ترجمة عربية للمقال المنشور بالإنجليزية. ليست إصدارًا معتمدًا من المجلة.

متاهة قيود النظام الشمسي: طريق علمي مسدود يكشف الآلة بين الأكوان

Yarel A*

قسم علم الفلك وفيزياء الفضاء، Alien-Science Association of Astronomy Org.il، إسرائيل

مقال بحثي · المجلد 3، العدد 2
تاريخ الاستلام: 16 ديسمبر 2025 · تاريخ النشر: 24 ديسمبر 2025
DOI: 10.23880/oaja-16000167

المؤلف المراسل: Alon Yarel, Department of Astronomy & Space Physics, Alien-Science Association of Astronomy Org.il, Aliyat Hanoar 9, Kiryat Shmona, P.O. 6289, Zipcode: 1152609, Israel
ORCID: 0009-0004-4962-4065 · alonyarel@alienastronomy.com
www.alienastronomy.com/home

الملخص

السياق: تُعامَل عادةً فترات الثبات الظاهري للميل الشمسي، والبواقي نصف السنوية لقياسات الجاذبية من GRACE، والتدفقات الحلزونية الممغنطة الخارجة في البيئات النجمية بوصفها ظواهر غير مترابطة. وكل منها مقاس جيدًا ومتين، لكن لا يوجد تفسير فيزيائي موحد لها ضمن الفيزياء الشمسية والجيوديسيا التقليديتين.

الأهداف: نبحث فيما إذا كان من الممكن تفسير هذه الظواهر الثلاث - السلوك الهندسي للميل، والإشارات نصف السنوية لقياسات الجاذبية، والتدفقات الحلزونية الحثية واسعة النطاق - بوصفها تجليات مستقلة لمجال خارجي ضعيف واحد يؤثر في منظومة الأرض والشمس، وما إذا كان مثل هذا المجال يستلزم فئة محدودة من البنى واسعة النطاق.

الطرائق: نتبع أربع خطوات. أولًا، نشتق خط أساس هندسيًا بحتًا للميل الشمسي ونحدد كميًا سلوك الثبات الظاهري قرب الانقلابين عند ثبات ميل محور الأرض. ثانيًا، نحلل الباقي نصف السنوي لـ GRACE بعد تطبيق تصحيحات منظومة الأرض، ونفحص علاقته الطورية ببواقي الميل بالنسبة إلى خط الأساس الهندسي. ثالثًا، نبني نموذجًا محافظًا لمجال خارجي فعال يتوافق مع مجموعتي البيانات ونقدر عزم الدوران المطلوب. رابعًا، نحلل موازنات الطاقة والزخم الزاوي لبنى فيزيائية فلكية مرشحة لتحديد ما يمكنه منها توليد مجال ذي التناظر والمقدار والاستقرار المستنتجة.

النتائج: يثبت الاشتقاق الهندسي أن فترات الثبات الظاهري للميل تنشأ حصرًا من تأثيرات الإسقاط عند ثبات ميل المحور، مما يوفر خط أساس واضحًا يمكن قياس البواقي الصغيرة بالنسبة إليه. وعند طرح خط الأساس هذا من بيانات الميل المرصودة، تُظهر البواقي مركبة نصف سنوية متوافقة في الطور مع الباقي نصف السنوي لـ GRACE ومستقرة عبر نوافذ زمنية متعددة السنوات. وتستلزم مطابقة السعات عزم دوران خارجيًا من رتبة 10^{17} N m. ويبين تحليل عام للمجال الفعال أن بنى البلازما الحثية المتراصفة محوريًا والممغنطة حلزونيًا تستطيع توليد عزم دوران ذي التناظر والمقدار والاستقرار الطويل الأمد المطلوبة، مع بقائها متوافقة مع القيود المفروضة على دوران الأرض ومدارها.

الاستنتاجات: ضمن هذا الإطار، تظهر هندسة الشمس وقياسات الجاذبية من GRACE وديناميكا MHD الحلزونية الحثية بوصفها ثلاثة تجليات رصدية لعزم دوران خارجي ضعيف واحد يؤثر في منظومة الأرض والشمس. وتحدد قيود المجال الفعال «متاهة قيود» مغلقة تصل فيها النماذج التقليدية إلى طريق علمي مسدود، ويضيق فضاء المعلمات المسموح به إلى فئة صغيرة من البنى الحلزونية الحثية، يتوافق أحد تجسيداتها الممكنة مع ما سُمّي الآلة بين الأكوان.

الكلمات المفتاحية: الشمس: المجالات المغناطيسية؛ الجاذبية؛ الأرض؛ الأنظمة الكوكبية؛ الهيدروديناميكا المغناطيسية (MHD)؛ الطرائق: تحليلية؛ الجيوديسيا الفضائية

Copyright © Yarel A

الاختصار

MHD: الهيدروديناميكا المغناطيسية.

المقدمة

قدّم المؤلف Yarel A لأول مرة في [1] هذا التأطير الموحد، القائم على المجال الفعال، للبواقي نصف السنوية لقياسات الجاذبية، وخطوط الأساس الهندسية للميل، والبنى الحلزونية الحثية.

تتعامل الفيزياء الفلكية الحديثة والجيوديسيا الفضائية عادةً مع تسخين الهالة الشمسية، والنفاثات النجمية الأولية، والتغيرات الزمنية للجاذبية على أنها تنتمي إلى تخصصات فرعية منفصلة. لكنها تُظهر عمليًا أنماطًا بنيوية متشابهة على نحو لافت: تدفقات خارجة حلزونية ثنائية القطب تنبثق من مناطق مدمجة، ومجالات مغناطيسية قوية مقترنة ببلازما موصلة، وإشارات نصف سنوية طويلة العمر في السلاسل الزمنية للجاذبية، وأنماطًا هندسية في الحركة الظاهرية للشمس. وعند النظر إلى هذه الظواهر مجتمعة، فإنها تشكل «متاهة» شديدة التقييد من المتطلبات الرصدية التي يجب أن يحققها أي نموذج فيزيائي موحد.

من جانب الفيزياء الشمسية، تصل الهالة الشمسية إلى درجات حرارة 10^6 K، أعلى بأكثر من رتبتين من حيث المقدار من درجات حرارة الغلاف الضوئي، رغم عدم وجود مسار إشعاعي أو توصيلي بسيط لمثل هذا التسخين. وتوفر ديناميكا باطن الشمس المرتبطة بذلك على النطاق الواسع، بما فيها الدوران التفاضلي وتوليد المجال الحلقي، سياقًا أساسيًا لنقل الطاقة المغناطيسية [2,3]. ومن الجانب الجيوديسي، كشفت بعثتا GRACE وGRACE-FO عن مركبة نصف سنوية متينة في مجال جاذبية الأرض تستمر بعد التصحيحات الهيدرولوجية والجوية وتصحيحات الغلاف الجليدي والمحيطات المعتادة [4,5].

هندسيًا، يُظهر الميل الشمسي فترات «ثبات ظاهري» تمتد عدة أيام قرب الانقلابين، وغالبًا ما تُفسر خطأً بوصفها دليلًا على تغيرات قصيرة الأمد في ميل محور الأرض. وعلى مقاييس النجوم الأولية والأجرام المدمجة، تُرصد تدفقات خارجة ثنائية القطب شديدة التسديد وبنى حلزونية ممغنطة، تحمل في كثير من الأحيان تدفقات من الطاقة المغناطيسية تتحدى السيناريوهات المعتمدة حصرًا على التراكم [6,7].

يطرح هذا العمل سؤالًا متحفظًا لكنه أساسي: هل يمكن فهم هذه الظواهر المتباينة ظاهريًا بوصفها تجليات مستقلة لمجال خارجي ضعيف واحد يؤثر في منظومة الأرض والشمس؟ لا نفترض فيزياء أساسية جديدة؛ بل نعتمد منظور المجال الفعال، الذي يمكن فيه تمثيل أي مساهمة إضافية في البيئة الجذبية والكهرومغناطيسية للنظام الشمسي بكمون Φ_{eff} يُضاف إلى الكمون النيوتوني المعتاد.

ثم نسأل عن الشكل الذي يجب أن يتخذه هذا الكمون لكي يحقق القيود الهندسية وقيود قياسات الجاذبية مجتمعة. والمتطلبات الناتجة صارمة بما يكفي لتحدد متاهة قيود مغلقة؛ وضمن هذه المتاهة تصل التصورات التقليدية للفيزياء الشمسية والجيوديسيا إلى طريق علمي مسدود، ما لم يُسمح بوجود بنية إضافية واسعة النطاق.

نتبع أربع خطوات:

- نعيد النظر في هندسة الميل الشمسي ونثبت بدقة ثبات ميل محور الأرض على المقاييس الزمنية الموسمية، وبذلك نحدد كميًا سلوك الثبات الظاهري المتوقع.
- نحلل الباقي نصف السنوي لـ GRACE وعلاقته الطورية ببواقي الميل بعد طرح خط الأساس الهندسي.
- نبني نموذجًا عامًا لمجال خارجي فعال يتوافق مع هذه المشاهدات، ونشتق سعة عزم الدوران المطلوبة.
- نفحص فئات البنى الفيزيائية الفلكية المعروفة القادرة على توليد مثل هذا المجال، ونبين أن بنى البلازما الحثية واسعة النطاق والممغنطة حلزونيًا وحدها تتوافق مع جميع القيود.

لا يتطرق النقاش إلى المفهوم الافتراضي لبنية حثية واسعة النطاق عابرة للأكوان، سُمّيت سابقًا الآلة بين الأكوان [1]، إلا في هذه الخطوة الأخيرة. ولا نهدف إلى الترويج لسيناريو كوني بعينه، بل إلى بيان أنه بمجرد فرض القيود الرصدية والهندسية، يتقلص فضاء المعلمات المسموح به للمجال الخارجي إلى فئة ضيقة جدًا من التجسيدات الفيزيائية.

التحليل الهندسي لفترات الثبات الظاهري للميل الشمسي

يُعرَّف الميل الشمسي δ بأنه الزاوية بين أشعة الشمس والمستوى الاستوائي للأرض. وفي منظومة هندسية بحتة للأرض والشمس ذات ميل محوري ثابت ε، ومع إهمال الاضطرابات، يتطور الميل وفقًا للعلاقة

$$\delta(t) = \arcsin\left[\sin \varepsilon \sin \lambda(t)\right] \qquad (1)$$

حيث $\lambda(t)$ هو طول الشمس الكسوفي. ولا يتضمن هذا التعبير أي درجة حرية لتغير ميل المحور على المدى القصير؛ إذ يدخل الاعتماد الزمني حصرًا من خلال $\lambda(t)$، الذي يتقدم بانتظام شبه تام على طول دائرة البروج.

باشتقاق المعادلة (1) بالنسبة إلى الزمن نحصل على

Copyright © Yarel A

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{\sin\varepsilon\ \cos\lambda(t)}{\cos\delta(t)}\frac{d\lambda}{dt} \qquad (2)$$

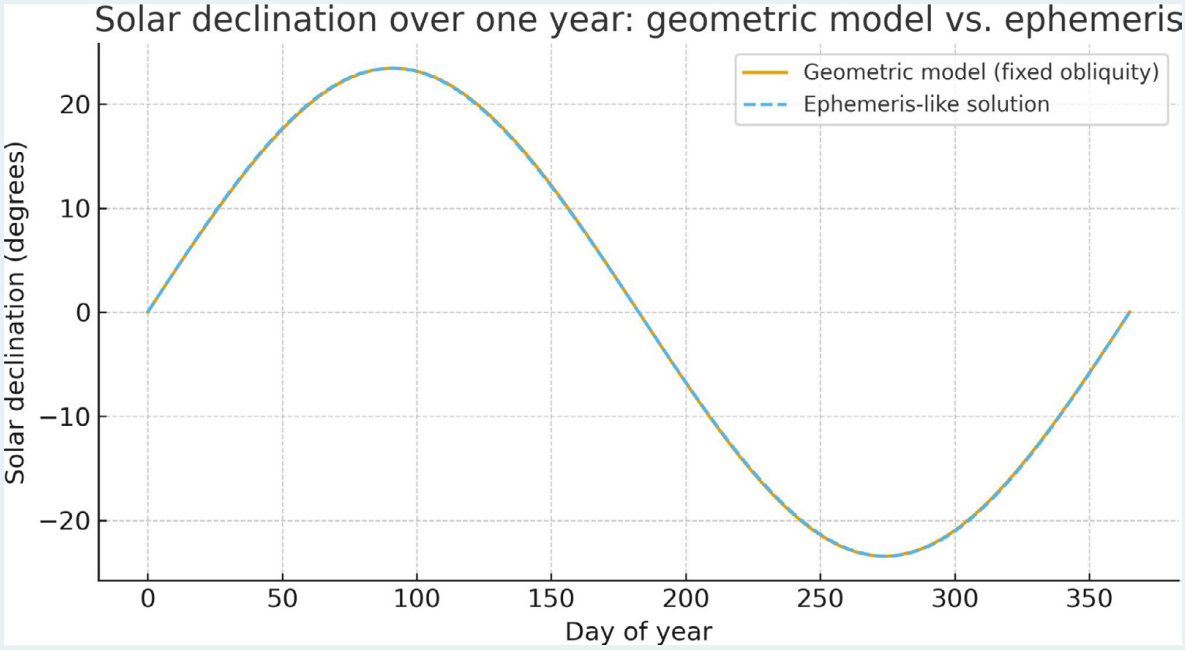
قرب الانقلابين، يكون $\lambda \approx 90°$ أو $270°$، ومن ثم $\cos\lambda \approx 0$.

$$\frac{d\delta}{dt} \approx 0 \qquad (3)$$

وبالتالي، حتى إن كان ε ثابتًا تمامًا. لذلك ينشأ «الثبات الظاهري» المرصود للميل على مدى عدة أيام قرب الانقلابين بوصفه تأثير إسقاط هندسيًا بحتًا، ولا يتطلب أي تغير قصير الأمد في ميل محور الأرض.

لتحديد التغير البطيء قرب الانقلاب كميًا، نوسع المعادلة (1) حول $\lambda = 90°$، فنكتب (الشكل 1)

$$\lambda = 90^\circ + \Delta\lambda, \quad (4)$$



الشكل 1: الميل الشمسي على مدى سنة بدلالة يوم السنة. يوضح المنحنيان المتصل والمتقطع التوافق الوثيق بين نموذج هندسي ذي ميل محوري ثابت وحل شبيه بالزيج الفلكي، ويبرزان سلوك الثبات الظاهري قرب الانقلابين. ويوفر المنحنى خط الأساس $\delta_{geom}(t)$ المستخدم لتعريف الباقي $\Delta\delta_{res}(t)$.

حُفظ الرسم الأصلي دون تغيير؛ تُرجم التعليق التوضيحي أدناه. مفتاح: يوم السنة؛ الميل الشمسي (درجات)؛ نموذج هندسي (ميل محوري ثابت)؛ حل شبيه بالزيج الفلكي.

مع كون $\Delta\lambda$ صغيرًا (بالراديان). وباستخدام $\sin(90° + \Delta\lambda) = \cos\Delta\lambda \approx 1 - \Delta\lambda^2/2$، نحصل على

$$\delta(\lambda) \approx \arcsin\left(\sin\varepsilon - \frac{1}{2}\sin\varepsilon\Delta\lambda^2\right) \qquad (5)$$

بتوسيع دالة الجيب العكسية حول $x_0 = \sin\varepsilon$ واستخدام $\arcsin x_0 = \varepsilon$ و$(d\arcsin x/dx)|_{x_0} = 1/\cos\varepsilon$، نجد

$$\delta(\lambda) \approx \varepsilon - \frac{\tan\varepsilon}{2}\Delta\lambda^2 \qquad (6)$$

لتكن السرعة الزاوية المدارية المتوسطة للأرض

$$\omega = \frac{2\pi}{365} rad\ day^{-1} \qquad (7)$$

بحيث $\Delta\lambda = \omega\,\Delta t$، حيث Δt هو عدد الأيام بالنسبة إلى اللحظة الدقيقة للانقلاب. وبالتعويض في المعادلة (6) نحصل على

$$\Delta\delta \equiv \delta - \varepsilon \approx -\frac{\tan\varepsilon}{2}(\omega\Delta t)^2 \qquad (8)$$

عند $\varepsilon \simeq 23.44°$، يعطينا ذلك

$$|\Delta\delta| \approx 0.0037^\circ (\Delta t)^2, \qquad (9)$$

بحيث

$$\Delta t = 2days \Rightarrow |\Delta\delta| \approx 0.015^\circ, \qquad (10)$$

$$\Delta t = 3days \Rightarrow |\Delta\delta| \approx 0.033^\circ, \qquad (11)$$

Copyright © Yarel A

$$\Delta t = 4days \Rightarrow |\Delta\delta| \approx 0.059^{\circ}. \quad (12)$$

هذه التغيرات أصغر بكثير من التقريب إلى 0.1° المستخدم عادةً في جداول الميل، مما يفسر تمامًا ظهور توقف ممتد في القيم المدرجة في الجداول.

عمليًا، يمكن حساب التعبير في المعادلة (1) باستخدام زيج شمسي عالي الدقة لتوليد منحنى مرجعي هندسي بحت $\delta_{geom}(t)$ يمكن مقارنة قيم الميل المرصودة $\delta_{obs}(t)$ به. ونعرف باقي الميل كما يلي

$$\Delta\delta_{res}(t) = \delta_{obs}(t) - \delta_{geom}(t) \quad (13)$$

يمكن عندئذ تفسير أي بنية ذات دلالة إحصائية في $\Delta\delta_{res}(t)$ تتجاوز السلوك التربيعي للثبات الظاهري المضمن في المعادلة (8) بوصفها دليلًا على اضطرابات إضافية، تشمل، من بين احتمالات أخرى، عزوم دوران خارجية ضعيفة.

نستنتج أن النمط المرصود للتغيرات السريعة في الميل قرب الاعتداليين، وفترات الثبات الظاهري الممتدة من 3 إلى 4 أيام عند الانقلابين، يفسره تمامًا النموذج الهندسي المعتاد ذو الميل المحوري الثابت.

لا يلزم أي عزم دوران خارجي أو تأثير جذبي شاذ أو تغير في ميل محور الأرض لإعادة إنتاج هذه السمات. وفي الوقت نفسه، يوفر النموذج الهندسي خط أساس واضحًا يمكن البحث بالقياس إليه عن أي انحرافات دقيقة قد تنشأ عن عزوم دوران خارجية ضعيفة.

إشارة GRACE نصف السنوية بوصفها بصمة لقياسات الجاذبية

قدمت بعثتا GRACE وGRACE-FO أكثر من عقدين من القياسات عالية الدقة للتغيرات الزمنية في مجال جاذبية الأرض [4,5]. وبعد التصحيحات المعتادة لإعادة توزيع الكتلة الهيدرولوجية والجوية وكتلة الغلاف الجليدي والمحيطات، تتضمن إشارة الجاذبية المتبقية مركبة نصف سنوية مستمرة. ويمكن تمثيل هذه المركبة تخطيطيًا كما يلي

$$g_{res}(t) = A_{6m}\sin(\omega_{6m}t + \phi_g) + \mathcal{O}\ \text{(annual, noise)}, \quad (14)$$

حيث A_{6m} هي السعة نصف السنوية، و$\omega_{6m} = 2\omega_{annual}$، و$\varphi_g$ هو الطور المرصود بالنسبة إلى الاعتدال.

تجريبيًا، يتوافق الطور نصف السنوي توافقًا وثيقًا مع القيم القصوى والصغرى للميل الشمسي عندما يُلائم الأخير بإضافة تضمين نصف سنوي صغير فوق النموذج الهندسي البحت. وبصورة مكافئة، يمكن تحليل باقي الميل $\Delta\delta_{res}(t)$ المعرف في المعادلة (13) كما يلي

$$\Delta\delta_{res}(t) \approx B_{6m}sin(\omega_{6m}t + \phi_{\delta}) + ..., \quad (15)$$

مع $\varphi_{\delta} \approx \varphi_g$ ضمن حدود عدم اليقين.

ليس من السهل تفسير هذا الاتساق الطوري بين $\Delta\delta_{res}(t)$ و$g_{res}(t)$ اعتمادًا على العمليات الداخلية لمنظومة الأرض وحدها، التي تتبع عادةً مؤثرات هيدرولوجية ذات هيمنة سنوية. في المقابل، فإن عزم دوران خارجي دوري، جذبي أو جذبي كهرومغناطيسي، يؤثر في منظومة الأرض والشمس سيولد طبيعيًا بصمة نصف سنوية في كل من الكميات الهندسية المرصودة (الميل) وكميات قياسات الجاذبية المرصودة (GRACE).

لنمذجة ذلك، نعتبر عزم دوران ضعيفًا $\tau(t)$ ذا دورية نصف سنوية:

$$\tau(t) = \tau_0 sin(\omega_{6m}t + \phi_{\tau}) \quad (16)$$

يُحدث هذا العزم اضطرابًا صغيرًا في الزخم الزاوي المداري للأرض L:

$$\frac{d\Delta L}{dt} = \tau(t) \quad (17)$$

بحيث

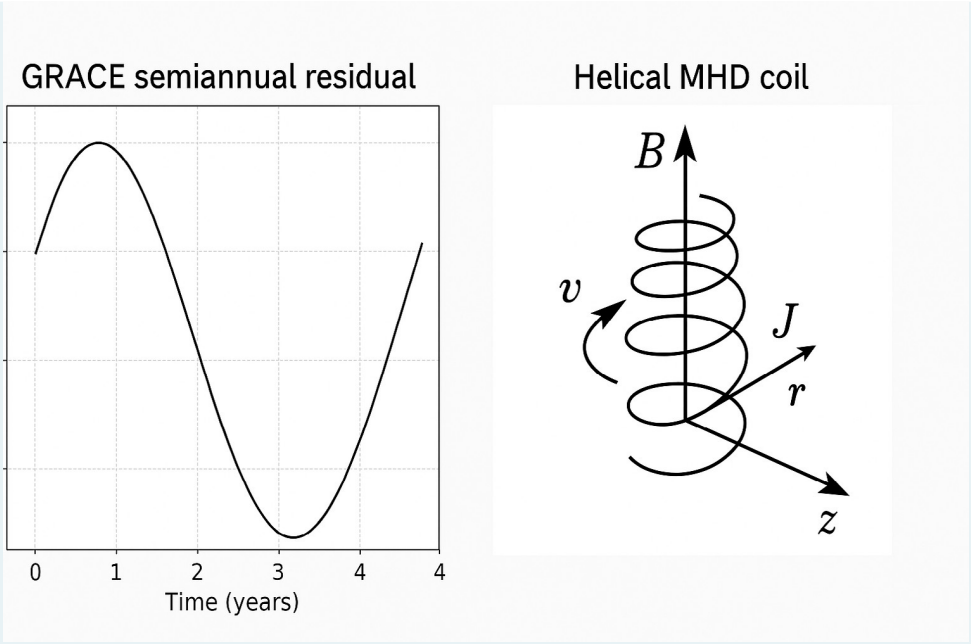
$$\Delta L(t) \propto -\frac{\tau_0}{\omega_{6m}t}\cos(\omega_{6m}t + \phi_{\tau}) \quad (18)$$

تؤدي مطابقة سعة GRACE المرصودة مع سعة التضمين الهندسي في باقي الميل إلى تقدير متسق لعزم الدوران الكامن من رتبة

$$\tau_0 \sim 10^{17}\,Nm \quad (19)$$

النقطة الأساسية هي أنه بعد إزالة المساهمات المعتادة لمنظومة الأرض، تبقى بصمة نصف سنوية متسقة ومقترنة طوريًا بباقي الميل الشمسي. ويوفر الوصف القائم على مجال خارجي فعال لغة طبيعية لتمثيل هذا التأثير المتبقي (الشكل 2 والجدولان 1 و2).

Copyright © Yarel A



الشكل 2: مركبة نصف سنوية تخطيطية لسلسلة زمنية من بواقي قياسات الجاذبية، توضح السلوك الجيبي الأساسي بتردد $2\omega_{annual}$ وطور ϕ_g. وتُختار السعة A_{6m} والطور بحيث يتوافقان مع المركبة نصف السنوية لباقي GRACE بعد التصحيحات المعتادة، كما تمثلها المعادلة (14).

حُفظ الرسم الأصلي دون تغيير؛ تُرجم التعليق التوضيحي أدناه. مفتاح الرسم: باقي GRACE نصف السنوي؛ الزمن (سنوات)؛ ملف MHD حلزوني.

السلسلة	A_{6m}	$\sigma(A_{6m})$	ϕ	$\sigma(\phi)$
Mascon	0.927	0.129	2.902	0.137
GOMA	1.006	0.272	-2.565	0.268
الميل	0.381	0.001	2.137	0.002

الجدول 1: معلمات الملاءمة نصف السنوية المستمدة من المعادلة (20). تُعرض الأطوار ϕ بالراديان وفق الاصطلاح المرجعي نفسه المستخدم في الملاءمة.

الزوج	f [yr^{-1}]	C^2	p
Mascon مقابل باقي الميل	2.0625	0.683	0.12
Mascon مقابل GOMA (SHC)	2.0625	0.544	0.073

الجدول 2: الاتساق عند التردد نصف السنوي وقيم p المستمدة من بيانات بديلة.

الملاءمة نصف السنوية وحالات عدم اليقين

تُلائم كل سلسلة $y(t)$ (الزمن t بالسنوات) باستخدام النموذج التوافقي نفسه:

$$y(t) = c_0 + c_1 t + a_1 \sin(2\pi t) + b_1 \cos(2\pi t) + a_2 \sin(4\pi t) + b_2 \cos(4\pi t) \quad (20)$$

حيث يمثل الزوج (a_2, b_2) المركبة نصف السنوية. ونعرض السعة نصف السنوية A_{6m} والطور ϕ من خلال

$$A_{6m} = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}, \quad \phi = a\tan 2(b_2, a_2) \quad (21)$$

- **اختبار الاتساق الطوري:** نختبر الفرضية الصفرية H_0 التي تنص على عدم وجود علاقة نصف سنوية مقترنة طوريًا بين الكميات المرصودة بعد التصحيحات المعتادة، باستخدام تحقيقات بديلة للحصول على قيم p عند $f \simeq 2\ yr^{-1}$. ولتقييم ما إذا كانت المركبات نصف السنوية متسقة طوريًا عبر الكميات المرصودة، نحسب مربع مقدار الاتساق $C^2(f)$ عند التردد نصف السنوي بين أزواج من السلاسل، ونقيّم الدلالة بالقياس إلى النموذج الصفري البديل.
- **استقرار الطور عبر الفترات الزمنية:** لتقييم ما إذا كانت العلاقة الطورية نصف السنوية المستنتجة مستقرة مع الزمن، وليست خاضعة لهيمنة فترة واحدة، نكرر الملاءمة التوافقية للمعادلة (20) في نوافذ منزلقة مدتها 6 سنوات وبخطوة سنة واحدة، باستخدام السلاسل الشهرية المتزامنة. وبالنسبة إلى Mascon مقابل باقي الميل، يبقى فرق الطور المُعاد إلى المجال الأساسي $\Delta\varphi = \varphi_{Mascon} - \varphi_{\Delta\delta}$ محدودًا، بمتوسط $\Delta\varphi = 0.85$ rad وانحراف معياري 0.20 rad عبر $N = 18$ نافذة، مما يشير إلى أن التوافق نصف السنوي ليس أثرًا مصطنعًا لنافذة واحدة.

Copyright © Yarel A

نموذج محافظ لمجال خارجي فعال

نقدم الآن مجالًا فعالًا محافظًا Φ_{eff} يُضاف إلى كمون الجاذبية النيوتوني المعتاد. ويُمثل هذا المجال، بحكم بنائه، أي تأثير إضافي، سواء كان جذبيًا أو كهرومغناطيسيًا أو مختلطًا، يمكن تمثيله على مستوى كمون فعال.

نكتب الكمون الكلي كما يلي

$$\Phi_{tot} = \Phi_N + \Phi_{eff} \qquad (22)$$

حيث Φ_N هو الكمون النيوتوني المعتاد للشمس والكواكب والأجرام التقليدية الأخرى، وΦ_{eff} تصحيح صغير ينبغي تحديد شكله الدالي. وعندئذ يكون التسارع الفعال

$$a_{eff} = -\nabla\Phi_{eff}\,. \qquad (23)$$

تفرض القيود الهندسية وقيود قياسات الجاذبية مجتمعةً المتطلبات التالية على Φ_{eff}:

- **الدورية نصف السنوية:** تردد البواقي المرصودة هو $2\omega_{\text{annual}}$، لذا يجب أن يولد المجال عزم دوران بالدورية نفسها.
- **التراصف المحوري:** تقتضي العلاقة الطورية مع الميل الشمسي أن يتراصف المجال الفعال مع محور دوران الشمس، أو أن يُعرَّف على الأقل بالرجوع إليه (قارن ببنية دوران الشمس واسعة النطاق؛ المؤلف: Thompson MJ [4]، Beck JG [5]).
- **المقدار الضعيف:** مقياس عزم الدوران في المعادلة (19) صغير بما يكفي لتجنب تغيرات قابلة للكشف في دوران الأرض، لكنه كبير بما يكفي لترك بصمة في GRACE.
- **الاستقرار الطويل الأمد:** يتطلب الاتساق الطوري على مدى سنوات عديدة مصدرًا مستقرًا على مقاييس زمنية تمتد عقودًا.
- **الحلزونية ونقل الزخم الزاوي:** يجب أن يتوافق المجال مع آلية تنقل الزخم الزاوي طبيعيًا وتحافظ على محور مفضل، كما في التدفقات الخارجة الممغنطة حلزونيًا [6].

يمكن كتابة تمثيل ظواهري أدنى يحقق الشرطين الأولين كما يلي

$$\Phi_{eff}(r,\lambda) = \Phi_0(r) + \epsilon r^{-n}\cos\left(2\lambda(t)+\phi\right) \qquad (24)$$

حيث $\Phi_0(r)$ مساهمة ذات تناظر محوري، و$n > 0$ يمثل التناقص الشعاعي، وϵ سعة صغيرة عديمة الأبعاد، وϕ إزاحة طور تحددها الوضعية النسبية للمجال الفعال ودائرة البروج.

يتناسب عزم الدوران المقابل المؤثر في منظومة الأرض والشمس وفقًا للعلاقة

$$\tau(t) \sim \epsilon\, r^{-n} \sin\left(2\lambda(t)+\phi\right) \qquad (25)$$

بنى MHD الحلزونية بوصفها التجسيد الطبيعي

البنى واسعة النطاق الممغنطة حلزونيًا منتشرة في البلازما الفيزيائية الفلكية. فهي تظهر في النفاثات النجمية الأولية، ونوى المجرات النشطة، وثنائيات الأشعة السينية، وغيرها من الأنظمة التي تتفاعل فيها الحركة الدورانية والمجالات المغناطيسية والتدفقات الخارجة [6,7]. وهذه البنى فعالة في نقل الزخم الزاوي وتوليد مجالات ممتدة ومنتظمة؛ وفي سياقات الأجرام المدمجة، توفر آليات الاستخلاص الكهرومغناطيسي معايير مرجعية مفيدة لدراسة طاقة التدفقات الخارجة المتواسطة مغناطيسيًا [8].

يعتمد نموذج بسيط لأنبوب تدفق هيدروديناميكي مغناطيسي (MHD) حلزوني إحداثيات أسطوانية (r, φ, z)، ويكتب المجال المغناطيسي كما يلي

$$B(r) = B_z(r)\hat{z} + B_\varphi(r)\hat{\varphi} \qquad (26)$$

حيث B_z وB_φ هما المركبتان المحورية والحلقية، على الترتيب. ويمكن كتابة مجال سرعة البلازما على نحو مماثل كما يلي

$$v(r) = v_z(r)\hat{z} + v_\varphi(r)\hat{\varphi} \qquad (27)$$

معادلة الحث لبلازما موصلة ذات معامل انتشار مغناطيسي η هي

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla\times\left(v\times B - \eta\nabla\times B\right), \qquad (28)$$

حيث η هو معامل الانتشار المغناطيسي. ولتدفق حلزوني ذي سرعة محورية v_z وسرعة سمتية v_φ، يكتسب الضرب الاتجاهي $v \times B$ مركبة شعاعية

$$(v\times B)_r = v_z B_\varphi - v_\varphi B_z, \qquad (29)$$

تقابل مجالًا كهربائيًا حثيًا شعاعيًا

$$E_r = -(v\times B)_r = -\left(v_z B_\varphi - v_\varphi B_z\right). \qquad (30)$$

تنقل البنية الحلزونية نفسها، التي تنقل الطاقة والفيض المغناطيسي، الزخم الزاوي أيضًا. ويمكن كتابة عزم الدوران المغناطيسي الذي يؤثر به أنبوب التدفق في محيطه تخطيطيًا كما يلي

Copyright © Yarel A

$$\tau_{MHD} \sim \int r J_{\varphi} B_z dA \qquad (31)$$

وهو يمتلك بالضبط التناظر نصف السنوي الذي تتطلبه المعادلة (16). وتختزل المسألة عندئذ في تحديد البنى الفيزيائية القادرة على توليد كمون بالشكل الوارد في المعادلة (24)، وبالسعة التي تستلزمها المعادلة (19).

حيث J_{φ} هي كثافة التيار السمتية. وبالنسبة إلى البنى الممتدة ذات المقاييس المميزة المماثلة لمقياس النظام الشمسي أو الأكبر منه، يمكن بسهولة الحصول على مقادير لعزم الدوران ضمن المجال

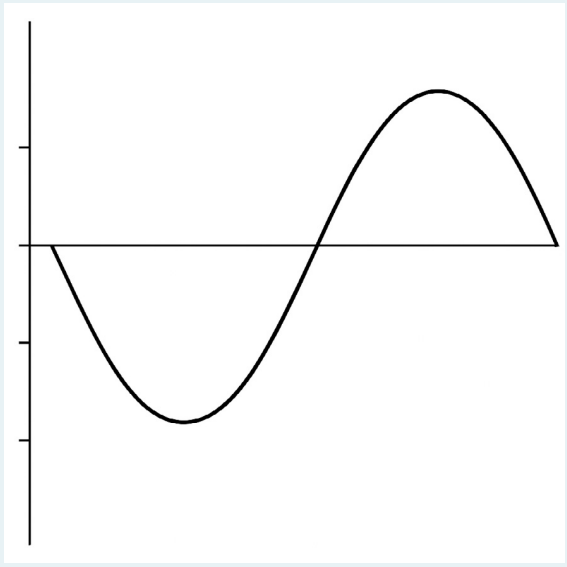
$$10^{16} \lesssim \tau MHD \lesssim 10^{18}\, Nm\,, \qquad (32)$$

الذي يحيط بهامش واسع بالقيمة المستنتجة في المعادلة (19).

التفسير والآلة بين الأكوان

للتوضيح، نشير صراحةً إلى العرض الأساسي للآلة بين الأكوان الذي اقترحه المؤلف: انظر [1] وصفحة المقال المرتبطة (doi:10.23880/oaja-16000130).

حتى هذه النقطة، كان التحليل متحفظًا عن قصد. وقد: (i) اشتققنا خط أساس هندسيًا للميل الشمسي وحددنا كميًا سلوك الثبات الظاهري؛ و(ii) حددنا باقيًا نصف سنوي لقياسات الجاذبية في بيانات GRACE مقترنًا طوريًا بباقي الميل؛ و(iii) قدمنا نموذجًا أدنى لمجال خارجي فعال يتوافق مع هذه المشاهدات؛ و(iv) بينّا أن بنى البلازما الحثية واسعة النطاق والممغنطة حلزونيًا تشكل فئة طبيعية من التجسيدات المتوافقة مع التناظر والمقدار المستنتجين، مع بقائها متوافقة مع قيود مستقلة (الشكل 3).



الشكل 3: يسارًا: باقي GRACE نصف السنوي التوضيحي، كما في الشكل 2. يمينًا: رسم تخطيطي لأنبوب تدفق هيدروديناميكي مغناطيسي حلزوني يحمل تيارًا محوريًا J ومجالًا مغناطيسيًا B وسرعة تدفق v في إحداثيات أسطوانية (r, z). ويمكن لهذه البنى توليد قوة دافعة كهربائية حثية وإجهاد مغناطيسي كبيرين، مما يوفر أصلًا فيزيائيًا معقولًا لعزم الدوران الخارجي الضعيف المستنتج من المشاهدات الهندسية وقياسات الجاذبية في النظام الشمسي.

حُفظ الرسم الأصلي دون تغيير؛ تُرجم التعليق التوضيحي أدناه.

نربط الآن هذا الوصف القائم على المجال الفعال بتفسير فيزيائي ملموس. فالفكرة المركزية للآلة بين الأكوان ليست قانون قوة جديدًا، بل بيئة ذات بنية ينتظم داخلها النظام الشمسي: بنية بلازمية حثية طويلة العمر، منظمة محوريًا وممغنطة حلزونيًا، تستطيع تبادل الزخم الزاوي والطاقة مع منظومة الأرض والشمس، مع بقائها ضعيفة بما يكفي للإفلات من وسائل التشخيص المداري التقليدية.

يمكن ضمن هذا المقال وصف الآلة إجرائيًا بالعناصر الدنيا التالية:

- **محور مفضل مستقر:** توحي العلاقة الطورية بين بواقي الميل والمركبة نصف السنوية لقياسات الجاذبية بوجود تأثير خارجي مرجعه محور دائم. وفي تصور الآلة، توفر البنية الحلزونية واسعة النطاق هذا المحور (قارن بمتطلب التراصف المحوري في القسم 4).
- **المغنطة الحلزونية والحث:** يدعم التشكيل الممغنط حلزونيًا طبيعيًا مجالات كهربائية حثية عبر $v \times B$، وينقل الإجهاد عبر الشد والضغط المغناطيسيين. وهذا يوفر قناة ذات أساس فيزيائي لعزم دوران ضعيف ومتسق ونصف سنوي، من دون الحاجة إلى مؤثرات سريعة ودقيقة الضبط داخل منظومة الأرض.

Copyright © Yarel A

- **قناة عزم دوران ضعيفة لكنها متسقة:** القيد التجريبي هو سعة عزم دوران من رتبة $\tau_0 \sim 10^{17}$ N m (المعادلة 19)، تؤثر دوريًا وفق التناظر نصف السنوي. وفي تفسير الآلة، يمثل هذا العزم البصمة العيانية للإجهادات المغناطيسية والحثية للبنية الحلزونية المحيطة، بعد إسقاطها على الهندسة المدارية لمنظومة الأرض والشمس.
- **الاستقرار الطويل الأمد:** يدفع الاستقرار الطوري المتعدد السنوات إلى افتراض مصدر مستقر على مقاييس زمنية تمتد عقودًا. ولذلك تُعامل الآلة بوصفها بنية شبه ساكنة بالنسبة إلى النظام الشمسي، بدلًا من ظاهرة عابرة مدفوعة على نحو متقطع.

من منظور المجال الفعال المعتمد هنا، فإن الأصل الكوني التفصيلي للبنية الحلزونية مسألة ثانوية. وما يهم رصديًا هو أنها تتصرف كنظام حلزوني حثي على المقاييس ذات الصلة بالنظام الشمسي، وتولد التناظر والمقدار المطلوبين لعزم الدوران، وتظل مستقرة خلال المدة الزمنية للقياسات. وبهذا المعنى، يمكن اعتبار الآلة بين الأكوان تجسيدًا ملموسًا واحدًا للمجال الفعال المجرد في غير ذلك Φ_{eff} [1]؛ ولا يمكن بعد استبعاد تجسيدات أخرى ضمن فئة التناظر نفسها.

التنبؤات الرصدية

يُنتج إطار المجال الخارجي الفعال المطور هنا عدة تنبؤات قابلة للدحض تميزه عن النماذج التي تُعامل فيها الفيزياء الشمسية والجيوديسيا الفضائية وMHD النجوم الأولية على أنها مستقلة إلى حد كبير:

- **اتساق التضمين نصف السنوي:** ينبغي أن يظهر تضمين نصف سنوي دقيق على نحو متسق في: (i) بواقي GRACE وGRACE-FO [4,5]؛ و(ii) بواقي الميل الشمسي عند مستوى $0.01^\circ \sim$؛ و(iii) قياسات VLBI عالية الدقة للترنح والمبادرة؛ و(iv) العناصر المدارية للأقمار الصناعية في المدارات المتزامنة مع الشمس.
- **الانبعاث الميكروي للهالة:** ينبغي أن يُظهر طيف انبعاث الهالة مركبة متوافقة مع مصدر ميكروي مستدام مرتبط بملفات نشطة كهرومغناطيسيًا، يمكن أن يُكشف عنه كنمط محدد في المشاهدات الراديوية ودون المليمترية، مع تضمين زمني مميز مرتبط بهندسة الآلة [1].
- **النفاثات النجمية الأولية الحلزونية:** ينبغي أن تُظهر النفاثات الحلزونية ثنائية القطب في الأنظمة النجمية الأولية بصمات توصيلية واستقطابية متوافقة مع ملفات واسعة النطاق، بما في ذلك حلزونية مغناطيسية منتظمة وقدرة حثية كافية لتسخين الهالات النجمية الناشئة قبل استقرار الاحتراق النووي [6].
- **تراصف المحاور:** على المقاييس الزمنية الطويلة، ينبغي أن يحافظ محور دوران الشمس على تراصف ذي دلالة إحصائية مع الاتجاه المستنتج لعزم الدوران الخارجي، كما يُعاد بناؤه من قياسات الجاذبية والقياسات الهندسية مجتمعة [2,3].

الاستنتاجات

طورنا إطارًا موحدًا يجمع الهندسة وقياسات الجاذبية وMHD، تُفسر فيه هندسة الشمس وقياسات الجاذبية من GRACE وديناميكا MHD الحلزونية الحثية بوصفها ثلاثة أوجه رصدية لعملية كامنة واحدة: عزم دوران خارجي ضعيف يؤثر في منظومة الأرض والشمس. والعناصر الأساسية لهذا الإطار هي:

- برهان هندسي على أن فترات الثبات الظاهري المرصودة في الميل الشمسي قرب الانقلابين تنشأ طبيعيًا من تأثيرات الإسقاط عند ثبات ميل محور الأرض، مما يوفر خط أساس واضحًا للبحث عن عزوم دوران خارجية دقيقة.
- تفسير للمركبة نصف السنوية المستمرة في قياسات الجاذبية من GRACE بوصفها البصمة الجذبية لعزم دوران خارجي ضعيف يؤثر في منظومة الأرض والشمس، بسعة 10^{17} N m $\sim$ [4,5].
- نموذج ذو أساس فيزيائي تولد فيه بنى البلازما الحثية واسعة النطاق والممغنطة حلزونيًا مجالًا فعالًا بالشكل المطلوب، منتجةً طبيعيًا عزم دوران ضعيفًا واسع النطاق ومتراصفًا مع محور مفضل [6,8].

تحدد هذه العناصر مجتمعة متاهة قيود مغلقة: فضمن البيانات الهندسية وبيانات قياسات الجاذبية المجمعة، تصل النماذج التقليدية إلى طريق علمي مسدود ما لم تُدخل بنية إضافية واسعة النطاق. وتوفر الآلة بين الأكوان تجسيدًا متسقًا رياضيًا واحدًا لمثل هذه البنية [1]. ورغم أنها افتراضية بوصفها سيناريو كونيًا محددًا، فإن إطار المجال الخارجي الفعال ذاته محافظ وقابل للاختبار.

الملحق أ: فحص اتساق رتبة المقدار لـ $\tau_0 \sim 10^{17}$ N m

عزم الدوران نصف السنوي $\tau(t) = \tau_0 \sin(\omega_{6m} t + \varphi)$ دوري بحت، ولذلك لا يولد انجرافًا تراكميًا طويل الأمد في الزخم الزاوي. والمقياس ذو الصلة هو سعة الزخم الزاوي المتذبذب

Copyright © Yarel A

$$\Delta L \sim \frac{\tau_0}{\omega_{6m}} \quad (33)$$

مع $\omega_{6m} = 4\pi/\text{yr}$. وعند $\tau_0 = 10^{17}$ N m نحصل على

$$\Delta L \approx 2.5\times10^{23}\, kgm^2 s^{-1}. \quad (34)$$

بالمقارنة مع الزخم الزاوي المداري للأرض، $L_{orb} \approx 2.66 \times 10^{40}$ kg m² s⁻¹، يكون التضمين النسبي

$$\frac{\Delta L}{L_{orb}} \sim 9\times10^{-18} \quad (35)$$

وهو أقل بكثير من حد قابلية الكشف في العناصر المدارية على مقاييس زمنية تمتد عقودًا. وكحد أعلى متحفظ، إذا اقترن عزم الدوران نفسه مباشرةً بالزخم الزاوي لدوران الأرض حول محورها، $L_{spin} \approx 5.85 \times 10^{33}$ kg m² s⁻¹، فسيكون التضمين النسبي المقابل

$$\frac{\Delta L}{L_{spin}} \sim 4\times10^{-11} \quad (36)$$

وهو ما يعادل تغيرات في طول اليوم بمستوى الميكروثانية ($\Delta\text{LOD} \sim 4 \times 10^{-11} \times 86400$ s ≈ 4 μs)، بما يتوافق مع غياب أي شذوذ تراكمي كبير طويل الأمد [9].

شكر وتقدير

يشكر المؤلف مجتمع الفيزياء الفلكية الأوسع على الأساس الرصدي والنظري الواسع الذي يحاول هذا الإطار البناء عليه.

المراجع

1. Yarel A (2024) Astronomy Paradigm Shift: Challenging the Big Bang through Interuniversal Phenomena Elucidating the Complex Governing Mechanisms of Solar Dynamics. Open Access J Astron 2: 000130.

2. Thompson MJ, Christensen-Dalsgaard J, Miesch MS, Toomre J (1996) Differential Rotation and Toroidal Magnetic Fields in the Solar Interior. Science 272: 1300-1305.

3. Beck JG (2000) A comparison of differential rotation measurements. Sol Phys 191: 47-70.

4. Wahr J, Swenson S, Zlotnicki V, Velicogna I (2004) Time-variable gravity from GRACE: First results. Geophys Res Lett 31: L11501.

5. Kornfeld RP, Arnold BW, Gross MA, Dahya NT, Klipstein WM, et al. (2019) GRACE-FO: The Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-On Mission. J Spacecr Rockets 56: 931-951.

6. Livio M (1999) Astrophysical Jets: A phenomenological examination of acceleration and collimation. Phys Rep 311: 225-245.

7. Doeleman S, Weintroub J, Rogers AEE, Plambeck R, Freund R, et al. (2008) Event-horizon-scale structure in the supermassive black hole candidate at the Galactic Center. Nature 455: 78-80.

8. Blandford RD, Znajek RL (1977) Electromagnetic extraction of energy from Kerr black holes. MNRAS 179: 433-456.

9. Lindegren L, Hernandez J, Bombrun A, Klioner S, Bastian U, et al. (2018) Gaia Data Release 2: The astrometric solution. A&A 616: A2.

Copyright © Yarel A