyptissä 1224 ekr
 $\Rightarrow$ **10 kandidaattia**

C_4 : Periodilla voi ennustaa muuttujan kirkkauden.
 $\Rightarrow$ **7 kandidaattia**



7. Miksi juuri Kuu ja Algol?

- **4 kefeidiä:** ζ Gem, λ Car, η Aql and δ Cep
- **Kefeidit** laajenevat ja kutistuvat $\Rightarrow$ Periodinen valokäyrä
- **3 pimennysmuuttujaa:** Algol, λ Tau, β Lyr
- **Sama skaala:** Algol kirkkain & vaihtelu suurinta



7. Miksi juuri Kuu ja Algol?

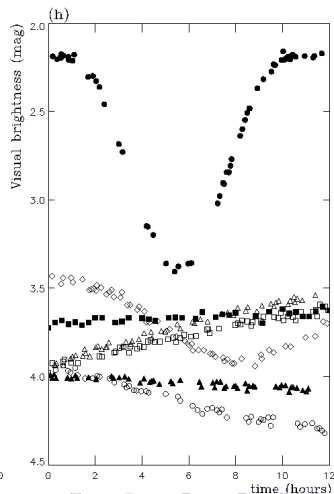
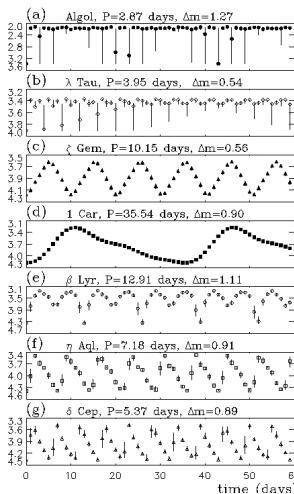
C₅: **Vaihtelu** on havaittavissa yhdessä yössä.

- 12 tunnin yöt $\Rightarrow$ Viivat osoittavat vaihtelun

ζ Gem ja I Car eliminoitu?

Algol ja λ Tau suurin vaihtelu

- Sama skaala: **Algolin** pimennys kestää 10 tuntia $\Rightarrow$ Joskus havaittavissa yhtenä yönä
- **λ Tau** pimennys kestää 14 tuntia $\Rightarrow$ Ei havaittavissa yhtenä yönä



7. Miksi juuri Kuu ja Algol?

- Ei yksi yö $\Rightarrow$ Usea yö? (**Mira**)

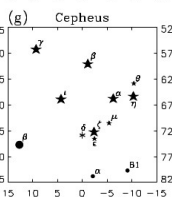
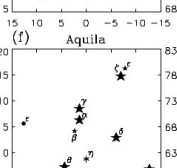
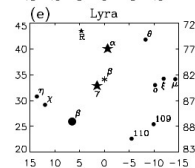
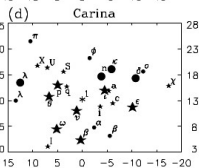
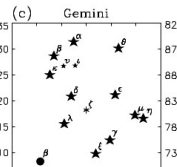
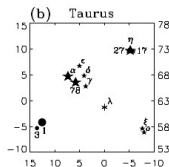
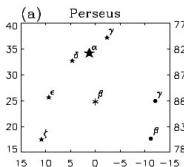
C_6 : Kirkkausvaihtelu muuttaa havaittavasti tähtikuviota.

- Kirkkaammat tähdet, Vertailu-tähdet, Muut muuttuvat tähdet

- Altitudi $\equiv$ Ekstinktio, Valokäyrän periodi

- Jäljellä: **Algol**, λ **Tau**, ehkä β **Lyr**

- $C_1, \dots, C_6$ **toteutuvat** $\Rightarrow$ **Muuttuja löydetty** $\Rightarrow$ **Ongelma**: Periodi on vielä tuntematon



7. Miksi juuri Kuu ja Algol?

C_7 : Muuttujan periodi voitiin määrittää paljain silmin vuonna 1224 ekr

- Hipparkos (190-125 B.C): tarkkuus $1.^m0$
- Ptolemaios (100-125 A.D.): $0.^m4 - 1.^m0$
- **Kefeidit**: Differentiaali fotometria $\Rightarrow$ Aikasarja $\Rightarrow$ Mittaukset $m(t_1), m(t_2), \dots \Rightarrow$ Karteesinen koordinaatisto tai Moderni aikasarja-analyysi $\Rightarrow$ ζ **Gem**, ι **Car**, η **Aql**, δ **Cep** tai β **Lyr** periodit $\Rightarrow$ **Mahdotonta**
- **Pimennysmuuttujat**: Pimennysajat $\Rightarrow$ Aikapisteitä $\Rightarrow t_1, t_2, \dots$ Monikertoja $\Rightarrow \lambda$ **Tau** ja **Algol** periodit $\Rightarrow$ **Mahdollista**

C_8 : Modernin tähtitieteen historia: kumman muuttujan periodi määritettiin ensin?

- Algol (2. muuttuva tähti, Montanari, 1669; Goodricke 1783)
- λ Tau (>18. muuttuva tähti, Baxendell, 1848: “vaikea valokäyrä”)

$C_1, \dots, C_8$ kriteerit $\Rightarrow$ **Algol paras**

- **Salapoliisi työn tulos**: Etsintä 40 000 epäillyn (muuttuvan tähden) joukosta päättynyt!

Siksi juuri Kuu ja Algol löytyvät Kairo kalenterista



Paper III

- Onko mahdollista ratkaista, **mitä** sanoja Kairo kalenterissa käytettiin Kuun ja Algolin säännöllisten vaihteluiden kuvaamiseen?
- **Miten** kirkkaan ja pimeän vaihtelut liitettiin hyviin ja huonoihin hetkiin?

Mitkä sanat liittyivät Kuuhun ja Algoliin?

- Tunnettiin Kuun ja Algolin **periodit** $P_{\text{Kuu}} = 29.6$ päivää ja $P_{\text{Algol}} = 2.850$ päivää. **Hyvien** aikapisteiden summa vektorien $|R|$ **suunnat** antoivat ajan hetket

$$t_{0,\text{Kuu}} = 3.50 \text{ ja } t_{0,\text{Algol}} = 0.53$$

Esimerkiksi Algoliin liittyvät hyvät **vaiheet** toistuivat ajan hetkinä

$$0.53 + (0 \times 2.850),$$

$$0.53 + (1 \times 2.850),$$

$$0.53 + (2 \times 2.850), \dots$$

- Selvitimme 28 sanan päivämäärät Kairo kalenterissa – Leitzilla (1994) samat
- Algoliin liittyivät: **“Horus”, “Ra”, “Wedjat”, “Sakhmet”, “Seuraajat” ja “Ennead”**

Kuvan hyvät ennusteet: $+6^\circ$: “Tänä päivänä Horus saa valkean kruunun ...” $+13^\circ$: “Horus on palannut ...” $+19^\circ$: “Horus ja Seth rauha ...” $+19^\circ$: “Antaa kruunun pojalleen Horukselle ...” $+32^\circ$: “Taivaalle saapumisen juhla ...”

- Hyvät** ajat: Algolin **kirkkaat** vaiheet keskittyvät **Aa** vaiheen ympärille eli ne ajanhetket **vahvistivat** Algolin periodin signaalia.

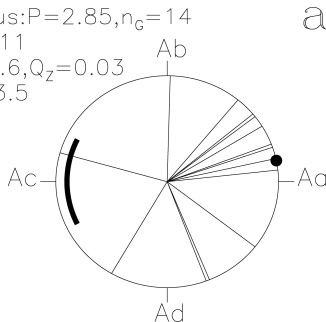
$+164^\circ$ = Pimennyksen **Ac** aikaan: “Horukselle kirjoitetaan testamentti ...”

$$\text{Horus: } P=2.85, n_G=14$$

$$\Theta_R=11$$

$$z=3.6, Q_z=0.03$$

$$z_x=3.5$$



Mitkä sanat liittyivät Kuuhun ja Algoliin?

- Kuuhun liittyivät **Maa**, **Taivas**, **Ihminen**, **Busiris**, **Osiris**, **Seth** ja **Sydän**

Kuun vaiheet

Ma = Täysi kuu = 0°

Mb = Puoli kuu = 90°

Mc = Uusi kuu = 180°

Md = Puoli kuu = 270°

- Leitz (1994): Uusi kuu on näiden päivien välissä

Kuvassa Seth huonot ennusteet

173° "Älä katso pimeyteen tänä päivänä!"

185° "Älä lausu **Sethin** nimeä tänä päivänä"

Asteet täsmäävät eli meidän riippumaton tilastollinen tuloksemme vahvistaa Leitzin väitteen.

Kuun kirkkaat hetket hyviä "**maassa**" ja "**taivaassa**"

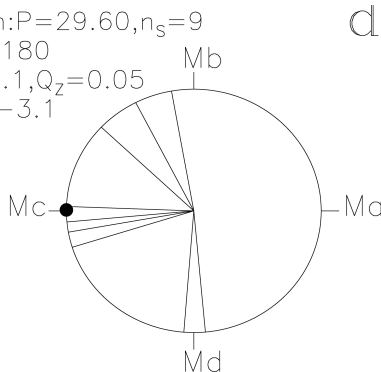
- Yhteensä 13 vastaavanlaista kuvaa. Tänään näytetty vain kahdesta kuvasta yksi neljännes

Seth: $P=29.60, n_s=9$

$\Theta_R=180$

$z=3.1, Q_z=0.05$

$z_x=-3.1$

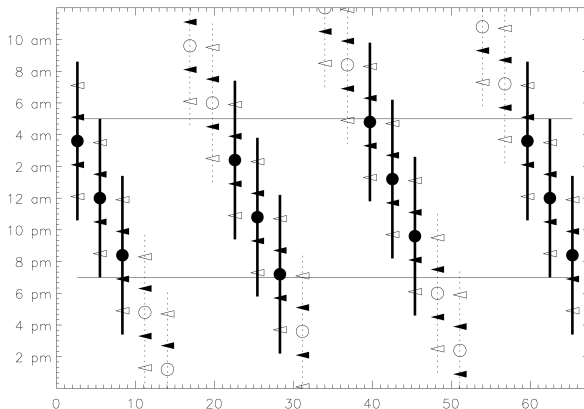


Miksi aina GGG ja SSS joka kuukauden D=1 ja D=20?

Kuva:

x-akseli = Aika päivissä

y-akseli = Pimennyksen kellonaika



- Kolme pimennystä kolmen päivän välein: **Loppuyö – Keskiyö – Alkuyö**
- **Päivällä** tapahtuvia pimennyksiä ei voi havaita seuraavana 13 päivänä
- **Yöllä** havaittavissa pimennyksissä
 $3 + 3 + 13 = 19$ päivän sykli
- Periodilla $P = 2.85 = 57/20$ toistuu **loputtomasti**
 $19 + 19 + 19 = 57$ päivää
- 13 päivää = **Epäonnen luku** = Kolme pimennystä toistuu
- 19 päivää = **Keskiyön pimennys toistuu = Horus katoaa ja palaa samana yönä**

Paper IV: Received Feb 15, 2018; accepted May 04, 2018

Paper IV

– Tämän **egyptologisen** osuuden
julkaiseminen vei 2012-2018:

*Cambridge Archaeological Journal,
... Plos One, Heliyon, Journal of
History of Astronomy, Open
Astronomy*

– **Miksi** ylipäättänsä havainneet
Algolia? **Miten** liitettävissä
muinaiseen Egyptiin?

Jaana Toivari-Viitala
16.5.1964-12.5.2017



Tapio Markkanen
28.1.1942-28.8.2017

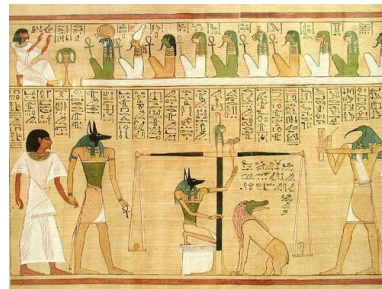


Kymmenen argumenttia

2. Elintärkeiden rituaalien ajoitus

- Kirjurin ammatti arvostettu: lääkäri, taikuri, tunninmittaaja, matemaatikko, parantaja, pappi, ...
- Vastuussa ajan mittaamisesta **(Tiede)** ja rituaaleista **(Uskonto)**
- Aurinko seilasi arkissaan yöllä maanlaisessa maailmassa
- Rituaalit saivat pelottavat vartijat avaamaan Auringolle portin kerrallaan
- **Vaara:** Aurinko ei nouse, **jos** rituaalit väärin ajoitettu

Argumentti II: *“Öisten uskonnollisten rituaalien elintärkeä ajoitus perustui muuttumattomien tuntitähdistä kuvien tarkkaan havainnointiin.”*

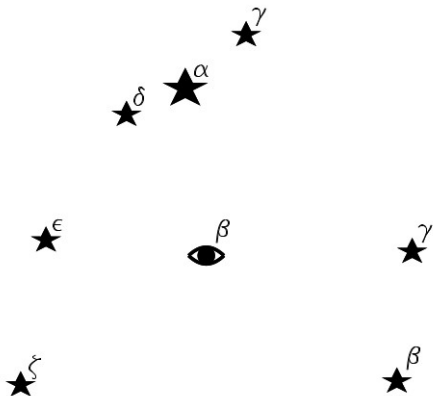


Kymmenen argumenttia

3. Tuntitähtikuvion muutos

- Silmä havaitsee $0.^m1 \approx 10\%$ kirkkauseron
- Kirkkausjäjestys: $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \dots$
- Algol (β Per) toiseksi kirkkain
- Kuusi vertailutähteä
- Pimennys: Algol himmenee 5 tuntia
- Pimennys: Algol kirkastuu 5 tuntia
- Pimennys: Algol neljä tuntia selvästi himmeämpi kuin **kaikki kuusi** vertailutähteä ($0.^m4 - 0.^m6$)
- Alueella vuosittain 300 kirkasta yötä ja havaintoja tuntitähtikuvioista tehtiin **joka yö tuhansien vuosien ajan.**

Argumentti III: *“Algolin pimennys aiheuttaa sen tuntitähtikuvion muutoksen, joka on helposti havaittavissa paljain silmin.”*



4. Pimennykset: “3+3+13=19” ja
“19+19+19” vuorokautta

$$P = 2.85 = \frac{57}{20} \rightarrow \text{Aina:}$$

- Loppuyön pimennys
- 3 vuorokautta: Keskiyön pimennys
- 3 vuorokautta: Alkuyön pimennys
- 13 vuorokautta: Loppuyön pimennys
- Toistui 19 päivän sykli

- Toistui $19 + 19 + 19 = 57$ päivän sykli:
20 pimennystä, Sama pimennysaika,
9 pimennystä yöllä ja 11 päivällä (ei voitu havaita)

- Kairo kalenterissa sattumalta?

Joka kuukausi: 1. päivä aina GGG, 20. päivä aina SSS, aina 19 päivän ero

- Kuvan (a)&(b): 19 päivän periodi datassa ... Nykyinen 2.867 ei selitä ...

Argumentti IV: “Tunninmittaajat löysivät 19 ja 57 päivän syklit pitkän aikavälin havainnoista.”

$$P_{\text{Mg}} = 2.850$$

Night-time eclipses (blue) = 56

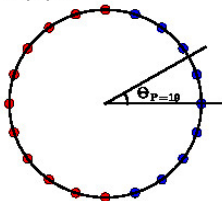
Daytime eclipses (red) = 70

$$x_{\text{night}} = 27.8$$

$$x_{\text{day}} = 22.8$$

$$x_{\text{both}} = 0.0$$

(a)



$$P_{\text{Mg}} = 2.867$$

Night-time eclipses (blue) = 52

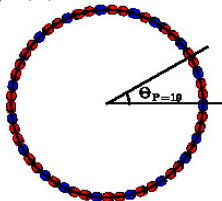
Daytime eclipses (red) = 73

$$x_{\text{night}} = 0.4$$

$$x_{\text{day}} = 0.3$$

$$x_{\text{both}} = 0.0$$

(b)



5. Muinainen Babylonia ja Kiina: Kuun pimennysten ennustaminen

- Pelottavat Kuun ja Auringon pimennykset motivoivat ennustamista

Babylonia 750-650 ekr: Havainnot taulukkoon → 38 pimennysmahdollisuutta 223 synodisessa kuukaudessa → Aina 4, 5 tai 6 pimennyksen sarjoja → **Saros jakso:** 18 vuotta, 11 vuorokautta, 8 tuntia

Kiina 400 ekr: 23 pimennysmahdollisuutta 135 synodisessa kuukaudessa → $5\frac{20}{23}$ kuukauden periodi

Egypti: Kuun periodi Kairo kalenterissa “liian tarkka” eli perustuu **pitkän aikavälin havaintoihin** → Helpompi ennustaa Algolin kuin Kuun pimennykset

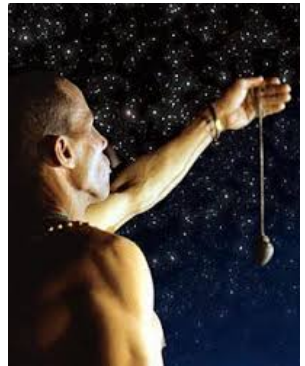
Kolme mahdollisuutta

1: Ratkaisivat $P = 2.850 = 57/20$ arvon

2: Havaittivat $P = 19$ ja/tai 57 periodit ja kirjasivat ne Kairo kalenteriin → Nykyaikainen periodianalyysi löytää $P = 2.850 = 57/20$ päivän periodin

3: Eivät havainneet 2.850, 19 tai 57 periodeja, mutta merkitsivät havaitut Algolin pimennykset Kairo kalenteriin → Nykyaikainen periodianalyysi löytää $P = 2.850 = 57/20$ päivän periodin

Argumentti V: “Algolin periodi on voinut päätyä Kairo kalenteriin pitkän aikavälin havainnoista.”



6. Jumalia (taivaankappaleita) täytyi kuvata vain epäsuorasti

- Auringonpimennykset huomattiin **varmasti**, **mutta** ensimmäinen egyptiläinen suora kuvaus 100 ekr
- Kirjurit välttivät suoraa taivaankappaleiden kuvaamista
- Kirjoittamistaito harvinaista
- Kirjoittaja yhteydessä jumaliin ja kuolleisiin → Epäsuoralla kuvauksella vältettiin jumalien viha → Säilytettiin “kosminen järjestys”
- Algolin nimiä: “Horus”, “Sekhmet” ja “Wedjat”

Argumentti 6: *“Välttääkseen rikkomasta kosmista järjestystä, kirjurit viittasivat Algoliin vain epäsuorasti.”*



7. Kairo kalenteri on täynnä viittauksia kahteen myyttiin.

– Myytti: Ihmiskunnan tuho

Horuksen silmä = Wedjat = Se raivoava taistelee kapinallisia vastaan, jotka vastustavat Ra jumalaa. Alussa Ra lähettää avustavia jumalia kalojen muodossa kuulemaan, mitä ihmiskunta on juonimassa. Ihmiskunnan huono käytös saa Ra:n lähettämään Horuksen silmän tappamaan kapinalliset. Kun Horuksen silmä muuttuu leijona-jumalar Sakhmetiksi, on ihmiskunta vaarassa tuhoutua. Muut jumalat värjäävät olutta punaiseksi, jotta Sakhmet luulisi sen olevan ihmisten verta. Sakhmet juo oluen, rauhoittuu ja ihmiskunta pelastuu.



- **Myytti: Horuksen ja Sethin kilpailu** Osiris on murhattu ja hän viettää aikaansa tuonpuoleisessa. Osiriksen paikasta seuraavana faaraona taistelevat hänen poikansa Horus ja hänen veljensä Seth. Jälkimmäinen on myös vastuussa Osiriksen kuolemasta. Muut jumalat järjestävät kiistan ratkaisemiseksi erilaisia kilpailuja, jotta selviäisi kumpi on parempi uudeksi hallitsijaksi. Horus on fyysisesti heikompia mutta älykkäämpi. Seth on vahvempi, mutta ei kovin älykäs. Seth häviää. Myytillä on kaksi vaihtoehtoista päätöstä. Ensimmäisessä jumalat jakavat Egyptin molempien kesken. Toisessa koko maa annetaan Horuksen hallittavaksi.

Argumentti VII: *“Kairo kalenteri on täynnä lainauksia kahdesta yllämainitusta myytistä.”*



8. Lainauksia edellä mainituista kahdesta myytistä käytettiin Algolin ja Kuun vaihtelun epäsuoraan kuvaamiseen.

- Lainauksien **järjestyksessä ei ole järkeä, jos** Kairo kalenteria luetaan **aikajärjestyksessä**.
- Lainauksien **järjestyksessä on järkeä, jos** Kairo kalenteria luetaan Algolin ja Kuun **vaihteiden järjestyksessä**.
- Kaikki tekstit löytyvät **Paper IV** Listoista 1 ja 2. **Nyt** käydään läpi vain kuvia.
- Kolme periaatetta, joiden ei tarvitse selittää kaikkea, koska säännöt muuttuivat tuhansien vuosien aikana
- Sama teksti voi viitata kahteen myyttiin (s.o. Algol ja Kuu)

1 Algolin ja Kuun kirkkaat vaiheet olivat onnekkaita ihmiskunnalle.

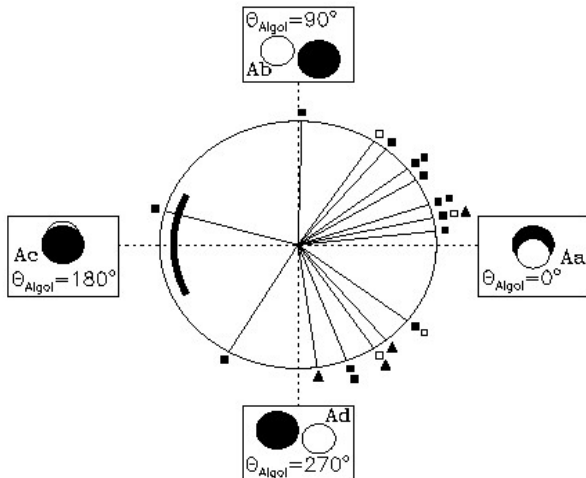
2 Molempia myyttejä käytettiin Algolin muutosten epäsuoraan kuvaamiseen.

3 Horuksen ja Sethin kilpailun myyttiä käytettiin Kuun muutosten epäsuoraan kuvaamiseen.

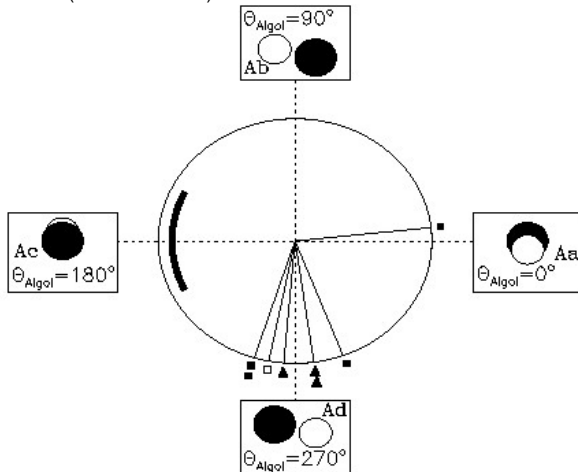
Argumentti VIII: *“Kahta myyttiä käytettiin Algolin ja Kuun vaihteluiden epäsuoraan kuvaamiseen.”*



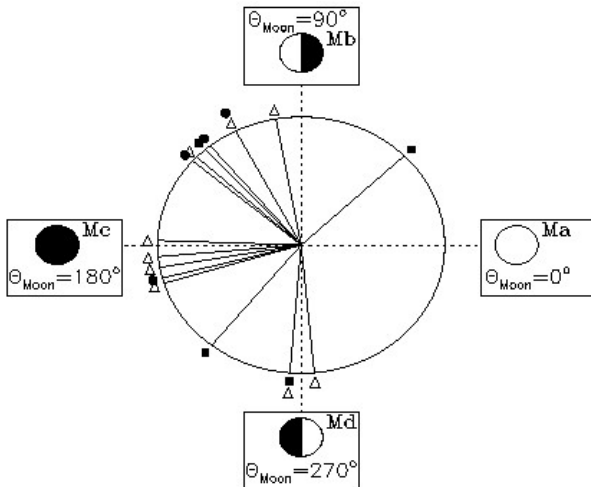
Algol: Hyvät ennusteet Horus (tumma neliö), Wadjet (avoin neliö),
Sakhmet (tumma kolmio)



Algol: Huonot ennusteet Horus (tumma neliö), Wadjet (avoin neliö), Sakhmet (tumma kolmio)



Kuu: Huonot ennusteet Horus (tumma neliö), Seth (avoin kolmio), Osiris (tumma ympyrä)



9. Nuorentuminen: Kyky kadota ja ilmestyä uudelleen liitettiin Horukseen.

Egyptiläisten maailmankuva

- **Kaikessa syklejä:** taivas, taivaan ilmiöt, Niili, tuulet, eläimet, ..., koko elämä, Faaraot (elävänä “Horus”, kuolleena “Osiris”)
- Kaikilla samat säännöt: Kaaoksen ja järjestyksen ikuinen taistelu
- **Kirjurit:** Algolin muutokset ⇒ Säännöllinen sykli ⇒ Rauhoittava havainto ⇒ Liitettävissä maailmankuvaan
- **Kairo kalenteri:** Teksti “luettavaa/ymmärrettävää” vain kirjureille ⇒ Myyttien yhteys Kuuhun ja Algoliin jäänyt löytämättä
- **Horus** ja **Horuksen silmä** aiemmissa egyptologisissa tutkimuksissa: Kuu, Planeetat, Tähdet

Argumentti IX: “Algolin liittäminen Horukseen oli luonnollista, koska Algol pystyi katoamaan ja ilmestymään.”



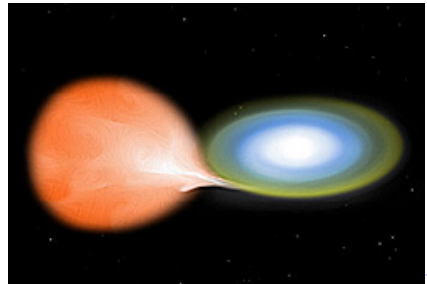
10. Astrofysiikka: Algolin periodi on ollut lyhyempi yli 3000 vuotta sitten.

Kirjurit tekivät samat havainnot

- Montanari 1669: Kirkkauden **muutos**
- Goodricke 1783: Muutosten **periodi**
- **Paljain silmin** havaittu periodisuus: Aurinko, Kuu, Planeetat, Tähdet
- **Kahdeksan kriteeriä** $\Rightarrow$ Kuu ja Algol helpoimmat $\Rightarrow$ Juuri näiden periodit löytyvät Kairo kalenterista



- **Massavirtaus** Algol A ja Algol B $\Rightarrow$ 2.850 päivää kasvanut 2.867 päivään $\Rightarrow$ Vastaa parasta mallia massavirtauksesta
 - **Pimennyksiä muinaisessa Egyptissä** $\Rightarrow$ Algol kolmoistähti: Ratatasot Algol A–B ja Algol AB–C **pitää olla kohtisuorat** $\Rightarrow$ **Ne ovat!**
- Argumentti X:** "Astrofysiikka ennustaa Algolin lyhyemmän 2.850 päivän periodin 3000 vuotta sitten."



Neljä artikkelia 2008-2018: Tärkeimmät johtopäätökset

A. Egyptiläiset löysivät muuttuvan tähden ja muutosten säännöllisyyden 3000 vuotta ennen “meitä” (Fabricius, Holvarda, Montanari, Goodricke).

Vastakysymys: Muut sivilisaatiot?

Aleksandrian kirjaston tuhka (Kopal 1946), Shamaanit (Pentikäinen 1997), Medusan myytti (Wilk 2000), ...

B. Ensimmäinen mittaus Algin periodin muutokselle = Tarkka mittaus Algin massavirtaukselle

C. Tarkka mittaus Algol A–B ja Algol AB–C ratatasojen väliselle kulmalle

D. Uutta tietoa muinaisesta Egyptistä
10 vuotta poikkitieteellistä tutkimusta:
Luonnontieteellinen (Periodianalyysi, Astronomia, Astrofysiikka) ja humanistinen (Egyptologia) argumentointi täysin erilaista
– **Paper IV (FAQs):** Loputtomasti vääriä ja täysin käsittämättömiä vasta-argumenteja

Vastakysymys: Jos ei Algol, niin ... “

Mikä oli sellaisen ilmiön alkuperä, **joka** tapahtui joka kolmas päivä, mutta aina 3 tuntia ja 36 minuuttia aikaisemmin kuin edellisellä kerralla, ja **joka** herätti muinaisten Egyptiläisten huomion?”

– Luigi Pirandello (Kirjallisuuden Nobel):

“A thing is so if it seems so.”

– Urho Kekkosen versio: **“Asiat tuppaa olemaan sitä miltä ne näyttää.”**

Kiitos! – Kysymyksiä?

