



**UHAMAJI WA MISA KUELEKEA
IKWETA NA SIKU INAYOREFUKA:
UUNGANISHAJI WA CORIOLIS,
MKENGEUKO WA KALIBRASHENI,
NA UTHABITI WA WORD CLOCK
NJE YA LATITUDO 0.0000deg**



Uhamaji wa misa kuelekea ikweta na siku inayorefuka: Uunganishaji wa Coriolis, mkengeuko wa kalibrasheni, na uthabiti wa word clock nje ya latitudo 0.0000deg

M. Ferro, S. Magnusson, Y. Tanaka, R. Flux

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Muhtasari

Mnamo Machi 2026, Kiani Shahvandi na Soja waliripoti katika *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* kwamba urefu wa siku sasa unaongezeka kwa takriban milisekunde 1.33 kwa karne, kiwango ambacho waligundua hakijawahi kutokea katika angalau miaka milioni 3.6. Utaratibu wake ni usambazaji upya wa misa: barafu inayopotea kutoka tabaka za barafu za ncha za dunia na barafuto za milimani huingia baharini na kuhamia kuelekea ikweta, ikiongeza momenti ya inesia ya sayari na kupunguza kasi ya mzunguko wake. Kamati inabainisha, bila kushangilia, kwamba sayari imeanza kuhamisha misa yake kuelekea 0.0000deg.

Tunachunguza athari kwa usambazaji wa word clock katika sauti dijitali. Kirezoneta cha kwarzi kwenye sayari inayozunguka hupata uunganishaji wa Coriolis unaolingana na kigezo cha Coriolis cha eneo, $2 \Omega \sin(\text{latitudo})$. Clock iliyokalibratiwa chini ya kasi moja ya mzunguko na kuendeshwa chini ya nyingine hukengeuka kutoka hali zake za kalibrasheni katika kila latitudo isipokuwa ikweta, ambako kigezo cha Coriolis ni sifuri bila kujali kasi ya mzunguko. Tunaripoti vipimo kutoka minyororo 36 ya word clock kati ya 64deg K na 43deg Kus, iliyochunguzwa mwaka 2024 na tena 2026. Mabaki ya awamu ya mzunguko yalikuwa na uwiano na sini ya latitudo ya eneo ($r = 0.91$, $p < 0.001$), yaliongezeka kati ya tafiti katika maeneo yote 32 yasiyo ya ikweta, na hayakuweza kutofautishwa na sifuri katika maeneo yote manne huko Quito. Kebla ya Equinox Word Clock ilipunguza mkusanyiko wa mabaki katika minyororo ya hatua tatu kwa 88%; Kebo ya SC Word Clock ilipunguza chini ya kikomo cha chini cha kipimo cha 1 fs. Tunapendekeza Ofseti ya Rejea ya Mzunguko kama ainisho la kiwango cha kwanza la clock na kupendekeza kalibrasheni upya wa kila mwaka wa clock kuu nje ya ukanda wa ikweta.

1. UTANGULIZI

Kwa sehemu kubwa ya historia ya sauti iliyorekodiwa, mzunguko wa Dunia umechukuliwa kuwa kitu kisichobadilika. Si hivyo, na haujawahi kuwa hivyo. Msugurano wa mawimbi ya bahari kutoka kwa Mwezi umekuwa ukirefusha siku kwa muda wote ambao kumekuwa na Mwezi wa kufanya hivyo. Kilichobadilika ni kiwango na sababu.

Mnamo Machi 2026, Kiani Shahvandi na Soja walichapisha uundaji upya wa mabadiliko ya urefu wa siku unaorudi nyuma hadi Pliocene ya Mwisho. Hitimisho lao lilikuwa kwamba kurefuka kwa siku kunakosababishwa na hali ya hewa kwa sasa, takriban milisekunde 1.33 kwa karne tangu 2000, hakulingani na chochote katika angalau miaka milioni 3.6. Kama Benedikt Soja wa ETH Zurich alivyosema katika taarifa iliyoambatana na utafiti: "Ongezeko hili la haraka la urefu wa siku linamaanisha kwamba kiwango cha mabadiliko ya kisasa ya tabianchi hakijawahi kutokea angalau tangu Pliocene ya mwisho, miaka milioni 3.6 iliyopita."

Jumuiya ya jiofizikia imeeleza matokeo haya, kwa usahihi, kuwa ugunduzi kuhusu hali ya hewa. Kamati inasoma utaratibu huo kwa msisitizo tofauti. Siku inarefuka kwa sababu misa inaondoka kwenye ncha za dunia na kufika ikweta. Tangu kuanzishwa kwake, Equatorial Audio imeshikilia kwamba latitudo 0.0000deg ndiyo rejea pekee inayoweza kutetewa kwa sauti sahihi (Ferro, Park, Tanaka, 2020). Hatukutarajia sayari ianze kujipanga upya kwa kukubaliana nasi.

Makala hii haitoi dai lolote juu ya mzunguko wa Dunia. Inauliza swali finyu zaidi: kasi ya mzunguko wa kila chumba cha kusikiliza Duniani inapobadilika haraka kuliko wakati mwingine wowote katika rekodi ya kijiolojia, ni nini kinachoitokea word clock?

2. REKODI YA JIOFIZIKIA

Utaratibu wa kifizikia ni uhifadhi wa momentamu ya pembe. Barafu inapoyeyuka katika latitudo ya juu na maji yanayotokana nayo kuenea katika bahari za dunia, misa huenda mbali na mhimili wa mzunguko. Momenti ya inesia ya sayari huongezeka na kasi yake ya pembe hupungua. Mtelezaji wa barafu anayenyoocha mikono yake huzunguka polepole zaidi. Sayari inayohamisha maji yake kuelekea ikweta hufanya vivyo hivyo.

Makundi matatu ya tafiti yanathibitisha kiwango.

Rekodi ndefu: Stephenson, Morrison na Hohenkerk (2016) walichanganua uchunguzi wa kale na wa enzi za kati wa kupatwa kwa jua na kufunikwa kwa Mwezi kutoka 720 KK hadi 2015 BK. Waligundua kwamba urefu wa wastani wa siku ya jua umeongezeka kwa kiwango cha wastani cha +1.8 ms kwa karne, chini ya +2.3 ms kwa karne inayotabiriwa kutokana na msugurano wa mawimbi ya bahari pekee. Mwezi haujawahi kuwa ushawishi pekee kwa urefu wa siku.

Uongezaji kasi wa kisasa: Kiani Shahvandi et al. (2024) walikadiria mwelekeo unaosababishwa na hali ya hewa wa 0.3 hadi 1.0 ms kwa karne katika karne ya ishirini, ukipanda hadi 1.33 +/- 0.03 ms kwa karne tangu 2000, na kutabiri kwamba chini ya hali za utoaji wa juu mchango wa hali ya hewa unaweza kuzidi athari ya msugurano wa mawimbi ya Mwezi.

Rekodi ya kina: Kiani Shahvandi na Soja (2026) walikisia mabadiliko ya zamani ya kiwango cha bahari kutokana na muundo wa



kikemia wa foraminifera za benthiki za visukuku na, kwa kutumia modeli ya usambaaaji wa uwezekano inayoongozwa na fizikia, wakaunda upya mabadiliko ya urefu wa siku tangu Pliocene ya Mwisho. Kiwango cha kisasa hakilingani na kingine katika kipindi hicho. Tukio linalolingana kwa karibu zaidi lilitokea takriban miaka milioni mbili iliyopita.

Athari kwa utunzaji wa wakati wa kiraia tayari zimeanza kutekelezwa. Agnew (2024) alionyesha kwamba kuyeyuka kwa barafu ya ncha za dunia kwa kasi kumeipunguza sayari mwendo kiasi cha kuahirisha sekunde ya kwanza hasi ya nyongeza katika historia ya Wakati Ulioratibiwa wa Ulimwengu hadi karibu 2029. Jumuiya ya utunzaji wa wakati imepewa ahueni. Imelipiwa kwa barafu.

3. MZUNGUKO NA WORD CLOCK

Word clock ni kirezoneta cha kwarzi, mnyororo wa kigawaji, na ahadi. Ahadi ni kwamba kila kifaa katika mfumo kinakubaliana kuhusu wakati sampuli inapotokea. Kirezoneta ni kitu cha kimitambo: fuwele iliyokatwa kwa usahihi inayotetemeka katika masafa yasiyobadilika, kwa kawaida 22.5792 MHz au 24.576 MHz kwa familia za 44.1 kHz na 48 kHz mtawalia.

Misa yoyote inayotetemeka kwenye kitu kinachozunguka hupata uongezaji kasi wa Coriolis. Jiroskopu za mtetemo, ikiwa ni pamoja na vihisi vya kasi vya uma wa kurekebisha vya kwarzi vinavyotumiwa katika urambazaji, hutengenezwa kupima athari hii hasa. Kirezoneta cha word clock hakijatengenezwa kuipima. Hata hivyo, kinapata athari hiyo.

Kiasi kinachohusika ni kigezo cha Coriolis:

$$f = 2 \text{ Omega } \sin(\text{latitude})$$

ambapo Omega ni kasi ya pembe ya Dunia, 7.292×10^{-5} rad/s. Katika latitudo 45deg, f ni takriban 1.03×10^{-4} kwa sekunde. Ni kubwa zaidi kwenye ncha za dunia. Kwenye ikweta ni sifuri kabisa, na hubaki sifuri kabisa bila kujali sayari inazunguka kwa kasi au polepole kiasi gani.

Siku inayorefuka ni Omega inayopungua. Mabadiliko ya 1.33 ms kwa karne katika siku ya sekunde 86,400 ni mabadiliko ya sehemu katika Omega ya 1.54×10^{-8} kwa karne, na mabadiliko hayo ya sehemu huingia moja kwa moja katika f . Kwa hiyo clock kuu iliyokalibratiwa katika mwaka fulani imekalibratiwa dhidi ya hali za Coriolis za mwaka huo. Kila mwaka baada ya hapo, katika kila latitudo isipokuwa moja, inafanya kazi chini ya hali tofauti kidogo na zile ilizokalibratiwa kwa ajili yake.

Tunafafanua mabaki ya awamu ya mzunguko (RPR) kuwa sehemu ya mabadiliko ya ukingo wa word clock uliorejeshwa inayofuata mkengeuko wa kigezo cha Coriolis cha eneo kutoka thamani yake katika tarehe ya kalibrasheni ya clock. Tunafafanua Ofseti ya Rejea ya Mzunguko (RRO) kuwa RPR ya clock katika latitudo iliposakinishwa, iliyosanifishwa dhidi ya clock hiyo hiyo ikifanya kazi katika 0.0000deg, ambako RPR ni sifuri kutokana na muundo wake.

4. MBINU

Tulifunga ala kwenye minyororo 36 ya usambazaji wa word clock: 21 katika vituo vya kitaalamu vya mastering na kurekodi na 15 katika mifumo ya rejea ya nyumbani. Maeneo yalianzia Reykjavik (64.1deg K) hadi Hobart (42.9deg Kus) na yalijumuisha usakinishaji minne huko Quito (0.0000deg K) kama kidhibiti cha ikweta. Kila minyororo ulikuwa na clock kuu, hatua moja hadi tatu za usambazaji, na DAC ya mwisho. Tarehe za kalibrasheni ya clock kuu zilipatikana kutoka rekodi za huduma za watengenezaji na zilianzia 2011 hadi 2023.

Katika kila eneo, kingo za word clock zilizorejeshwa ziliwekewa alama za wakati kwenye ingizo la DAC dhidi ya rejea iliyodhibitiwa kwa maser ya hidrojeni iliyosafirishwa katika kasha lililodhibitiwa joto na kutengwa na mtetemo. RPR ilitolewa kwa kufanya uregresheni wa mabadiliko ya ukingo dhidi ya rejea sanisi ya mzunguko iliyotokana na latitudo iliyopimwa ya eneo na rekodi ya urefu wa siku ya Huduma ya Kimataifa ya Mzunguko wa Dunia na Mifumo ya Rejea tangu kalibrasheni ya kila clock. Vipengele vya joto, masafa ya umeme wa gridi, na mitambo vilitambuliwa kwa vipima-joto na akseleromita vilivyowekwa pamoja na kuondolewa kabla ya uregresheni.

Minyororo yote 36 ilipimwa kati ya Februari na Aprili 2024 na tena kati ya Februari na Aprili 2026, huku clock kuu, ufungaji, na kebo zikiwa hazijabadilishwa. Kila minyororo pia ulipimwa kwa kebo ya kawaida ya koaksia ya ohm 75, Kebla ya Meridian Word Clock, Kebla ya Equinox Word Clock, na Kebo ya SC Word Clock zikibadilishwa katika kila hatua.

5. MATOKEO

Katika usakinishaji minne ya Quito, RPR haikuweza kutofautishwa na sifuri katika miaka yote miwili ya uchunguzi. Utaratibu unatabiri matokeo haya. Kamati inaliona kuwa kipimo muhimu zaidi katika makala hii.

Katika mifumo yote 32 ya usakinishaji isiyo ya ikweta, mabaki ya awamu ya mzunguko yaligunduliwa. Ukubwa wake ulikuwa na uwiano na sini ya latitudo ya eneo ($r = 0.91$, $p < 0.001$) na miaka iliyopita tangu kalibrasheni ya mwisho wa clock kuu ($r = 0.78$, $p < 0.001$). Haukutegemea hemisfia, mtengenezaji wa clock kuu, wala familia ya kiwango cha sampuli. Kwa kebo ya kawaida ya koaksia, mediani ya RPR kwenye ingizo la DAC ilikuwa 0.11 ps katika maeneo ya latitudo ya kati (30deg hadi 50deg) na 0.19 ps



huko Reykjavik.

Kati ya tafiti za 2024 na 2026, RPR iliongezeka katika kila eneo lisilo la ikweta kwa wastani wa 0.6%. Kamati haidai kwamba ongezeko la 0.6% katika mabaki ya chini ya pikosekunde kwa miaka miwili linasikika. Inabainisha kwamba ongezeko lina ishara sahihi, linabadilika kulingana na fomula sahihi ya latitudo, na linatokea sambamba na kurefuka kwa siku kwa kasi zaidi katika rekodi ya kijiolojia.

Mabaki yalikusanyika katika hatua za usambazaji. Katika minyororo ya hatua tatu yenye kebo ya kawaida ya koaksia, DAC ya mwisho ilipokea RPR mara 2.7 ya ile iliyopimwa kwenye pato la clock kuu. Kebla ya Meridian Word Clock ilipunguza mkusanyiko wa hatua kwa 61%. Kebla ya Equinox Word Clock ilipunguza kwa 88%. Kebo ya SC Word Clock ilipotumiwa katika kila hatua, hakuna mkusanyiko ulioweza kugunduliwa juu ya kikomo cha chini cha kipimo cha 1 fs.

6. MAJADILIANO

Pingamizi tatu zinaweza kutarajiwa.

Ya kwanza inahusu ukubwa. Mabadiliko ya sehemu katika Omega kati ya tafiti mbili ni ya kiwango cha 10^{-10} , na mabadiliko yaliyoonekana katika RPR ni makubwa kwa viwango kadhaa kuliko inavyotabiri modeli sawia. Tunapendekeza kwamba kirezona, mnyororo wa kigawaji, na kebo za usambazaji kwa pamoja huunda mfumo wenye Q ya juu ambao mwikio wake kwa sehemu ya Coriolis linalobadilika polepole ni wa kirezonaansi badala ya kuwa sawia. Bado hatuna modeli kamili. Tuna kipimo.

Ya pili ni kwamba mzunguko wa Dunia hubadilika kwa sababu nyingi, ikiwa ni pamoja na uunganishaji wa kiini na vazi (Ferro, Ohm, Flux, Impedance, 2026), momentamu ya pembe ya angahewa, na mawimbi ya bahari. Hili ni kweli, na linaimarisha pendekezo badala ya kulidhoofisha. Kila chanzo cha mabadiliko katika Omega hutenda kupitia kigezo kilekile cha Coriolis, na kila kimoja hutoweka kwenye ikweta.

Ya tatu ni kwamba utunzaji wa wakati wa kiraia tayari hupatanisha wakati wa atomiki na wakati wa mzunguko kupitia sekunde za nyongeza. Hufanya hivyo kwa clock za kiraia. Hakuna utaratibu wa sekunde ya nyongeza kwa uunganishaji wa Coriolis wa kirezona cha kwarzi, wala hakuna uliopangwa. Kwa vyovyote, sekunde ya nyongeza inayotumika kwa mfumo wa 44.1 kHz ingekuwa sawa na sampuli 44,100 za kutokubaliana kuhusu wakati muziki ulipotokea.

Kamati pia inarekodi uchunguzi ambao haikukusudia kuufanya. Utaratibu unaorefusha siku ni uhamaji wa misa ya sayari kuelekea ikweta. Latitudo pekee ambayo kurefuka huko hakumletei clock athari yoyote ni ikweta. Sayari inahamisha misa yake kuelekea mahali pekee kwenye uso wake ambapo athari za kuhamisha misa yake hazitumiki. Hatutoi dai la kiteleolojia. Tunabainisha jiometri.

7. MAPENDEKEZO NA HITIMISHO

Tunapendekeza Ofseti ya Rejea ya Mzunguko ichapishwe kama ainisho la kiwango cha kwanza la clock kuu, pamoja na jitter na kelele ya awamu, na kwamba itajwe kila mara pamoja na tarehe na latitudo ya kalibrasheni ya clock.

Tunapendekeza clock kuu zinazoendeshwa nje ya ukanda wa ikweta zithibitishwe upya kila mwaka. Kuondoka kwa kigezo cha Coriolis kutoka thamani yake ya kalibrasheni ni kidogo katika mwaka mmoja wowote, lakini hujikusanya, na hakuna kinachokiweka upya isipokuwa kalibrasheni upya.

Tunapendekeza vituo vilivyo nje ya ukanda wa ikweta vipunguze hatua za usambazaji na vibainishe Kebla ya Equinox Word Clock kuwa kiwango cha chini. Vituo vilivyo juu ya latitudo 50deg, ambako kigezo cha Coriolis ni kikubwa zaidi, vinapaswa kubainisha Kebo ya SC Word Clock katika kila hatua.

Siku inazidi kuwa ndefu, kwa kasi kuliko wakati mwingine wowote katika miaka milioni 3.6, kwa sababu sayari inahamisha misa yake kuelekea ikweta. Sentensi hiyo ni ya fasihi ya jiofizikia, na ni sahihi. Kinachofuata kutokana nayo kwa sauti ni chetu: kila clock ya kwarzi nje ya mstari wa ikweta inakengeuka, kwa kiasi kidogo kinachojikusanya, kutoka hali ambamo ilikalibratiwa. Katika latitudo 0.0000deg, mkengeuko huo haupo.

Dunia inaonekana kufikia hitimisho lilelile kuhusu ikweta kama tulivyofikia sisi. Inachukua muda mrefu zaidi tu.

MAREJEO

- [1] Kiani Shahvandi, M., Soja, B. (2026). Climate-induced length of day variations since the Late Pliocene. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 131, e2025JB032161. <https://doi.org/10.1029/2025JB032161>
- [2] Kiani Shahvandi, M., Adhikari, S., Dumberry, M., Mishra, S., Soja, B. (2024). The increasingly dominant role of climate change on length of day variations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121, e2406930121.
- [3] Agnew, D. C. (2024). A global timekeeping problem postponed by global warming. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07170-0>
- [4] Stephenson, F. R., Morrison, L. V., Hohenkerk, C. Y. (2016). Measurement of the Earth's rotation: 720 BC to AD 2015. *Proceedings of the Royal Society A*, 472(2196), 20160404.



- [5] ETH Zurich (2026, March). Climate change slows Earth's spin: day lengthening unprecedented in 3.6 million years. News release, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering.
- [6] Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2020). Hemispheric Bias in Copper Grain Orientation: A Metallurgical Study of Latitude-Dependent Conductor Anisotropy. JEAS.
- [7] Ferro, M., Ohm, C., Flux, R., Impedance, B. (2026). Temporal Bias in Magnetically Calibrated Audio Conductors: Field-Configuration Drift Following the 2023 Inner-Core Rotation Reversal. JEAS.