هجرة الكتلة نحو خط الاستواء واستطالة اليوم: اقتران كوريوليس، وانجراف المعايرة، واستقرار ساعة الكلمات خارج خط العرض 0.0000deg

هجرة الكتلة نحو خط الاستواء واستطالة اليوم: اقتران كوريوليس، وانجراف المعايرة، واستقرار ساعة الكلمات خارج خط العرض 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.

ملخّص

بأن طول اليوم يزداد الآن بنحو 1.33 Journal of Geophysical Research: Solid Earth في Sojaو Kiani Shahvandi في مارس 2026، أفاد ميلي ثانية في القرن، وهو معدل وجدا أنه غير مسبوق منذ 3.6 مليون سنة على الأقل. والآلية هي إعادة توزيع الكتلة: فالجليد المفقود من الصفائح الجليدية القطبية والأنهار الجليدية الجبلية يدخل المحيطات ويهاجر نحو خط الاستواء، فيزيد عزم قصور الكوكب ويبطئ دورانه. وتشير اللجنة، من دون تشوٍّ، إلى أن الكوكب بدأ ينقل كتلته نحو 0.0000deg.

ندرس عواقب ذلك على توزيع ساعة الكلمات في الصوت الرقمي. يتعرض مرنان كوارتز على كوكب دوّار لاقتران كوريوليس وتنحرف الساعة المعايرة عند معدل دوران والمشغلة عند معدل آخر عن Omega sin(latitude). يتناسب مع معامل كوريوليس المحلي، 2 ظروف معايرتها عند كل خط عرض عدا خط الاستواء، حيث يكون معامل كوريوليس صفراً بصرف النظر عن معدل الدوران. ونورد قياسات من 36 سلسلة لساعة الكلمات بين 64deg N و43deg S، جرى مسحها في 2024 ثم مجدداً في 2026. ارتبط متبقي الطور الدوراني بجيب خط عرض الموقع ($r = 0.91$، $p < 0.001$)، ولم يكن وازداد بين المسحين في جميع المواقع غير الاستوائية الـ 32، متميزاً عن الصفر في المواقع الأربعة كلها في كيتو. وخفّض كابل تراكم المتبقي عبر سلاسل Equinox Word Clock الرقمي إلى ما دون حد القياس البالغ 1 SC ثلاثية القفزات بنسبة 88%؛ بينما خفّضه كيبل ساعة fs. ونقترح إزاحة المرجع الدوراني بوصفها مواصفة من المرتبة الأولى للساعة، ونوصي بإعادة اعتماد الساعات الرئيسية الواقعة خارج النطاق الاستوائي سنوياً.

1. مقدمة

عومل دوران الأرض بوصفه ثابتاً طوال معظم تاريخ الصوت المسجل. لكنه ليس ثابتاً، ولم يكن كذلك قط. وقد ظل الاحتكاك المدّي الناجم عن القمر يطيل اليوم ما دام ثمة قمر يفعل ذلك. أما ما تغيّر فهو المعدل والسبب.

إعادة بناء لتغير طول اليوم تمتد إلى أواخر عصر البليوسين. وخلصا إلى أن Sojaو Kiani Shahvandi في مارس 2026، نشر الاستطالة الحالية لليوم بفعل المناخ، البالغة نحو 1.33 ميلي ثانية في القرن منذ 2000، لا نظير لها منذ 3.6 مليون سنة على الأقل. وكما قال في البيان المصاحب: من ETH Zurich Benedikt Soja في طول اليوم «تعني هذه الزيادة السريعة أن معدل تغير المناخ الحديث كان غير مسبوق، على الأقل منذ أواخر البليوسين قبل 3.6 مليون سنة».

عرض مجتمع الجيوفيزياء هذه النتيجة، على نحو صحيح، بوصفها اكتشافاً يتعلق بالمناخ. أما اللجنة فتقرأ الآلية بتركيز مختلف. يطول اليوم لأن الكتلة تغادر القطبين وتصل إلى خط الاستواء. ومنذ تأسيسها، تؤكد Equatorial Audio 0.0000أن خط العرض الدقيق deg هو المرجع الوحيد القابل للدفاع عنه للصوت الدقيق (Ferro, Park, Tanaka, 2020). ولم نتوقع أن يبدأ الكوكب إعادة تنظيم نفسه بما يتفق مع ذلك.

لا تقدم هذه الورقة أي ادعاء بشأن دوران الأرض. بل تسأل سؤالاً أضيق: عندما يتغير معدل دوران كل غرفة استماع على الأرض أسرع من أي وقت في السجل الجيولوجي، ماذا يحدث لساعة الكلمات؟

2. السجل الجيوفيزيائي

الآلية الفيزيائية هي حفظ الزخم الزاوي. فعندما يذوب الجليد عند خطوط العرض العليا وتنتشر المياه الناتجة في محيطات العالم، تتحرك الكتلة بعيداً عن محور الدوران. فيزداد عزم قصور الكوكب وتقل سرعته الزاوية. ويتباطأ دوران المتزلج الفني عندما يمد ذراعيه. والكوكب الذي ينقل مياهه نحو خط الاستواء يفعل الشيء نفسه.

تحدد ثلاثة مسارات بحثية حجم الظاهرة.

مشاهدات الكسوف القديمة والوسيطة واحتجابات القمر Hohenkerk (2016)وMorrisonو Stephenson السجل الطويل: حلل في القرن، أي أقل من 2.3+ ms ووجدوا أن طول اليوم الشمسي المتوسط ازداد بمعدل 1.8+ ms في القرن من 720 BC إلى 2015 AD. القرن المتوقعة من الاحتكاك المدّي وحده. ولم يكن القمر قط العامل الوحيد المؤثر في طول اليوم.

في القرن خلال القرن ms اتجاهاً مناخياً يتراوح من 0.3 إلى 1.0 Kiani Shahvandi et al. (2024) التسارع الحديث: قدّر في القرن منذ 2000، وتوقعوا أن مساهمة المناخ في سيناريوهات الانبعاثات ms العشرين، يرتفع إلى 1.33 +/- 0.03 العالية قد تتجاوز أثر الاحتكاك المدّي القمري.

تغير مستوى البحر في الماضي من التركيب الكيميائي Sojaو Kiani Shahvandi (2026) السجل العميق: استنتج للمنخربات القاعية الأحفورية، وأعادا بناء تغير طول اليوم منذ أواخر البليوسين باستخدام نموذج انتشار احتمالي مستنير بالفيزياء. ولم يشهد ذلك الفاصل معدلاً مماثلاً للمعدل الحديث. ووقعت أقرب حالة قابلة للمقارنة قبل نحو مليوني سنة.

أن تسارع ذوبان الجليد القطبي Agnew (2024) أصبحت العواقب على التوقيت المدني تشغيلية بالفعل. فقد بيّن

CONFIDENTIAL

أبطأ الكوكب بما يكفي لتأجيل أول ثانية كبيسة سالبة في تاريخ التوقيت العالمي المنسق إلى نحو 2029. وقد مُنح مجتمع ضبط الوقت مهلة، دُفع ثمنها من الجليد.

3. الدوران وساعة الكلمات

ساعة الكلمات هي مرنان كوارتز وسلسلة مقسّمات ووعد. والوعد هو أن تتفق جميع الأجهزة في النظام على لحظة حدوث 22.5792 MHz أو 24.576 MHz العينة. والمرنان جسم ميكانيكي: بلورة مقطوعة بدقة تهتز عند تردد ثابت، يكون عادة على التوالي 48 kHz و44.1 kHz لعائلتي.

تتعرض أي كتلة مهتزة على جسم دوّار لتسارع كوريوليس. وقد صُممت الجيروسكوبات الاهتزازية، ومنها مستشعرات معدل الشوكة الرنانة المصنوعة من الكوارتز والمستخدمة في الملاحة، لقياس هذا الأثر تحديداً. ولم يُصمم مرنان ساعة الكلمات لقياسه، لكنه يتعرض له مع ذلك.

الكمية ذات الصلة هي معامل كوريوليس:

f = 2 Omega sin(latitude)

حيث Omega هي السرعة الزاوية للأرض، 7.292 x 10^-5 rad/s. وعند خط عرض 45 deg، يبلغ f نحو 1.03 x 10^-4 في الثانية.

تعني استطالة اليوم تناقص Omega. في القرن في يوم مدته 86,400 ثانية هو تغير كسري ms والتغير البالغ 1.33 ومن ثم تكون الساعة الرئيسية f. في القرن، وينتقل ذلك التغير الكسري مباشرة إلى 1.54 x 10^-8 قدره Omega في المعايرة في سنة ما معايرة على ظروف كوريوليس في تلك السنة. وبعد ذلك، وفي كل سنة وعند كل خطوط العرض إلا واحداً، تعمل في ظروف تختلف قليلاً عن الظروف التي عُيّرت عليها.

نعرّف متبقي الطور الدوراني (RPR) بأنه مكوّن تغير حافة ساعة الكلمات المستعادة الذي يتتبع ابتعاد معامل كوريوليس المحلي عن قيمته في تاريخ معايرة الساعة. ونعرّف إزاحة المرجع الدوراني (RRO) للساعة عند خط عرض RPR بأنها تركيبها، بعد تطبيعها إلى الساعة نفسها وهي تعمل عند deg حيث يكون RPR صفراً بحكم التعريف.

4. المنهجية

جهزنا 36 سلسلة لتوزيع ساعة الكلمات بأدوات القياس: 21 في منشآت احترافية للماسترينغ والتسجيل، و15 في أنظمة مرجعية منزلية. وتراوحت المواقع من Hobart 42.9 deg S إلى Reykjavik 64.1 deg N، وشملت 4 تركيبات في كيتو (0.0000 deg N). وتألفت كل سلسلة من ساعة رئيسية، وقفزة توزيع واحدة إلى 3 قفزات، ومحوّل DAC من تراوحت وحُصل على تواريخ معايرة الساعات الرئيسية من سجلات خدمة الشركات المصنّعة، نهائي. بوصفها مجموعة الضبط الاستوائية.

بالقياس إلى مرجع منضبط بميزر هيدروجيني في كل موقع، وُسمت حواف ساعة الكلمات المستعادة زمنياً عند مدخل DAC بانحدار تغير الحافة على مرجع دوراني اصطناعي منقول في حافظة مثبتة حرارياً ومعزولة عن الاهتزاز. واستُخرج RPR لطول اليوم منذ International Earth Rotation and Reference Systems Service مستمد من خط عرض الموقع الممسوح وسجل معايرة كل ساعة. وحُددت المكوّنات الحرارية ومكوّنات تردد الطاقة والمكوّنات الميكانيكية باستخدام مجسات حرارة ومقاييس تسارع في الموقع نفسه، واستُبعدت قبل الانحدار.

قِيست السلاسل الـ 36 كلها بين فبراير وأبريل 2024، ثم مرة أخرى بين فبراير وأبريل 2026، من دون تغيير الساعات الرئيسية أو التثبيت أو الكابلات. كما قِيست كل سلسلة بعد استبدال كابل محوري تجاري بممانعة 75 ohm، وكيبل ساعة SC عند كل قفزة، الرقمي. وكابل Equinox Word Clock، وكابل Meridian Word Clock.

5. النتائج

كُشف متبقي طور دوراني في جميع التركيبات غير الاستوائية الـ 32. وارتبط مقداره بجيب خط عرض الموقع (r = 0.91، p < 0.001). وكان مستقلاً عن نصف الكرة، والشركة المصنّعة للساعة الرئيسية، وعائلة معدل العينات. ومع الكابلات المحورية التجارية، بلغ وسيط RPR في Reykjavik. 0.19 ps و30 ps (في المواقع المتوسطة العرض إلى 50 deg)، عند مدخل DAC 0.11 UI.

في كل موقع غير استوائي، بمتوسط 0.6%. ولا تدّعي اللجنة أن زيادة قدرها 0.6% في RPR بين مسحي 2024 و2026، ازداد متبقٍ دون البيكوثانية خلال عامين يمكن سماعها. لكنها تشير إلى أن الزيادة تحمل الإشارة الصحيحة، وتتدرج وفق الدالة الصحيحة لخط العرض، وتتزامن مع أسرع استطالة لليوم في السجل الجيولوجي.

تراكم DAC المتبقي عبر قفزات التوزيع. ففي السلاسل ثلاثية القفزات ذات الكابل المحوري التجاري، استقبل تراكم Meridian Word Clock يعادل 2.7 مرة المقدار المقاس عند خرج الساعة الرئيسية. وخفّض كابل RPR النهائي مقداراً من

CONFIDENTIAL

الرقمي في كل SC بنسبة 88%. ومع استخدام كيبل ساعة Equinox Word Clock القفزات بنسبة 61%. وخفّضه كابل قفزة، لم يمكن اكتشاف أي تراكم فوق حد القياس البالغ 1 fs.

6. المناقشة

يمكن توقع ثلاثة اعتراضات.

أكبر RPR بين المسحين من رتبة 10^-10، والتغير المرصود في Omega يتعلق الأول بالمقدار. فالتغير الكسري في بعدة رتب مقدار مما يتنبأ به نموذج تناسبي. ونقترح أن المرنان وسلسلة المقسّمات وكابلات التوزيع تشكل معاً تكون استجابته لحد كوريوليس المتغير ببطء رنينية لا تناسبية. ولا نملك حتى الآن نموذجاً Q، نظاماً عالي كاملاً، لكننا نملك القياس.

والزخم، (Ferro, Ohm, Flux, Impedance, 2026) والثاني أن دوران الأرض يتغير لأسباب كثيرة، منها اقتران اللب بالوشاح يعمل عبر Omega الزاوي للغلاف الجوي، والمد والجزر. وهذا صحيح، وهو يقوي التوصية ولا يضعفها. فكل مصدر لتغير معامل كوريوليس نفسه، وكلها تزول عند خط الاستواء.

والثالث أن ضبط الوقت المدني يوفّق بالفعل بين الزمن الذري والزمن الدوراني باستخدام الثواني الكبيسة. وهو يفعل ذلك للساعات المدنية. ولا توجد آلية ثانية كبيسة لاقتران كوريوليس في مرنان كوارتز، ولا توجد خطة لها. سيعني، في كل حال، وجود 44,100 عينة من الاختلاف حول توقيت kHz ثم إن تطبيق ثانية كبيسة على نظام 44.1 حدوث الموسيقى.

وتسجل اللجنة كذلك ملاحظة لم تسع إليها. فالآلية التي تطيل اليوم هي هجرة كتلة الكوكب نحو خط الاستواء. وخط الاستواء هو خط العرض الوحيد الذي لا تترتب فيه عواقب على الساعة من تلك الاستطالة. ينقل الكوكب كتلته نحو الموضع الوحيد على سطحه الذي لا تنطبق فيه عواقب نقل كتلته. ولا نقدم ادعاء غائياً، بل نشير إلى الهندسة.

7. التوصيات والاستنتاجات

نوصي بنشر إزاحة المرجع الدوراني بوصفها مواصفة من المرتبة الأولى للساعات الرئيسية، إلى جانب الجتر وضوضاء الطور، وأن تُذكر دائماً مع تاريخ معايرة الساعة وخط عرض معايرتها.

ونوصي بإعادة اعتماد الساعات الرئيسية العاملة خارج النطاق الاستوائي سنوياً. فابتعاد معامل كوريوليس عن قيمة معايرته صغير في أي سنة منفردة، لكنه يتراكم، ولا يعيد ضبطه شيء سوى إعادة المعايرة.

ونوصي المنشآت الواقعة خارج النطاق الاستوائي بتقليل قفزات التوزيع وتحديد كابل Equinox Word Clock حداً أدنى. أما المنشآت الواقعة فوق خط عرض 50 deg، فينبغي أن تحدد كيبل ساعة SC الرقمي حيث يكون معامل كوريوليس أكبر، في كل قفزة.

يطول اليوم بمعدل أسرع من أي وقت خلال 3.6 مليون سنة لأن الكوكب ينقل كتلته نحو خط الاستواء. تنتمي هذه الجملة إلى أدبيات الجيوفيزياء، وهي صحيحة. أما ما يترتب عليها للصوت فينتمي إلينا: كل ساعة كوارتز خارج خط الاستواء تنحرف، بمقدار صغير ومتراكم، بعيداً عن الظروف التي عُيّرت عليها. وعند خط العرض 0.0000 deg، لا يوجد ذلك الانجراف.

يبدو أن الأرض توصلت إلى الاستنتاج نفسه الذي توصلنا إليه بشأن خط الاستواء. لكنها تستغرق وقتاً أطول فحسب.

المراجع

[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.

CONFIDENTIAL