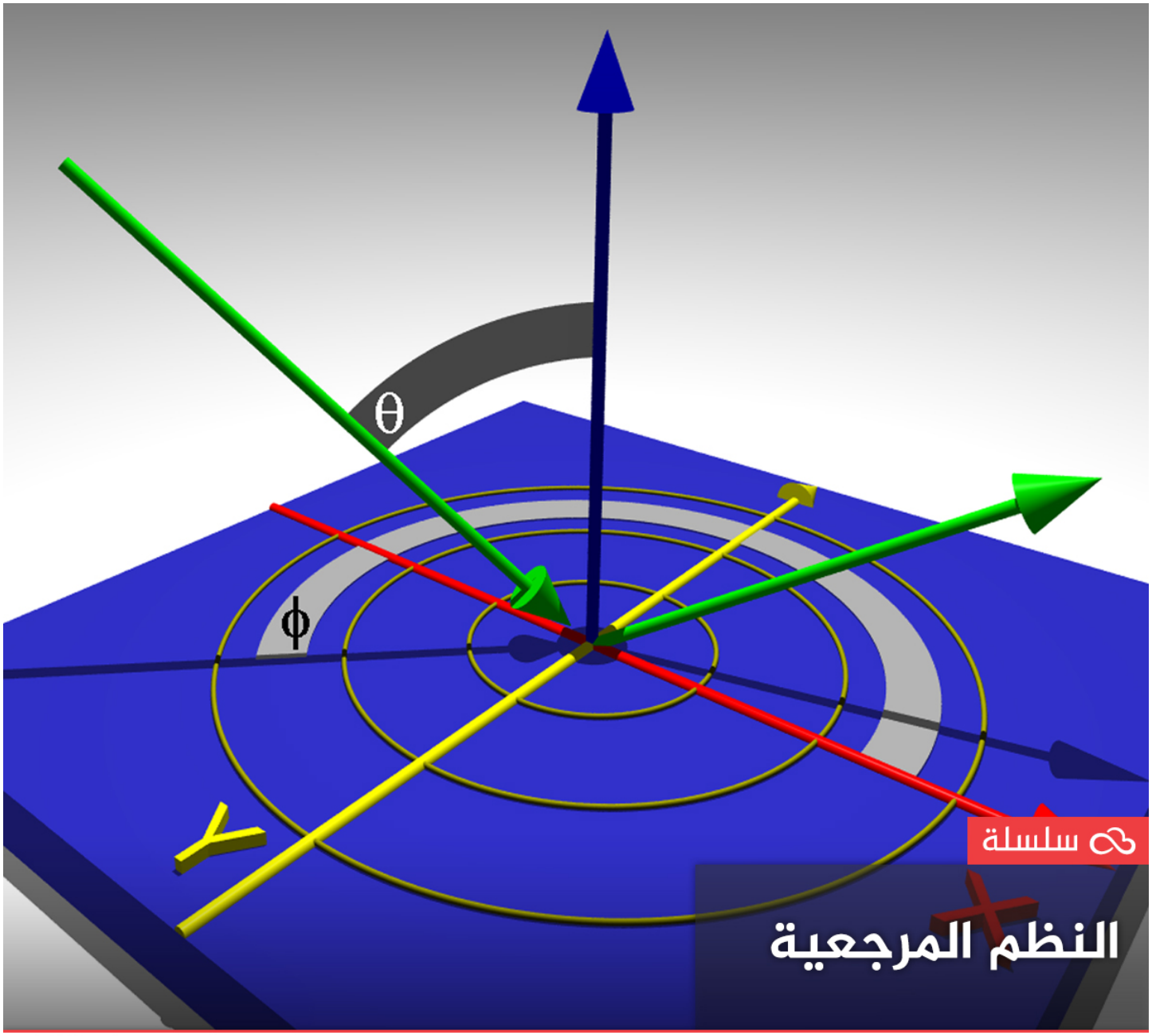
النُّظم المرجعية



www.nasainarabic.net
@NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic

هذا المقال هو جزء من سلسلة طبيعة الكون، يمكنكم الإطلاع على أجزائها الأخرى لاستكمال الفهم عبر الروابط التالية: الركائز الأساسية للرحلات الفضائية ، أساسيات الطيران الفضائي: المدارات الكوكبية

تستخدم الإحداثيات المكانية والمصطلحات الزمنية بهدف تحديد مواقع وتحركات كل من الراصد أو الأجسام الطبيعية الموجودة في النظام الشمسي، إضافة أيضاً إلى تحديد موقع مركبةٍ فضائيةٍ تعبُر الفضاء بين الكواكب وتدور حول الكواكب أو أية أجسام أخرى. وسيكون من المستحيل طبعاً التنقل والملاحة في النظام الشمسي دون معرفة هذه المصطلحات الزمنية.

الإحداثيات الأرضية

- الدائرة العظمى **great circle**: هي دائرة مُتخيَّلة على سطح الكرة، ويكون مركزها هو ذاته مركز الكرة. وتُدعى الدوائر العظمى التي تمر عبر كل من القطبيْن الشمالي والجنوبي للأرض، باسم خطوط الزوال أو خطوط الطول **meridians**. وبالطبع يمكن تحديد خط الطول لأي نقطة موجودة على سطح الأرض.

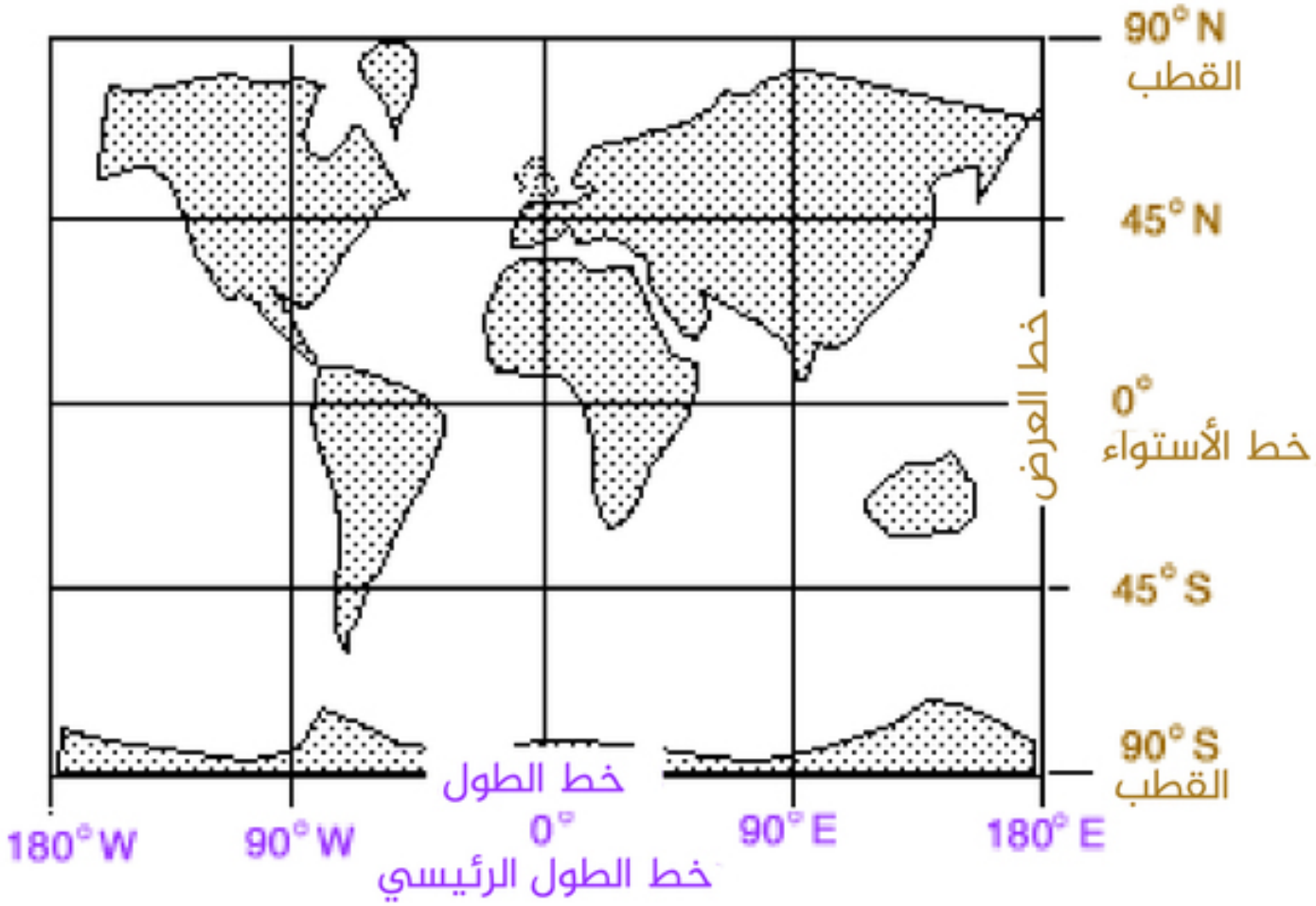
- خط الطول الرئيسي **prime meridian**: هو نقطة الانطلاق لقياس مواقع الأماكن الموجودة على خطوط الطول الأخرى، والممتدة من الشرق للغرب، ويقع مكان المرصد الملكي سابقاً في غرينتش، إنكلترا. تتم الإشارة إلى خطوط الطول (قياسها) بالدرجات والدقائق والثواني من قوسٍ يمتد من 0 إلى 180 شرقي أو غربي خط الطول الرئيسي. على سبيل المثال، يقع وسط مدينة باسادينا في كاليفورنيا عند خط الطول 118 درجة و 8 دقائق و 41 ثانية من قوس غربيَّ خط الطول الرئيسي: 118° 8' 41" **W**.

يعتبر خط الاستواء نقطة البداية لتحديد المواقع في شمالي وجنوبي الأرض، كما يعرف بأنه الدائرة العظمى التي تَكون كل النقاط الموجودة فيها على مسافة واحدة من القطبين.

تدعى الدوائر التي تكون على مستوى متوازٍ مع خط الاستواء والتي تحدد القياسات والمواقع شمالاً وجنوباً، بـ خطوط العرض **latitude**. ويشار إلى خط العرض باعتباره قوساً ممتداً بين خط الاستواء والموازي له كما يُرى من مركز الأرض. على سبيل المثال، يقع وسط مدينة باسادينا في كاليفورنيا عند خط العرض 34 درجة و 8 دقائق و 44 ثانية شمال خط الاستواء: 34° 08' 44" **N**.

طوال تاريخ الملاحة، كان تحديد خط العرض لجسمٍ ما على سطح الأرض أمراً سهلاً نسبياً. على سبيل المثال، في نصف الكرة الشمالي، كان قياس ارتفاع نجم القطب **Polaris** فوق خط الأفق ببساطة ينتج عنه تحديدٌ تقريبيّ لخط عرض الجسم. بينما الحال مختلف عند قياس خطوط الطول، حيث لطالما اعتُبر قياسها أمراً مضنياً جداً، وذلك على اعتبار أن تعيينها وتحديدها يتطلب ضبط الوقت بدقةٍ متناهية. ومع ذلك استطاع جون هاريسون **John Harrison 1693–1776** في نهاية المطاف تطوير مقياسٍ للزمن (**chronometer**) جيدٍ بما فيه الكفاية لأداء المهمة.

تعادل درجةً واحدةً من خط العرض 111 كم تقريباً على سطح الأرض، أي 60 ميلاً بحرياً على وجه التحديد. ويؤدي التقاء خطوط الطول عند القطبين إلى حدوث اختلافٍ في طول درجة خط الطول، حيث يبلغ طولها 111 كم عند خط الاستواء بينما يصل إلى 0 عند القطبين، وقتها يصبح خط الطول عبارة عن نقطة.



شبكة الإحداثيات الأرضية

الدوران المغزلي والدوران المداري

يشير مصطلح (الدوران المغزلي **Rotation**) إلى الحركة الدائرية لجسمٍ ما حول محوره، بينما يشير مصطلح (الدوران المداري **Revolution**) إلى الحركة المدارية لجسمٍ ما حول جسمٍ آخر. على سبيل المثال، ينتج اليوم الأرضي (الذي يتألف من 24 ساعة) عن دوران الأرض حول محورها، بينما تنتج السنة الشمسية (التي تتألف من 365 يوم) عن دوران الأرض المداري حول الشمس. وتجدر الإشارة أيضاً إلى أن الأقمار لديها حركتها المدارية الخاصة بها حول الكواكب.

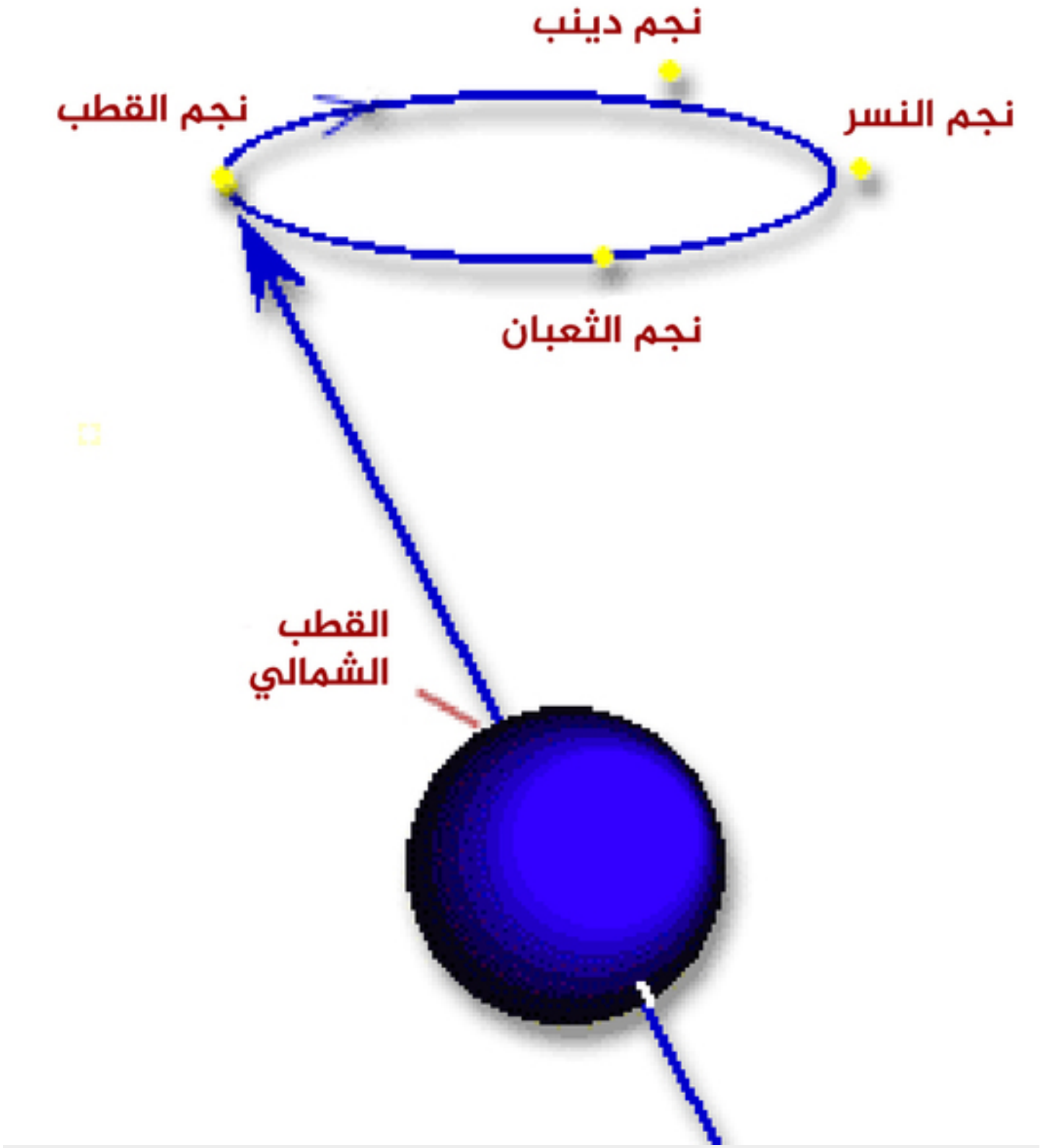
الدوران المغزلي للأرض

تدور الأرض حول محورها بالنسبة إلى الشمس مرة واحدة كل 24 ساعة وفقاً لمتوسط التوقيت الشمسي، مع درجة ميلٍ في مستوى مدارها حول الشمس تبلغ 23.45 درجة. ويمثل معدل التوقيت الشمسي متوسط التغيرات الناجمة عن المسار غير الدائري للأرض. ويُعتبر دوران الأرض بالنسبة إلى النجوم "**الثابتة**" (الوقت الفلكي) أقصر بـ 3 دقائق و 56.55 ثانية من متوسط اليوم الشمسي، أي ما يعادل يوماً شمسياً واحداً لكلّ سنة.

مبادرة محور الأرض

أدت القوى المرتبطة بدوران الأرض إلى أن يكون الكوكب ذا شكلٍ مفلطحٍ بعض الشيء، مع وجود انتفاخٍ بسيطٍ عند خط الاستواء. وقد شكّلت جاذبية القمر في المقام الأول، ويضاف إليها بدرجة أقل جاذبية الشمس، السبب الرئيسي في كون الأرض مفلطحة بعض الشيء، وفي تحريك محور الأرض عمودياً إلى مستوى مدارها. ومع ذلك نتيجة للفعل الجيروسكوبي (التوازني)، لا يكون قطبا الأرض في موقعٍ عموديٍّ بالنسبة إلى المستوى المداري.

وبدلاً من ذلك، يتبادران بزاويةٍ مقدارها 90 درجة بالنسبة إلى القوة المطبقة. وتؤدي المبادرة إلى أن يقوم محور الأرض برسم دائرةٍ يبلغ قياس نصف قطرها 23.4 درجة، وذلك بالنسبة إلى نقطة ثابتة في الفضاء، وعلى مدى 26 ألف سنة، ويذكرنا هذا التمايل الضئيل في محور دوران الأرض بالبلبل الدّوار الذي يتمايل ويترنّح أثناء دورانه قبل أن يسقط في النهاية على أحد جانبيه بعد انتهاء حركته الدورانية.



مبادرة محور الأرض من على مسافة تقدر بـ 26 ألف سنة.

وبسبب مبادرة أقطاب الأرض التي تستغرق 26 ألف سنة، تغيّر كل النجوم والأجرام السماوية الأخرى مكانها من الغرب إلى الشرق بمعدل 0.04 درجة كل سنة (360 درجة كل 26 ألف سنة). وتعد هذه الحركة الظاهرية السبب الرئيسيّ وراء قيام علماء الفلك ومشغلي المركبات الفضائية بالإشارة إلى حقبة عامة من مثل (**J2000.0**).

في الوقت الحالي، في دورة مبادرة محور الأرض التي تستغرق 26 ألف سنة، نرى نجماً ساطعاً قريباً جداً (على بعد أقل من درجة) من القطب الشمالي السماوي. ويدعى هذا النجم بـ نجم القطب **Polaris** أو نجم الشمال.

لدى النجوم أيضاً حركتها الحقيقية الخاصة بها، وتدعى باسم الحركة الخاصة **proper motion**. يبدي عددٌ قليلٌ فقط من النجوم الساطعة الموجودة في المنطقة المجاورة من مجرتنا، ما يكفي من الحركة الخاصة كي يتم قياسها على مدى عمر الإنسان، ولذلك هي لا تدخل عادةً في حسابات ملاحة المركبات الفضائية. ويمكن اعتبار النجوم كما لو أنها نقاط مرجعية ثابتة في الفضاء، وذلك يعود إلى المسافة الشاسعة التي تفصل بينها (وبغض النظر عن هذا، تُظهر بعض النجوم في مركز مجرتنا سرعاتٍ هائلةٍ في حركتها الخاصة عند دورانها بالقرب من الثقب الأسود فائق الكتلة الموجود هناك).

تمايل محور الأرض

تحدث حركة تمايلٍ صغيرة خلال مدة تبلغ 18.6 سنة واتساع يقدر بـ 9.2 ثانية قوسية، وذلك بشكلٍ متداخلٍ مع المبادرة التي تستغرق 26 ألف سنة. ويمكن إرجاع سبب هذه التمايل إلى الفارق الذي يبلغ 5 درجاتٍ بين كل من مستوى مدار القمر، ومستوى مدار الأرض، وقوى السحب الجاذبة التي يطبقها كل واحد منهما على الآخر.

الدوران المداري

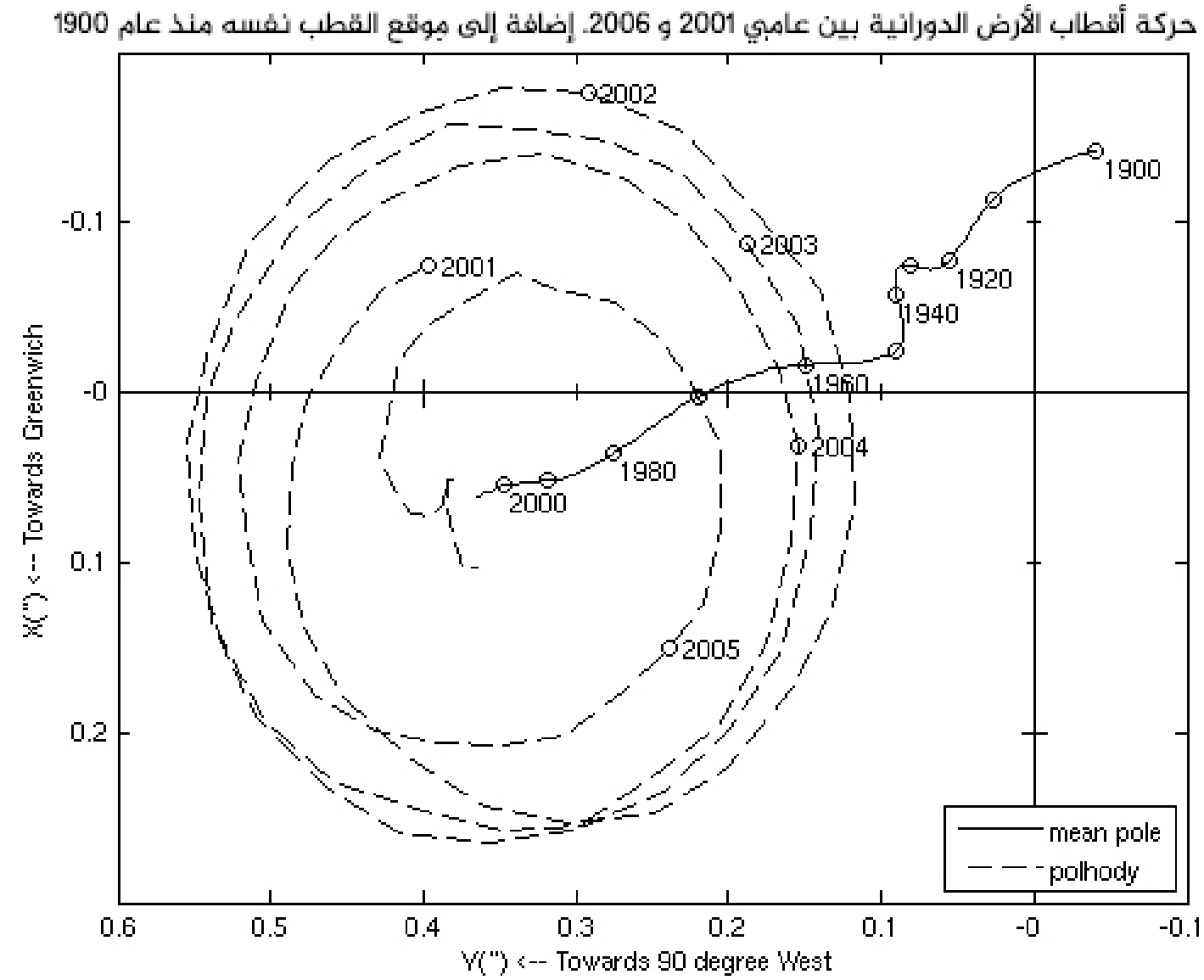
تدور الأرض في مدارها حول الشمس في 365 يوماً و 6 ساعات و 9 دقائق، وتُنسب هذه الحركة مرجعياً إلى النجوم. تتراوح سرعة دوران الأرض بين 29.29 إلى 30.29 كم/ثانية. ويتم جمع وإضافة الـ 6 ساعات و 9 دقائق المتبقية حتى تشكل كل أربع سنوات يوماً إضافياً، وتدعى تلك السنة وقتها بسنةِ الكبيسة، ويضاف اليوم الجديد إلى شهر فبراير/شباط لكي يصبح 29 يوماً.

يتميز مدار الأرض حول الشمس بأنه إهليلجِيّ الشكل. وفي الرابع من شهر يناير/كانون الثاني، تبلغ الأرض أقرب نقطة لها إلى الشمس عند نقطة الحضيض على بعد مسافة تقدر بـ 147,090,000 كم. وبعد ستة أشهر من ظاهرة الحضيض، تحدث ظاهرة الأوج الأرضي (**أي عندما تصل الأرض إلى أبعد نقطة لها في مدارها حول الشمس**)، من على بعد مسافة تقدر بـ 152,100,000 كم.

حركة قطبية أقصر

إضافة إلى حركات الأرض طويلة الأجل، فإن محور دورانها وقطبيها يقومان بحركتين أقصر أمداً. وتدعى أولى هاتين الحركتين بـ تمايل شاندلر **Chandler wobble**، وهي عبارةٌ عن اهتزازاتٍ تحصل كل 435 يوماً.

وهناك أيضاً حركة دائرية سنوية للأرض، حيث إنها تنحرف نحو الغرب بنحوٍ ثابتٍ بسبب حركة السوائل على سطحها وفي غشائها. ويتم رصد هذه الحركات جميعها عن طريق الهيئة الدولية لدوران الأرض، والنظم المرجعية **International Earth Rotation and Reference Systems Service** أو اختصاراً **IERS**.



حركة أقطاب الأرض الدورانية بين عامي 2001 و 2006. إضافة إلى موقع القطب نفسه من عام 1900 إلى عام 2000. المصدر: IERS Earth Orientation Center

الحقب

تُعد المعرفة العميقة بالحركات الطبيعية للأرض أمراً جوهرياً وضرورياً، وذلك على اعتبار أننا نقوم بالأرصاد من على سطحها. وكما هو موضحٌ أعلاه، يدور كوكبنا حول محوره يومياً، كما يدور حول الشمس سنوياً، إضافة طبعاً إلى المبادرة المحورية **axis precession** والاهتزازات. كما أن النجوم التي نعتبرها ثابتة لها حركاتها الخاصة.

وبناءً على ما سبق، ونظراً لكل هذه التحركات، فإنه لمن المفيد حقاً وجود نظام إحداثياتٍ لتحديد مواقع النجوم والكواكب، كما أن المركبات الفضائية بحاجة إلى أن تُربط مع لقطةٍ معينةٍ في الزمن، وتسمى هذه اللقطة بـ **الحقبة الفلكية**.

اصطلاحاً، الحقبة المرجعية المعيارية هي **J2000.0**، وهي تشير إلى متوسط خط الاستواء والاعتدال في العام 2000، تحديداً الساعة 12:00 **UT** في الأول من يناير/كانون الثاني. ويشير الحرف **J** إلى التقويم اليولياني والذي تتألف السنة فيه من 365.25 يوم. ولا يؤخذ

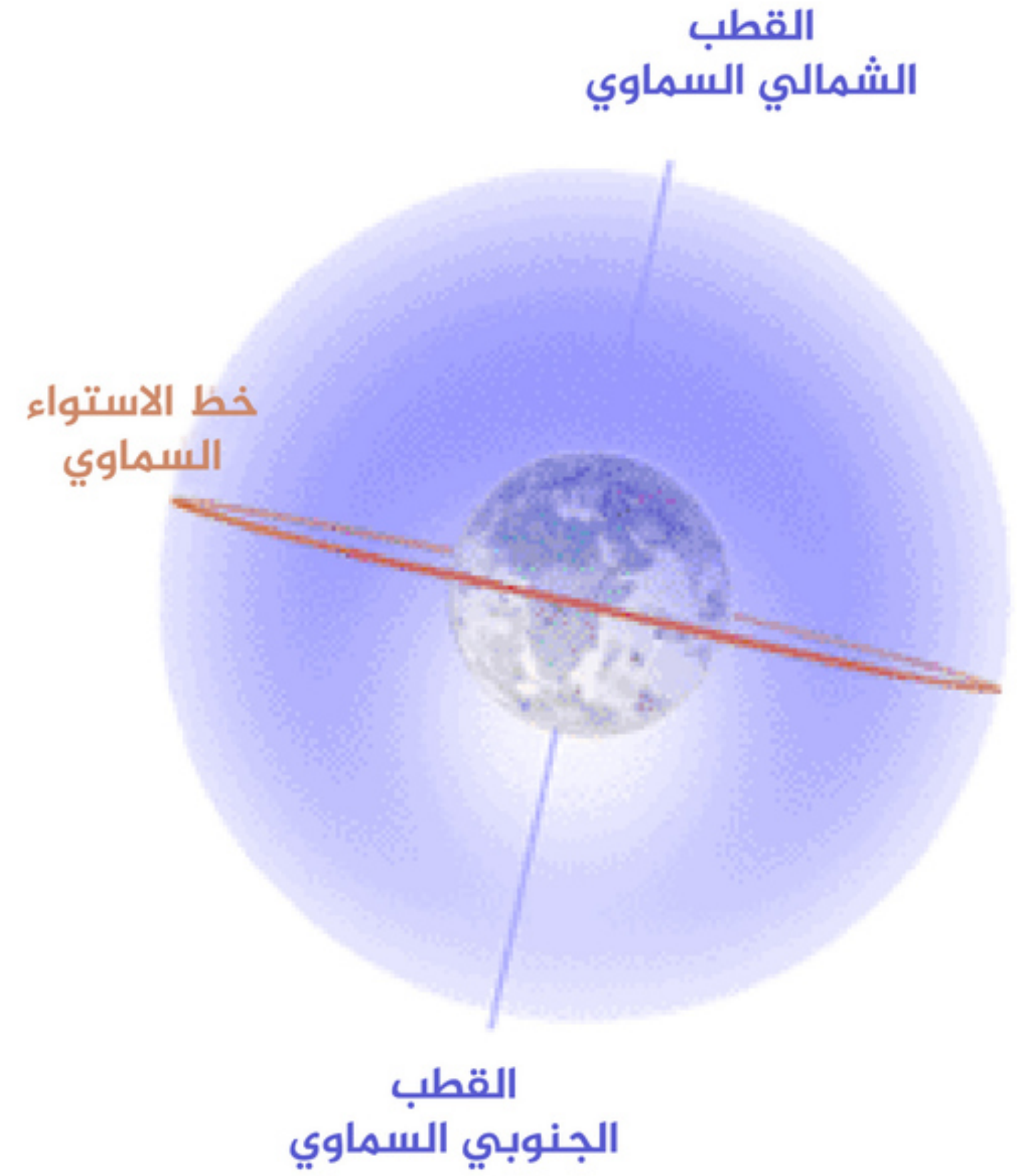
بعين الاعتبار سوى المبادرة التي تستغرق 26 ألف سنة (**والتي هي جزء من حركة المبادرة/والتمايل الكلية**)، حيث تُسهم في تحديد كل من الاعتدال ومتوسط خط الاستواء لكل حقبة.

آخر حقبة فلكية تم استخدامها فيما مضى هي B1950.0، والتي تشير إلى متوسط خط الاستواء والاعتدال لعام 1949 بتاريخ 31 ديسمبر/كانون الأول في الساعة 22:09 حسب التوقيت العالمي. ويشير الحرف **B** إلى سنة بيسيليان (**نسبة إلى العالم فريدريك بيسيل**)، وهي السنة الشمسية الوهمية التي عرضها العالم فريدريك بيسيل **F. W. Bessell** في القرن التاسع عشر. وقد تم نشر المعادلات لتفسير البيانات المستقاة من الحقب الماضية والحالية.

كلامٌ منطقي

فهمُ مجموعة الحركات التي تقوم بها الأرض (**مثل دورانها حول محورها، والمبادرة، والميل، والحركات القطبية قصيرة الأمد، ودورانها حول الشمس**)، إضافة إلى تحديد مكان الراصد على درجات الطول والعرض، سيمكّننا من إجراء أرصاد مهمةٍ ودقيقة، وهذا الأمر يؤدي بدوره إلى إمكانية الملاحة بدقةٍ عبر النظام الشمسي. على سبيل المثال، لقياس السرعة الدقيقة لمركبة فضائية تحلق باتجاه كوكب زحل، يجب أن تَعرف بالضبط أين هو مكانك على سطح كوكب الأرض عندما تقوم بأخذ القياسات، ومن ثم تقوم بطرح حركة الأرض من تلك القياسات كي تحصل على سرعة المركبة. وينطبق نفس الشيء إذا كنت تحاول أخذ قياسٍ للحركة الخاصة بنجمٍ بعيد، أو قياس تمايل نجم بهدف الكشف عن عائلةٍ من الكواكب.

القُبة السماوية



القُبة السماوية

القبة السماوية هي تعبيرٌ هيكليٌّ مفيدٌ لوصف أماكن الأجسام في السماء، وهي تمتلك نصف قطر لا متناهٍ. ويُعد مركز الأرض مركز القبة السماوية، كما تكون الأقطاب السماوية والمستوى الاستوائي هي نفسها بالنسبة الخاصة بكوكب الأرض. أنظر إلى الشكل إلى جهة

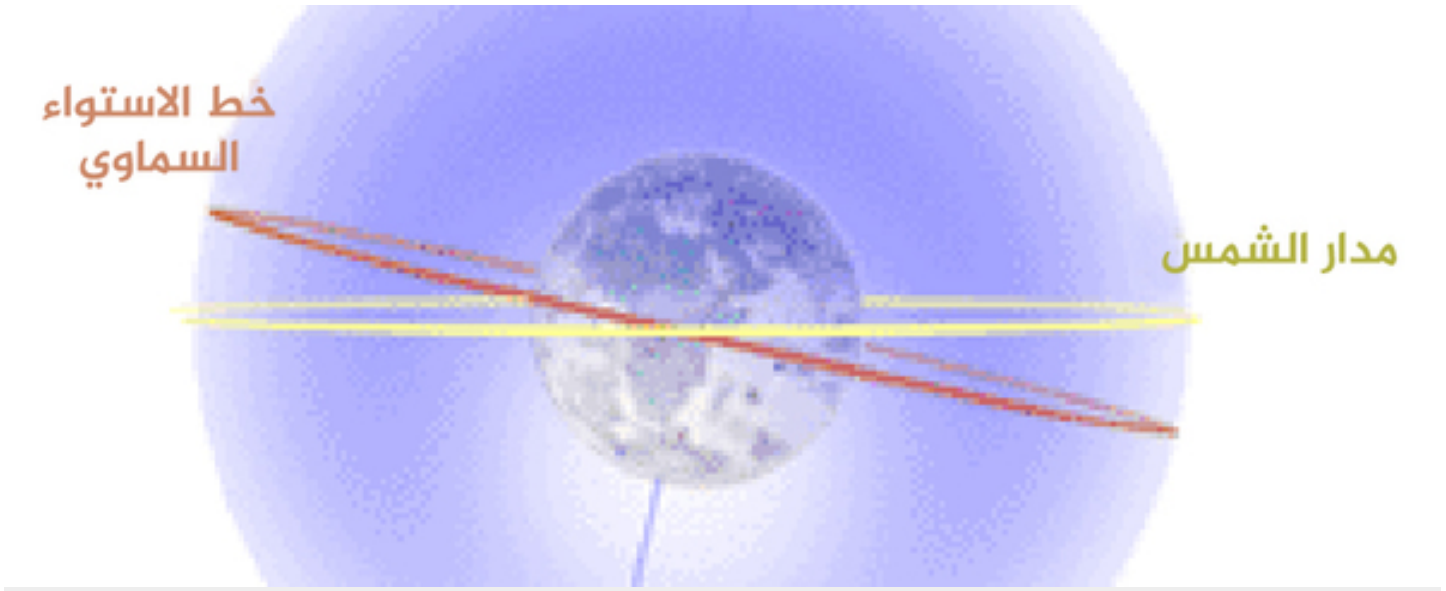
اليمين. يمكننا تحديد الموقع الدقيق للأجرام على القبة السماوية من خلال إعطاء القيم المكافئة أو المعادلة لخطوط الطول والعرض الخاصة بهم (أي الأجرام).

تسمى أعلى نقطة في القبة السماوية والتي تقع مباشرةً فوق رأس الراصد (عمودياً) بـ نقطة السمت (الذروة) **zenith**. كما يدعى القوس المتخيل الذي يمر عبر الأقطاب السماوية وعبر نقطة السمت بـ خط زوال الراصد **observer's meridian**. أما نظير السمت **nadir** فهو الاتجاه المعاكس لنقطة السمت **zenith**، على سبيل المثال، الخط المستقيم النازل من أسفل المركبة الفضائية إلى مركز الكوكب.

الميل والمطلع المستقيم

الميل **Declination** أو اختصاراً **DEC**: هو من أنظمة إحداثيات الكرة السماوية، وهو يقابل خطوط العرض الجغرافية ويتم التعبير عنه بالدرجات، كما هو الحال تماماً بالنسبة لخطوط العرض. تمثل إشارتا + و – عند التعبير عن الميل كلاً من الشمال والجنوب على التوالي.

يقع خط الاستواء السماوي عند درجة ميل 0° **DEC**، بينما يقع القطبان عند درجتي ميل +90° و ـ90°. المطلع المستقيم **Right ascension** أو اختصاراً **RA**: هو المكافئ السماوي لخطوط الطول الجغرافية. ومن الممكن التعبير عنه بالدرجات، إلا أن الشائع أن يتم تحديده بمصطلحات الزمن، أي الساعات والدقائق والثواني، فالسماء يبدو أنها تنقلب 360 درجة في 24 ساعة، أي 15 درجة في الساعة. لذا فإن ساعة **RA** تعادل 15 درجة من دوران السماء.



خط الاستواء السماوي

يعد مستوى مدار الشمس **ecliptic plane** خاصية أخرى مهمة، تتقاطع مع القبة السماوية، وهو المستوى الذي تدور فيه الأرض حول الشمس عند درجة 23.4° من خط الاستواء السماوي. وترسم هذه الدائرة العظيمة عملية تقاطع مسار الشمس مع القُبة السماوية، وهي المسار الذي يظهر أن الشمس والكواكب تسير على طوله (بالنسبة للراصد على الأرض)، كما أنها المكان الذي تتقارب فيه الشمس والقمر عند ظاهرة الكسوف (ومن هنا جاء الاسم).

نقطة صفر المطلع المستقيم هي إحدى النقاط التي يتقاطع فيها مسار الشمس مع خط الاستواء السماوي، وهي تُعرف بأنها النقطة التي تعبُر فيها الشمس إلى نصف الكرة الشمالي ما يعني بداية فصل الربيع: أي ما يسمى بـ الاعتدال الربيعي. كما تشكل أيضاً أولى نقاط برج

الحمل، والذي يشار إليه في العادة برمز الكبش.

إن الميل والمطلع المستقيم لجسمٍ سماويٍّ ما يساعدان على تحديد مكانه بشكلٍ مميزٍ على القبة السماوية، وذلك بنفس الطريقة التي تحدد بها خطوط الطول والعرض موقع جسمٍ ما على سطح الأرض. على سبيل المثال، الإحداثيات السماوية للنجم شديد السطوع سيريس هي 6 ساعات و 45 دقيقة على المطلع المستقيم، و −16° 43′ على المَيْل.

الاعتدالات equinoxes: هي الأوقات من السنة التي يكون فيها مركز الشمس عمودياً تماماً على خط الاستواء، ما يعني بداية شهر الربيع أو الخريف. وفي هذه الأوقات سيتساوى كل من الليل والنهار في المدّة، إذا ظهرت الشمس في السماء كنقطة عوضاً عن قرص، وإذا لم تحدث ظاهرة الانكسار في الغلاف الجوي (أي انحراف الضوء عن السير بخط مستقيم). بافتراض وجود القرص الظاهري للشمس والانكسار، سيتساوى كل من الليل والنهار في المدة عند نقطةٍ معينةٍ في غضون عدة أيامٍ من كل اعتدال.

نظام الإسناد الفلكي الدولي

نظام الإسناد الفلكي الدولي **The International Celestial Reference System** أو اختصاراً **ICRS**: هو النظام المرجعي السماوي الأساسي الذي تم اعتماده من قبل الاتحاد الفلكي الدولي **International Astronomical Union** أو اختصاراً IAU، كطريقةٍ عالية الدقة في علم الفلك الموضعي. من المفترض أن يمثل نظام **ICRS**، والذي يقع مركز إحداثياته في نقطة ثقل النظام الشمسي، وتعتبر محاوره ثابتةً بالنسبة للفضاء، أن يمثل نظام الإحداثيات الأنسب لتحديد حركات ومواقع الأجرام السماوية.

ويمكن أن تدخل قياسات الميل والمطلع المستقيم في نظام **ICRS**، والذي يتوافق بطبيعة الحال مع النظام القائم على حقبة **J2000.0**. ويطلق على الإطار المرجعي الذي أنشأه نظام **ICRS** اسم (الإحداثيات العالمية للأجرام السماوية **International Celestial Reference Frame**) أو اختصاراً **ICRF**.

تلسكوبات HA-DEC مقابل تلسكوبات AZ-EL الراديوية

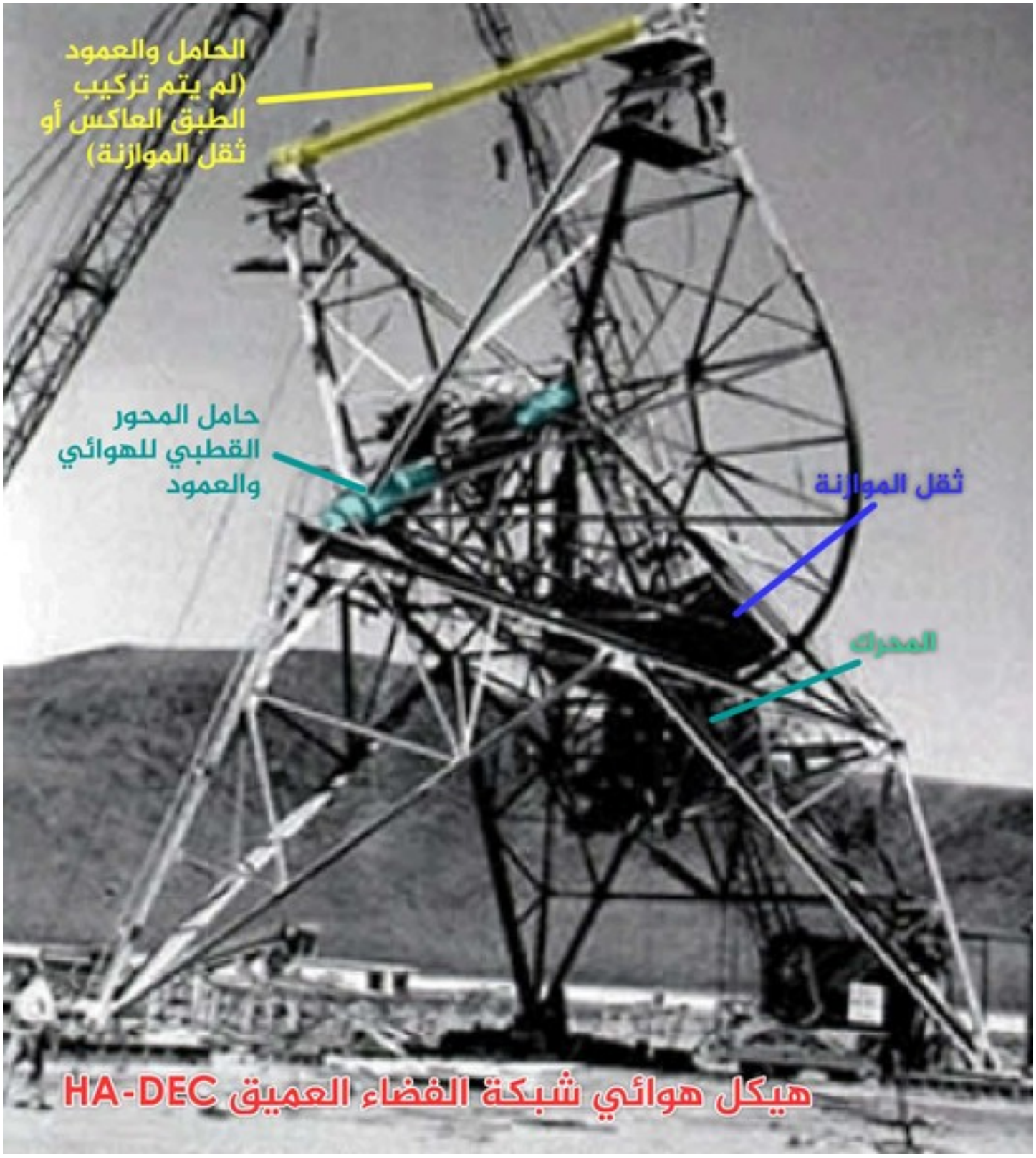
يدخل بنا هذا النقاش في صلب الموضوع أكثر قليلاً، ولكن كل ما نهدف إليه في هذا القسم هو شرح التصميم القديم لهوائيات شبكة الفضاء العميق التابعة لناسا **Deep Space Network**، إضافة طبعاً إلى تلسكوبات الضوء المرئي وتلسكوبات الأشعة الراديوية. وبعد ذلك سنقوم بتبيان وإيضاح سبب حدوث تغيراتٍ كبيرةٍ عليها منذ فترةٍ ليست بالبعيدة.

قبل أن تتمكن من استخدام قياسات **RA** و **DEC** للإشارة إلى جسمٍ ما في السماء، يتوجب عليك أولاً أن تعرف مكان المطلع المستقيم **RA** بالنسبة إلى موقعك على سطح الأرض، وذلك لأن دوران الأرض دائماً ما يغير من مواقع النجوم الثابتة (والمطلع المستقيم الخاص بها) فيما يتعلق بأفقك الذي تنظر إليه. وعلى هذا الأساس، تكون الأمور على ما يرام إذا كان الـ **RA** لجسمٍ ما يضعه في الأعلى على خط الطول الخاص بك.

ولكن على اعتبار أن الأمور ربما لا تجري على هذا النحو، يتوجب عليك حينها أن تقوم بتحديد زاوية الساعة للجسم **Hour Angle** أو اختصاراً **HA**، والتي هي المسافة بالساعات والدقائق والثواني غرباً على طول خط الاستواء السماوي، انطلاقاً من خط زوال الراصد وصولاً إلى المطلع المستقيم **RA** للجسم في السماء. وفي الواقع، تشير **HA** إلى **RA** (المطلع المستقيم) بالنسبة إلى موقعٍ معينٍ ووقتٍ

معينٍ من اليوم. وتكون قيمة **HA** صفراً عندما يقع الجسم على خط الزوال الخاص بك.

تم تصميم التلسكوبات الراديوية القديمة بمحورٍ ميكانيكيٍّ وحيدٍ موازٍ لمحور الأرض. عند تعقب المركبات الفضائية بين الكواكب، يجب على التلسكوب أن يشير إلى القيمة المعروفة لكل من **HA** و **DEC** الخاصة بالمركبة الفضائية، ومن ثم ـلمتابعة الفترة المتبقية من التعقبـ يدور التلسكوب ببساطة في زاوية الساعة حول المحور المائل (والذي يسمى بمحوره القطبي) كما تدور الأرض.



التلسكوبات الراديوية القديمة

يدعى هذا النوع من الحوامل (المساند) عند استعماله في التلسكوبات الضوئية باسم (الحامل الاستوائي **equatorial mount**). ويعتبر هذا الحامل فعالاً جداً عند استخدامه مع الأجهزة صغيرة الحجم، ولكنه يغدو غير صالح للاستعمال عند استخدامه مع الهياكل ثقيلة الحجم، وذلك لأن قدرة احتمال محوره القطبي المائل يجب عليها الحفاظ على توازن هياكلٍ كبيرة الحجم، وغير متناظرة الثقل في وزن أطرافها على الإطلاق. ولا تقتصر هذه الهياكل (الأحمال) على الصحن العاكس فقط، بل تشمل أيضاً أثقالاً موازنة لـ **HA**، بحيث تكون ثقيلةً بما فيه الكفاية لموازنة الهوائي، إضافة إلى حامل (مسند) جهاز قياس **DEC** وثقل الموازنة الخاص به. يجب أيضاً أن يكون الهيكل مصمماً خصيصاً ليناسب موقعه، وذلك على اعتبار أن الزاوية القطبية للحامل تعتمد على موقع المحطة على درجات العرض.

تظهر هذه الصورة أول هوائي تابع لشبكة الفضاء العميق تم تثبيته في موقع كانبرا في أستراليا، وهو مشرفٌ على الحامل القطبي والذي هو محور العجلة المركزية الكبيرة للهوائي. تم الاستغناء عن هوائي **HA-DEC** حيث لم يعد في الخدمة الآن، كما تم الاستغناء أيضاً عن الهوائي الموجود في موقع مدريد في إسبانيا. أما نظيرهما (أي الهوائي الموجود في موقع غولدستون في كاليفورنيا)، فقد تم تحويله إلى تلسكوب راديوي مخصص للاستخدام التعليمي.

كانت هناك حاجةٌ إلى وجود نظامٍ أكثر بساطة للاستخدام في هوائيات شبكة الفضاء العميق الأكبر، ويكمن حل هذه المسألة في استخدام نموذجٍ لهيكلٍ يعتمد مبدأ السمت-الارتفاع **azimuth-elevation**، حيث يسمح هذا التصميم بجعل الأحمال الميكانيكية تصبح متناظرةً من حيث الثقل، ما يؤدي إلى أجهزةٍ أقل كلفةً وتعقيداً ويمكن المحافظة عليها بسهولة.

تستطيع هذه الأجهزة تحديد مكان جسمٍ ما في السماء بواسطة ارتفاعه **EL** الذي يقاس بالدرجات فوق خط الأفق، وسمته **AZ** الذي يقاس بالدرجات مع اتجاه عقارب الساعة (شرقي) الشمال الحقيقي. ويتم أخذ هذه الإحداثيات من الـ **RA** و **DEC** التي تنشر عبر برامج الكمبيوتر، حيث تشكل هذه الحوسبة مفتاح حلّ اللغز الذي ساهم بتبسيط الهياكل الميكانيكية المعقدة.

في نظام **AZ-EL** على أي مكان على سطح الأرض، يعتبر الشرق موجوداً عند الدرجة 90 دائماً، ويرتفع بنصف المسافة حيث تكون زاوية ارتفاعه هي 45 درجة. يعتبر كل من **AZ-EL** و **ALT-AZ** ببساطة، اسمين مختلفين يشيران إلى نفس المصطلح وهو النظام المرجعي الهوائي **Antenna reference system**، على اعتبار أن قياس العلو هو نفسه قياس الارتفاع.

هوائي DNS

تُظهر الصورة إلى اليمين، هوائي **DNS** الموجود في غولدستون والذي يحتوي على فتحةٍ بطول 70 متراً، أي أكثر من ضعفي الفتحة الموجودة في هوائي **HA-DEC** في أستراليا والذي يظهر في الصورة أعلاه.

يشير الهوائي في الصورة إلى ارتفاع **EL** يقدر بـ 10 درجات. يقع مسند الارتفاع في قمة جهاز الدعم الثلاثي ويمكن رؤيته في منتصف الجهة اليمنى من الصورة. ويدور هيكل الهوائي ككل في **AZ** مع اتجاه عقارب الساعة، أو عكس عقارب الساعة عند قمة القاعدة الأسطوانية الصلبة. ويشير الهوائي في هذه الصورة إلى جهة الشرق (90 درجة السمت)، حيث من الممكن أنه يبدأ في تتبع مركبةٍ فضائيةٍ بعيدةٍ، وهي ترتفع فوق خط أفق الصحراء. وتستخدم جميع التلسكوبات الراديوية الجديدة نظام **AZ-EL**.

هوائيات X-Y

بهدف إكمال دراستنا حول المخططات المتنامية لهوائيات شبكة الفضاء العميق (بما في ذلك التلسكوبات الراديوية غير التابعة لشبكة الفضاء العميق، والقابلة للتوجيه)، يجب علينا وصف قاعدة التركيب (الحامل) **X-Y** . ومثلما هو الحال في تلسكوبات **AZ-EL**، يوجد في قاعدة التركيب هذه محوران متعامدان. من خلال فحص صورة تلسكوب **DSS16** ، يمكنك رؤية أنه لا يستطيع الدوران بشكلٍ مباشرٍ في اتجاه السمت، كما تفعل هوائيات **AZ-EL (ALT-AZ)**. ولكن على الرغم من هذا، تتمتع قاعدة تركيب (حامل) **X-Y mount** بميزاتٍ تجعله يتفوق على نظيره **AZ-EL**.

الميزة الأولى هي أنها يمكنها الدوران بسهولةٍ وحريةٍ في أي اتجاهٍ كان من موقعها المركزي في اتجاه السمت، دون أي مشاكل في الكابلات، وذلك في أي مكان ضمن مجال رؤيتها.

هذه صورة للهوائي DSS16 وهو تلسكوب رادايوي يبلغ قطره حوالي 26-m. لعلك تستطيع ملاحظة الموجود أعلى الحافة، على الجانب الأيسر من الطبق. المصدر: Dave Doody

إحدى المميزات الأخرى هي مسألة ثقوب المفاتيح **keyholes**. يعرف ثقب المفتاح بأنه منطقةٌ في السماء لا يمكن للهوائي تعقب المركبات الفضائية فيها. تخيل هوائي **AZ-EL** مثل ذلك الذي يبلغ طوله 70 متراً، والموجود في شبكة الفضاء العميق كما هو موضحٌ في القسم أعلاه.

عندما تمر مركبةٌ فضائيةٌ فوقه مباشرةً، سيرتفع هوائي **AZ-EL** بازديادٍ حتى يصل إلى حده الأقصى الثابت والذي يبلغ تقريباً 90 درجة. ولكن الذي سيحصل تالياً هو أنه يتوجب على الهوائي الالتفاف حول مكانه بسرعةٍ كبيرةٍ في السمت، وذلك بهدف تتبع المركبة أولاً على الجانب الشرقي من الهوائي، ثم بعد لحظةٍ عندما تغير مكانها وتنتقل إلى الجانب الغربي منه.

على كل حال، لا يعتبر معدل التفاف الهوائي سريعاً بما فيه الكفاية كي يستطيع تتبع المركبة بتلك الطريقة، ولذلك ستحدث عدة حالات انقطاعٍ في عملية التتبع، وستستمر إلى أن تنتقل المركبة إلى الطرف الآخر. (هوائيات **AZ-EL** الموجودة في شبكة الفضاء العميق ليست مصممة أبداً للانحناء إلى الخلف، أو الارتفاع بشكل مبالغ فيه).

يكون "**ثقب المفتاح**" بالنسبة إلى هوائيات **HA-DEC** كبيراً جداً، ويقع في نصف الكرة الشمالي قرب نجم الشمال. وسيكون على الهوائي الالتفاف بسرعةٍ عاليةٍ جداً في زاوية الساعة، إذا ما أراد تتبع ورصد المركبات الفضائية في المنطقة.

ثقب المفتاح: هو منطقة في السماء لا يستطيع فيها الهوائي تعقب ورصد المركبة الفضائية فيها، وذلك لأن معدل الزاوية المطلوب سيكون عالياً جداً. ومن الممكن أن تعزى القيود الميكانيكية إلى حجم "ثقب المفتاح"، على سبيل المثال، لا يسمح للهوائيات التي يبلغ قطرها 70 متراً أن تتعقب المركبات الفضائية فوق درجة الارتفاع 88.

يتشابه هوائي **X-Y** من الناحية الميكانيكية مع هوائي **HA-DEC** القديم، ولكن يكون محوره القطبي في وضعٍ أفقي، ولا يكون بالضرورة متوجهاً باتجاهٍ أساسيٍّ واحد.

يتمركز هوائي **X-Y** بطريقةٍ يكون فيها ثقبا المفتاحين الاثنين على خط الأفق الشرقي والغربي، ما يجعل السماء كلها عبارة عن منطقةٍ مفتوحةٍ لتتبع ورصد المركبات الفضائية دون الحاجة إلى معدلٍ زاويٍّ عالٍ جداً ومستحيلٍ حول المحورين، حيث باستطاعته الانحناء إلى الوراء وفي كل اتجاه.
تم بناء هوائيات **X-Y** كي تتبع وترصد في المقام الأول المركبات الفضائية التي تدور حول الأرض، والتي تتطلب معدلاتٍ زاويةٍ عاليةٍ وممرات علوية. عادة ما يكون للمركبات التي تدور حول الأرض ميلٌ يجنبها المرور بـ "**ثقوب المفاتيح**" الموجودة شرقاً وغرباً. كذلك فإن المركبات الفضائية التي تنتقل بين الكواكب لا تمر أو تعبر عادةً بشكلٍ علوي، ولكنها عوضاً عن ذلك تبقى في معظم الحالات بالقرب من مستوى مدار الشمس.

وبطبيعة الحال، يمكن استخدام هوائيات **X-Y** أيضاً لرصد المركبات الفضائية التي تنتقل بين الكواكب، لكن الهوائيات الموجودة في محطة **DSN** تكون مجهزةً بفتحةٍ يبلغ قطرها 26 متراً، وهي تعتبر أصغر من المحطات الأخرى الموجودة في شبكة الفضاء العميق، وبذلك ليس من المفيد استخدامها في معظم المركبات التي تنتقل بين الكواكب.

اصطلاحات الزمن

تستخدم عادةً عدة مصطلحاتٍ مختلفةٍ للتعبير عن الوقت خلال عمليات الرحلات الفضائية إلى الفضاء بين الكواكب.

- التوقيت العالمي المنسق **Coordinated Universal Tim** أو اختصاراً **UTC**: هو المعيار العالمي المتبع في جميع أنحاء العالم لضبط الوقت، وهو يعتمد أساساً على الساعات الذرية الدقيقة، وبالتالي هو مستقرٌ للغاية، حيث لا يتغير معدله بأكثر من 100 بيكو ثانية في اليوم. ويتم في فترتين من العام إضافة أو إنقاص ثانيتين، حسب الضرورة طبعاً، وذلك لجعل **UTC** يتكيف مع التجاوزات التي تحصل أثناء دوران الأرض.

  يتم استخدام توقيت **UTC** من قبل علماء الفلك، والملاحين، وشبكة الفضاء العميق وغيرها من المجالات العلمية. تكون النقطة المرجعية لهذا التوقيت هي غرينتش في إنكلترا: عندما يكون الوقت هو منتصف الليل على خط الزوال الأولي للأرض (خط الطول الأولي)، يكون الوقت منتصفَ الليل (00:00:00.000000) "كلها كرات" حسب توقيت **UTC**. هذا ويوفر الموقع الإلكتروني لبحرية الولايات المتحدة الأميركية معلوماتٍ مفصلةً للغاية حول اشتقاقات **UTC**.

- التوقيت العالمي **Universal Time** أو اختصاراً **UT**: كما يدعى أيضاً باسم توقيت زولو ويرمز له بـ **Z**، وأطلق عليه سابقاً اسم توقيت غرينتش **Greenwich Mean Time** أو اختصاراً **GMT**. ويستند هذا التوقيت إلى "متوسط الشمس" الُمتخيل، والذي يقوم بحساب متوسط الآثار الذي يسببها مدار الأرض غير الدائري قليلاً على طول اليوم الشمسي.

  لا يتم تحديث هذا التوقيت من ناحية إضافة الثواني الكبيسة كما هو الحال مع **UTC**، ولكن نقطته المرجعية هي أيضاً غرينتش في إنكلترا: عندما يكون الظهر على خط الزوال الأولي، تكون الساعة حسب توقيت **UT** هي (12:00:00).

  ومن الشائع جداً أن نرى الإشارة **GMT** التي تقادم عهدها حتى خلال مشاريع الطيران الحالية. كما من الشائع أيضاً أن نرى إشارات إلى كل من **UT** أو **GMT** عندما يكون النظام المستخدم في الواقع هو توقيت **UTC**، على سبيل المثال، "إرسال الأمر عند الوقت **1801Z**".

- التوقيت المحلي **Local time**: هو عبارة عن تعديل **UT** لجعله يتكيف مع المناطق الزمنية الخاصة بالأماكن المختلفة على سطح الأرض.

نقطته المرجعية هي الموقع الحالي للشخص: عندما تكون الساعة 12:00:00 ظهراً بتوقيت المحيط الهادي في مختبر الدفع النفاث، تكون الساعة بحسب توقيت **UTC** هي 20:00:00، كما تكون الساعة 13:00:00 بحسب التوقيت الجبلي في دنفر، كولورادو. يتغير الزمن في العديد من المواقع بين التوقيت العادي والتوقيت الصيفي (انظر أدناه). كما يتم تحديد الوقت المحلي على الكواكب الأخرى عند الحاجة.

ويمثل التوقيت المحلي في كوكبٍ آخر القيمة المكافئة (المعادلة) من الوقت لمسافة الشمس عن خط الزوال، كما هو الحال على كوكب الأرض. ولشرح هذه الفكرة نقول أن جسماً ما سيتحرك في سماء كوكبٍ يدور ببطء أكثر من الأرض، من الساعة 1 إلى الساعة 2 بحسب التوقيت المحلي لذلك لكوكب، ولكن هذه الحركة ستستغرق أكثر من ساعةٍ بحسب توقيت الأرض.

مثلاً، عندما تكون الساعة في موقعٍ معينٍ على كوكب الزهرة بين 11:30 صباحاً أو 12:30 مساءً، ستكون الشمس حينها عمودية. ولكن عندما تكون الساعة في موقعٍ معينٍ على سطح كوكب المريخ 5:00 مساءً، ستكون الشمس حينها منخفضةً في جهة الغرب.

- وقت الإرسال **Transmission time** أو اختصاراً **TRM**: هو المكافئ لتوقيت **UTC** لعملية نقل البيانات أو الإشارات من الأرض إلى المركبة الفضائية.

- الزمن الضوئي أحادي الاتجاه **One-Way Light Time** أو اختصاراً **OWLT**: يشير هذا المصطلح إلى الوقت المنقضي الذي يستغرقه الضوء أو الإشارة الراديوية الصادران من الأرض، كي يصل إلى المركبة الفضائية أو أي جسمٍ آخر في الفضاء (والعكس صحيح).

ويتم تمييز وتحديد قيمة **OWLT** بدقةٍ تصل إلى ميلي ثانية، وهي تختلف باستمرارٍ تبعاً للتغير الحاصل في المسافة بين المركبة الفضائية والأرض. ويعد كل من مركز الأرض، والموقع الحالي للمركبة الفضائية أو مركز الجسم السماوي، النقاط المرجعية لنظام **OWLT**.

- وقت الحدث على المركبة الفضائية **Spacecraft Event Time** أو اختصاراً **SCET**: يشير هذا المصطلح إلى التوقيت العالمي المنسق على متن المركبة الفضائية.
وهو مكافئ لمجموع توقيتي **OWLT + TRM**. بينما توقيت **ERT** يكون مكافئاً لتوقيتي **OWLT + SCET**.
-

توقيتي SCLK و SCET

- **SCLK** أو ساعة المركبة الفضائية: وهي قيمةُ العداد الموجود على متن المركبة الفضائية، وسيتم شرحه بشكلٍ موسعٍ لاحقاً. وتمتلك قيمة ساعة المركبة الفضائية ارتباطاً مباشراً مع **SCET**، حيث أنها أفضل ما يمكن لتقدير قيمة **SCET**. ولا تعتبر قيمة ساعة المركبة الفضائية ثابتةً ومستقرةً كما هو الحال مع قيمة **SCET** المشتقة من التوقيت العالمي المنسق، كما تكون وحدات

قياسها مختلفةً عن تلك المستخدمة لقياس **SCET**.

وقد تم إنجاز رصد وتنبؤ العلاقة الدقيقة بين كل من توقيتي **SCLK** و **SCET**، من خلال تحليل قيم مقياس البعد الخاصة بتوقيت **SCLK**، والاتجاهات فيما يتعلق بتوقيت **SCET** المشتق من توقيت **UTC**، ومن ثم بانتظام إنتاج وتطبيق ملف معاملات قيم **SCLK/SCET** التي بدورها تتبع الانحراف التدريجي لـ توقيت **SCLK** بمقابل توقيت **SCET**.

- زمن الضوء ذهاباً وإياباً **Round-Trip Light Time** أو اختصاراً **RTLT**: هو الوقت المنقضي الذي تستغرقه إشارةٌ للسفر من الأرض، حيث يتم استقبالها ونقلها أو عكسها مباشرةً ولحظياً بواسطة المركبة الفضائية أو أي جسمٍ آخر في الفضاء، وبالتالي عودتها إلى نقطة البداية التي انطلقت منها. وتساوي قيمتها تقريباً ضعفي قيمة **OWLT** ولكن ليس بالضبط، وذلك بسبب اختلاف مقدار المسافة التي يجب أن تنتقل عبرها الإشارة في كل مرحلةٍ من رحلتها وذلك نظراً للحركات المستمرة لكلٍّ من المركبة الفضائية والأرض.

على سبيل المثال، توقيت **RTLT** من هنا إلى القمر هو 3 ثوان، بينما تستغرق للوصول إلى الشمس 17 دقيقة. أما توقيت **RTLT** من هنا إلى مركبة فوياجر1 في ديسمبر/كانون الأول لسنة 2012 هو أكثر من 34 ساعة، وهي تتزايد بمقدار ساعةٍ واحدةٍ في السنة.

- الوقت المستقبَل على الأرض **Earth-Received Time** أو اختصاراً **ERT**: هو وقت **UTC** الذي يشير إلى استقبال إشارةٍ ما أو حدثٍ ما في محطة شبكة الفضاء العميق.

- تعريفٌ آخر قد يكون مفيداً جداً كمعلوماتٍ أساسيةٍ، هو الوقت الديناميكي أو الحركي **Dynamical Time** أو اختصاراً **DT**: وقد حل محل التقويم الفلكي القديم **Ephemeris Time** أو اختصاراً **ET**، كمعطى مستقل في النظريات الديناميكية (الحركية) والتقويمات.

وتستند وحدات قياس المدة في هذا التوقيت إلى حركات الأرض والقمر والكواكب. ويتم التعبير عن **DT** باستخدام مصطلحين هما: الوقت الأرضي **Terrestrial Time** أو اختصاراً **TT** (أو الوقت الديناميكي الأرضي **Terrestrial Dynamical Time** أو اختصاراً **TDT**)، والمصطلح الثاني هو الوقت الديناميكي المركزي **Barycentric Dynamical Time** أو اختصاراً **TDB**.

وتوجد ربما المزيد من المعلومات حول هذه المصطلحات وغيرها من مصطلحات ضبط الوقت في موقع مرصد البحرية الأميركية. ولعله من الشائع أن نرى إشاراتٍ ملغية إلى **ET** عندما يكون المقصود هو مصطلح **DT**، وذلك حتى في مشاريع الطيران العاملة حالياً.

التوقيت الصيفي

يبدأ التوقيت الصيفي (أو حرفياً، توقيت حفظ ضوء النهار **daylight saving time**) في معظم الولايات المتحدة في تمام الساعة 2.00 صباحاً بالتوقيت المحلي في يوم الأحد الثاني من شهر مارس/آذار (منذ عام 2007). وفي يوم الأحد الأول من شهر نوفمبر/تشرين الثاني، يعود الوقت الأساسيّ إلى الساعة 2.00 صباحاً (لاحظ أن مناطق زمنية مختلفة يتغير توقيتها في لحظاتٍ مختلفة).

لا يتم رصد التوقيت الصيفي في كل من هاواي وأريزونا (باستثناء مقاطعة نافاجو)، وأراضي بورتوريكو وغوام وجزر فيرجين وجزيرة ساموا الأميركية، حيث يبقى التوقيت الأساسي على ما هو عليه.

في الاتحاد الأوروبي، يبدأ التوقيت الصيفي ـالذي يعادل التوقيت الصيفي للولايات المتحدة الأميركيةـ في الساعة 10.00 بتوقيت **UTC** في آخر يوم أحد من شهر مارس/آذار، وينتهي في آخر يوم أحد من شهر أكتوبر/تشرين الأول (**يتم تغيير الوقت في جميع المناطق الزمنية في ذات اللحظة**).

رسم توضيحي من SOE

الصورة التالية هي مقتطفاتٌ من التسلسل الزمني للأحداث **Sequence of Events** أو اختصاراً **SOE**، الخاص بمشروع رحلةٍ فضائية. وتوضح الصورة استخدام كل من القيم الزمنية التالية: **UTC, ERT, TRM, OWLT, RTLT, SCET** و **SCLK**. (ستتم مناقشة **SOE** بشكلٍ موسعٍ في الفصل الخامس عشر).

رسم توضيحي من SOE

العمود الرأسي الأول في هذا التسلسل الزمني هو رقم البند. بينما يحدد العمود التالي التوقيت الأرضي **UTC**، أما العمود الثالث فيبين ما إذا كان هذا الوقت هو **ERT** أو **TRM**. وجميع الأوقات في هذه الصورة هي **ERT**. أما البنود التي تتضمن عمليات إرسالٍ من محطة شبكة الفضاء العميق، فستظهر كتوقيت **TRM**. ويحدد عمود "الأوامر" الأمر الذي يتم تنفيذه على متن المركبة الفضائية من تسلسل الأوامر المخزنة في ذاكرة المركبة الفضائية. ويظهر العمود الأخير من جهة اليمين قيمة **SCET** تليها قيمة **SCLK** المقابلة، التي ينفَّذ الأمر من خلالها.

- التاريخ: 2015-12-30
- التصنيف: أسئلة كُبرى

#سلسلة أساسيات الطيران الفضائي #الاحداثيات الارضية #محور دوران الأرض #القبة السماوية #هوائيات X-Y

المصطلحات

- **شبكة الفضاء السحيق (Deep Space Network)**: هي صفيفة عملاقة مكونة من هوائيات راديوية تدعم مهمات المركبات الفضائية بين-الكوكبية، بالإضافة إلى عدد من المهمات الموجودة في مدارات حول الأرض. تُقدم هذه الشبكة المعروفة اختصاراً بـ (DSN) بيانات كثيرة في مجال علم الفلك الراديوي، مما يُساهم في تطوير فهمنا للنظام الشمسي والكون.
- **المطلع المستقيم (Right ascension)**: هو البعد الزاوي لجرم سماوي عن نقطة أول الاعتدال الربيعي ويقاس هذا بالوقت على اعتبار أن الدائرة السماوية التي تحيط بالأرض عند خط الاستواء السماوي مقسمة إلى 24 ساعة وكل ساعة مقسمة إلى 60 دقيقة وكل دقيقة إلى 60 ثانية.
- **الميل (Declination)**: عبارة عن محور إحداثيات يمكن استخدامه مع الصعود المستقيم في تحديد مواقع الأجسام في السماء. ويُشابه الميل خط العرض الموجود على الأرض، ويتغير بين القيمتين +90 درجة و -90 درجة.
- **المستوي الشمسي (Ecliptic)**: هو مستوي مدار الأرض حول الشمس.
- **السمت أو الأوج (Zenith)**: وهي كلمة لها أصل عربي وتُمثل نقطة من السماء الموجودة مباشرة فوق موقع ما أو راصد، أو هي أعلى نقطة في السماء يُمكن لجسم سماوي ما أن يصلها.

المصادر

- solarsystem.nasa

المساهمون

- ترجمة
  - سومر عادلة
- مُراجعة
  - عبد الرحمن سوالمه
- تحرير
  - روان زيدان
  - منير بندوزان
- تصميم
  - علي كاظم
  - يامن الحاج علي
- نشر
  - مي الشاهد