د. مُظفر جاسم
٢٠٢٤-٢٠٢٥

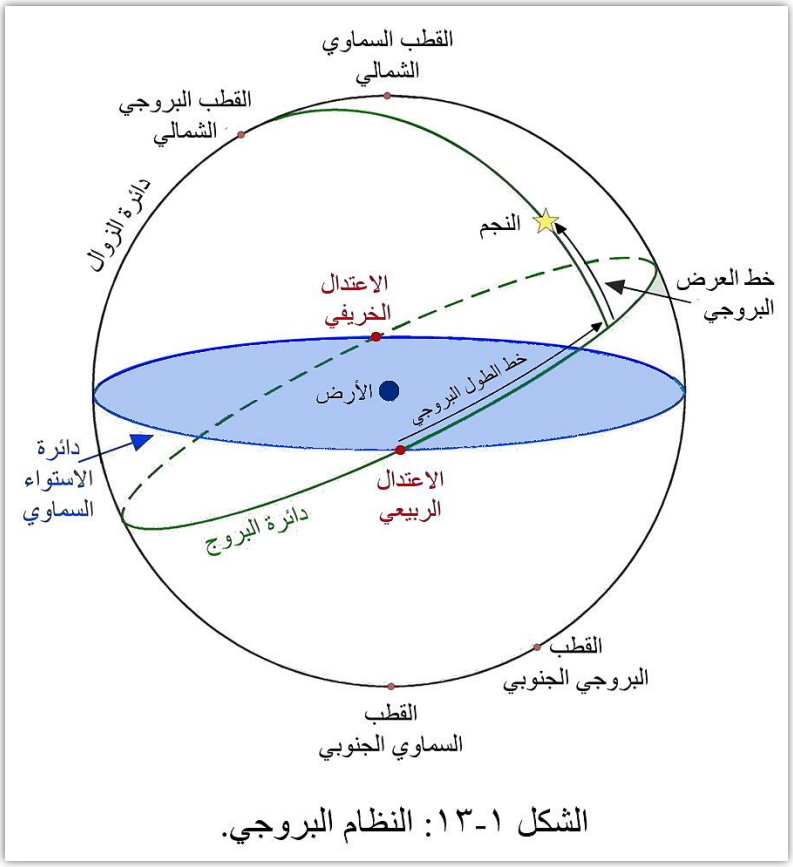
الفصل الأول

القُبّة السَماويّة

Celestial Sphere

١-٥-٤: النظام البروجي 1-5-4: Ecliptic System

وهو نظام قديم وقليل الاستعمال حالياً، والدائرة الأساسية فيه هي دائرة البروج التي تمثل المستوى المداري للأرض حول الشمس، أو هي الدائرة الكبرى على القبة السماوية التي ترسمها الشمس خلال عام واحد. والنقطتان الأساسيتان في هذا النظام هما نقطتا القطبين الشمالي والجنوبي لدائرة البروج. والنقطة الصفرية اللازمة لقياس خط الطول السماوي هي نقطة الاعتدال الربيعي. ويكون الاحداثيان الأساسيان هما خط الطول البروجي وخط العرض البروجي كما مبين في الشكل ١-١٣.

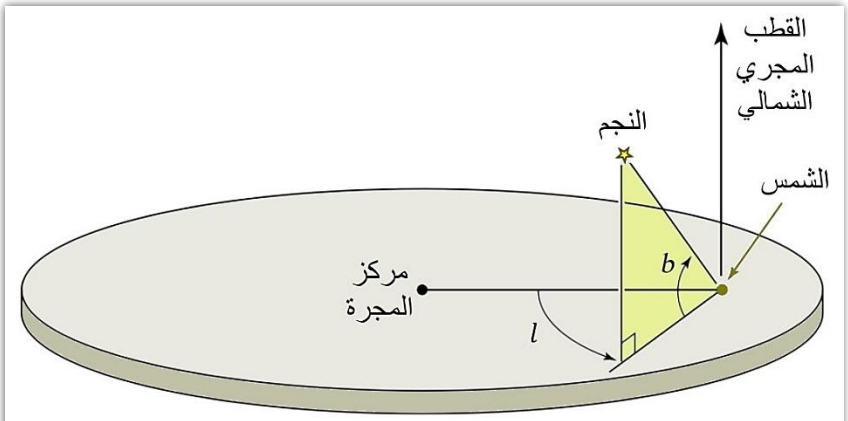


الشكل ١-١٣: النظام البروجي.

يستعمل هذا النظام بشكل أساسي للكواكب والأجرام الأخرى في النظام الشمسي لأن أغلب الكواكب لا تخرج كثيراً عن دائرة البروج، إذ تمتلك مدارات تميل بزوايا صغيرة عن مستوى مدار الكرة الأرضية. وكذلك يُستعمل لمعرفة موقع الشمس (الذي يكون فيه خط العرض صفراً دائماً).

١-٥-٥: النظام المجري 1-5-5: Galactic System

يستعمل هذا النظام لدراسة مجرتنا درب التبانة Milky Way ومواقع الأجرام فيها. والمستوى المرجعي الأكثر طبيعية لهكذا دراسات هو مستوى المجرة (الشكل ١-١٤). وبما أن الشمس قريبة جداً من هذا المستوى، فيمكننا وضع نقطة الأصل عند الشمس. والإحداثيان الأساسيان هما:



الشكل ١-١٤: النظام المجري.

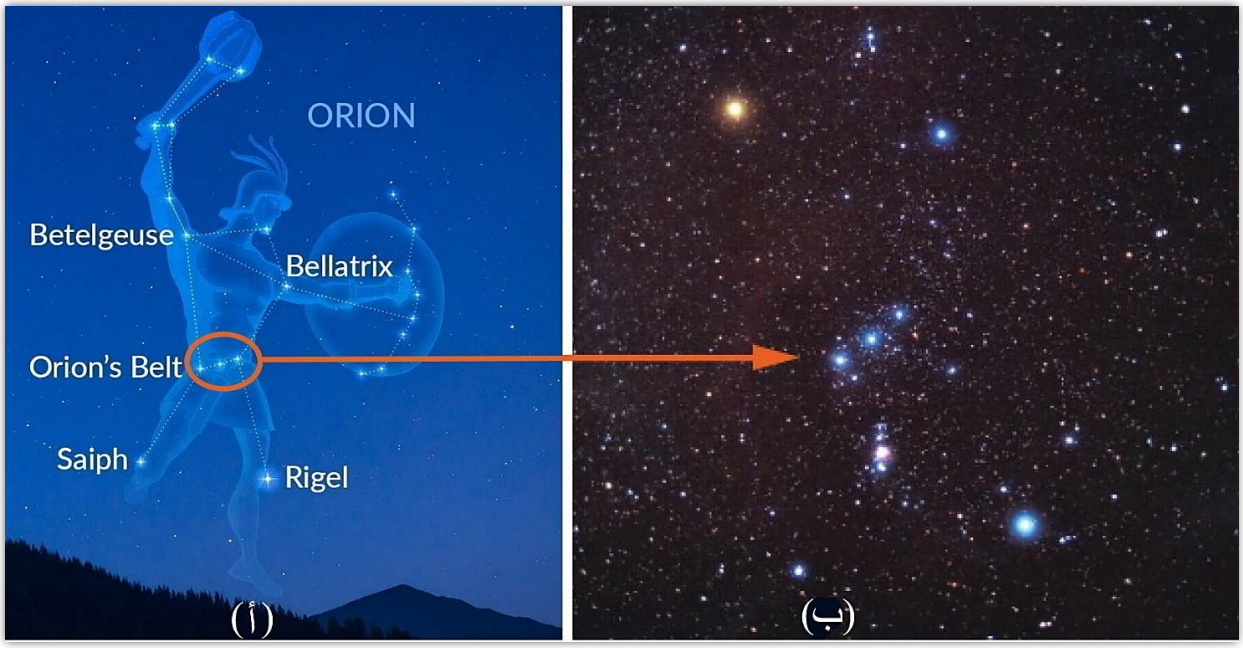
أ) خط العرض المجري galactic latitude b، وهو الازاحة الزاوية مقاسة بالدرجات شمال أو جنوب دائرة الاستواء المجري، ويكون موجباً شمالاً وسالباً جنوباً.

ب) خط الطول المجري galactic longitude l، وهو الازاحة الزاوية مقاسة ضمن المستوى المجري عكس اتجاه عقرب الساعة من اتجاه مركز المجرة في برج القوس $(\delta = -29°, \alpha = 17^h45.7^m)$.

١-٦: الكوكبات النجمية 1-6: Constellations

في ظل الظروف المثالية يمكن رؤية (1000 ← 1500) نجم تقريباً في السماء (فوق الأفق) في أي وقت ليلاً، ويمكن أن يصل عدد النجوم المرئية بالعين المجردة إلى 3000 نجم في نصف الكرة الأرضية، أو 6000 نجم إجمالاً. ويبدو أن بعض النجوم تشكل أشكالاً تشبه أشياء مألوفة للناس مما دعاهم لأن يطلقوا عليها أسماءً تناسب ثقافاتهم وموروثاتهم وتخيلاتهم بلا استناد لأي أساس علمي.

وفي عام 1928 نُظمت نجوم القبة السماوية على يد علماء الفلك بإقرار من الاتحاد الفلكي الدولي International Astronomical Union (IAU) في 88 كوكبة نجمية لتغطي جميع أجزاء السماء المرئية مع تثبيت مواقعها وتنسيق الحدود المناسبة لها تسهيلاً للأرصاد والدراسات الفلكية.



الشكل ١-١٥: (أ) مخطط لكوكبة الجبار. (ب) صورة تُظهر كوكبة الجبار في السماء.

وكمثال نذكر كوكبة الجبار Orion (أو الصياد hunter)، وهي كوكبة تظهر بشكل بارز خلال أمسيات الشتاء في نصف الكرة السماوية الشمالي. وكما في الشكل ١-١٥- ب تُلاحَظ صورة تظهر فيها منطقة كوكبة الجبار في السماء، وفيها النجوم الزرقاء الثلاثة التي تشكل حزام الصياد. والنجمة الحمراء الساطعة فوق الحزام تشير إلى إبطه المسمّى منكب الجوزاء Betelgeuse الذي يُعد من العمالقة الحمر وأكبر من الشمس بـ 450 مليون مرة تقريباً، ويبعد عنا بـ (500 ← 600) سنة ضوئية تقريباً. والنجم الأزرق اللامع الموجود أسفل الحزام هو ما يسمى رِجل (رجل الجبار) Rigel.

وفيما يلي أهم الكوكبات النجمية التي تظهر في سماء النصف الشمالي للقبة السماوية:

١) أهم كوكبات فصل الشتاء: الجبار والثور وممسك الأعنة والكلب الأكبر والكلب الأصغر والجوزاء والسرطان.

٢) أهم كوكبات فصل الربيع: الأسد والدب الأكبر والدب الأصغر والعذراء والميزان والراعي والتاج.

٣) أهم كوكبات فصل الصيف: العقرب والجاثي والرامي (القوس) والعقاب والسلياق (القيثارة) والجدي والدجاجة.

٤) أهم كوكبات فصل الخريف: الدلو والفرس الأعظم وبرج الحوت والمرأة المسلسلة وذات الكرسي وفرساوس والحمل.

١-٧: منطقة البروج ودائرة البروج 1-7: Zodiac and Ecliptic

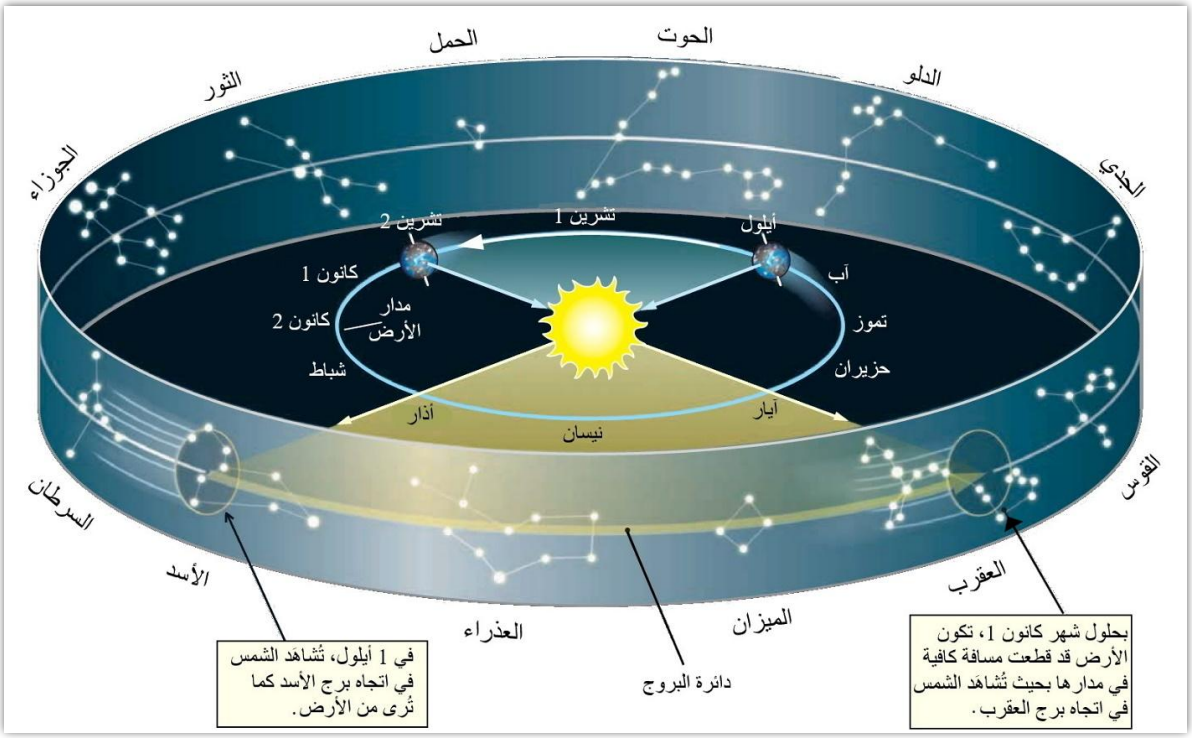
إن منطقة البروج هي الحزام الوهمي الضيق الذي توجد فيه الشمس وكواكبها، لأن مسارات الكواكب حول الشمس تقع كلها تقريباً في نفس المستوى. ويلتف هذا الحزام حول السماء، وسمكه على القبة السماوية 18° تقريباً. ويُقسم إلى اثنتي عشرة مجموعة نجمية (كوكبة نجمية) كل منها تدعى بالبرج sign of zodiac. أي إن البروج ما هي إلا كوكبات نجمية لها أشكالها الخاصة، ولكنها تمتاز بأنها واقعة خلف المسير الظاهري للشمس. والشكل ١-١٦ يبين البروج حسب ترتيبها. ويلاحظ أنه على الرغم من وجود 12 برجاً، إلا أن هناك في الواقع 13 كوكبة على مسار الشمس (لاحظ الجدول ١-٢).

الجدول ١-٢: أوقات كوكبات منطقة البروج.

الكوكبة في دائرة البروج	وقت عبور الشمس للكوكبة
الجدي	21/1 – 16/2
الدلو	16/2 – 11/3
الحوت	11/3 – 18/4
الحمل	18/4 – 13/5
الثور	13/5 – 22/6
الجوزاء	22/6 – 21/7
السرطان	21/7 – 10/8
الأسد	10/8 – 16/9
العذراء	16/9 – 31/10
الميزان	31/10 – 23/11
العقرب	23/11 – 29/11
الحوّاء	29/11 – 18/12
القوس	18/12 – 21/1

إن الأرض تدور حول الشمس مرة واحدة كل سنة، وعند انتقالها من موضع إلى آخر يُخيل إلينا وكأن الشمس قد انتقلت من برج إلى آخر، ويستغرق مسيرها في البرج الواحد 30 يوماً تقريباً لأن الأرض تتحرك درجة واحدة تقريباً كل يوم وتكمل 360° خلال السنة.

أما دائرة البروج فهي عبارة عن المسير الظاهري للشمس في مركز منطقة البروج بالنسبة إلى النجوم الخلفية التي تظهر ثابتة في السماء، وتميل هذه الدائرة بزاوية مقدارها 23.5° عن دائرة الاستواء السماوي. ومما يُلاحظ أنه في أي وقت من السنة تكون بعض الكوكبات التي يعبرها مسير الشمس مرئية في سماء الليل والبعض الآخر موجود في سماء النهار مختبئاً تحت وهج الشمس.



الشكل ١-١٦: مسير الشمس الظاهري في منطقة البروج.

١-٨: الفصول الفلكية الأربعة 1-8: The Seasons

يوضح الشكل ١-١٧-أ المسار السنوي للأرض حول الشمس، مع ميل محور الأرض بمقدار 23.5°. أي إن خط استواء الأرض يميل عن دائرة البروج بزاوية مقدارها 23.5°. وبسبب هذا الميل تحدث ظاهرة الفصول الأربعة على الأرض. وبسبب بعض الاضطرابات تتغير هذه الزاوية مع مرور الوقت. ويتراوح الميل بين 22.1° و 24.5° خلال دورة زمنية تبلغ 41000 سنة. ويتناقص الميل في الوقت الحاضر، وهناك أيضاً اختلافات صغيرة قصيرة المدى.

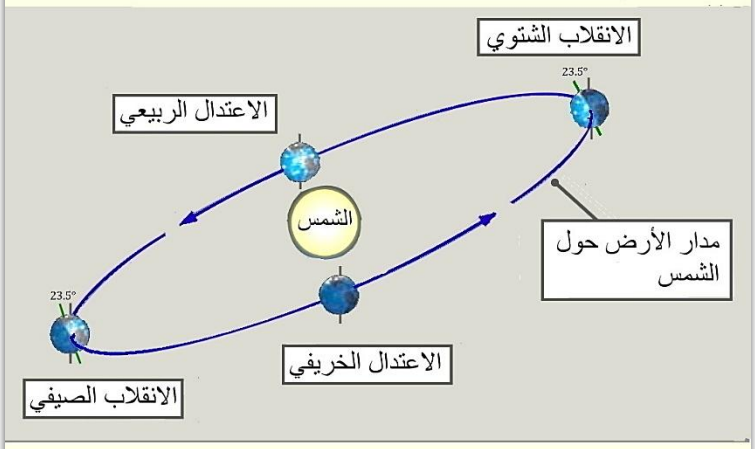
يبلغ الانحراف المركزي e لمدار الأرض 0.0167 تقريباً. ويتراوح بُعدها عن الشمس بين (147 ← 152) مليون كيلومتر. ففي الأسبوع الأول من شهر كانون الثاني تصبح الأرض في أقرب نقطة من الشمس والتي تدعى بالحضيض perihelion، أما في الأسبوع الأول من شهر تموز فتصبح الأرض في أبعد نقطة من الشمس والتي تدعى بالأوج aphelion. وقريب من هاتين النقطتين تكون نقطتا الانقلاب

الشتوي winter solstice (~22 كانون الأول) والانقلاب الصيفي summer solstice (~21 حزيران)، وتوجد بينهما نقطتا الاعتدال الربيعي (~21 آذار) والاعتدال الخريفي (~23 أيلول). وعلى هذا الأساس ينقسم مدار الأرض إلى أربعة أقسام تمثل الفصول الأربعة. وتكون فترات هذه الفصول غير متساوية المدة في كل من نصفي الأرض الشمالي والجنوبي.

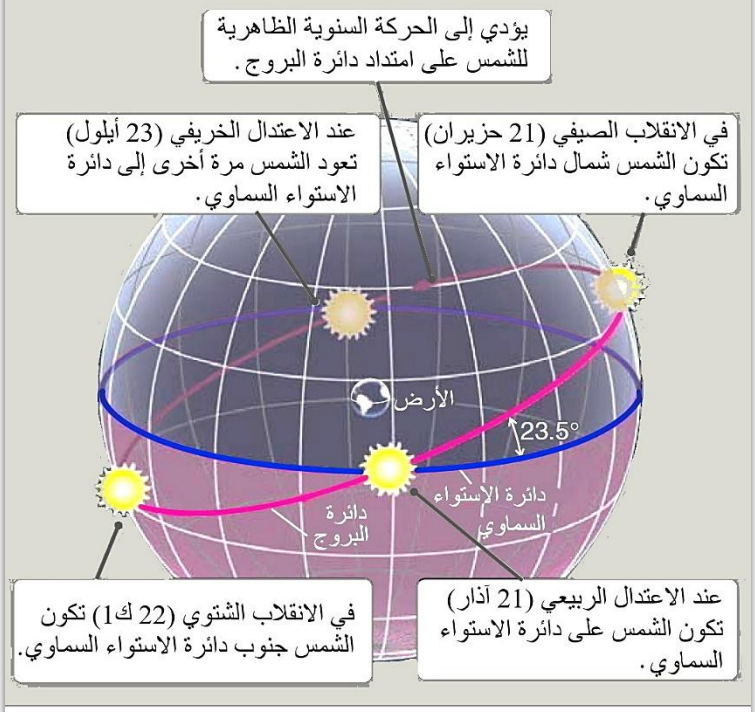
تعتمد الطاقة الواصلة من الشمس إلى سطح الأرض على ثلاثة عوامل:

١) في الصيف يكون للارتفاع الزاوي a للشمس قيم أكبر مما في الشتاء، فتظهر الشمس عاليةً في السماء وتضرب أشعتها الأرض بشكل مباشر أكثر وتنتشر على مساحة أقل مما يعطي المزيد من الطاقة لكل وحدة مساحة. وفي الشتاء تكون الشمس منخفضة في السماء وتنتشر أشعتها على مساحة أوسع بكثير، فتصبح أقل فعالية في تدفئة الأرض. أي إن الإشعاعات الشمسية في الصيف تتمركز على منطقة معينة أكثر مما هي عليه في الشتاء (الشكل ١-١٨). وهذه الحالة تكون معاكسة لما في النصف الجنوبي للأرض.

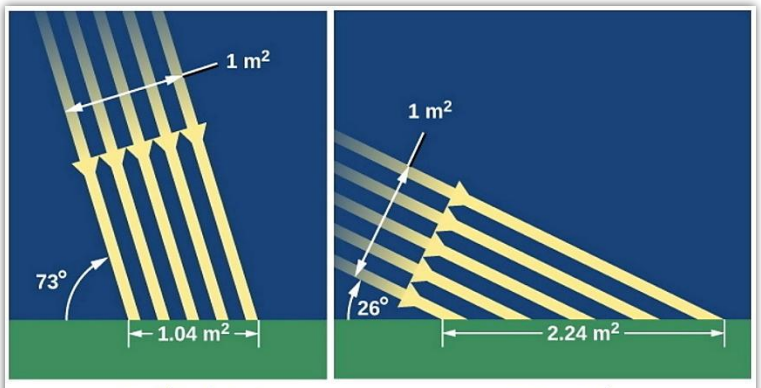
(أ) حركة الأرض حول الشمس كما تشاهد من الشمس.



(ب) حركة الأرض حول الشمس كما تشاهد من الأرض.



الشكل ١-١٧: حركة الأرض حول الشمس.

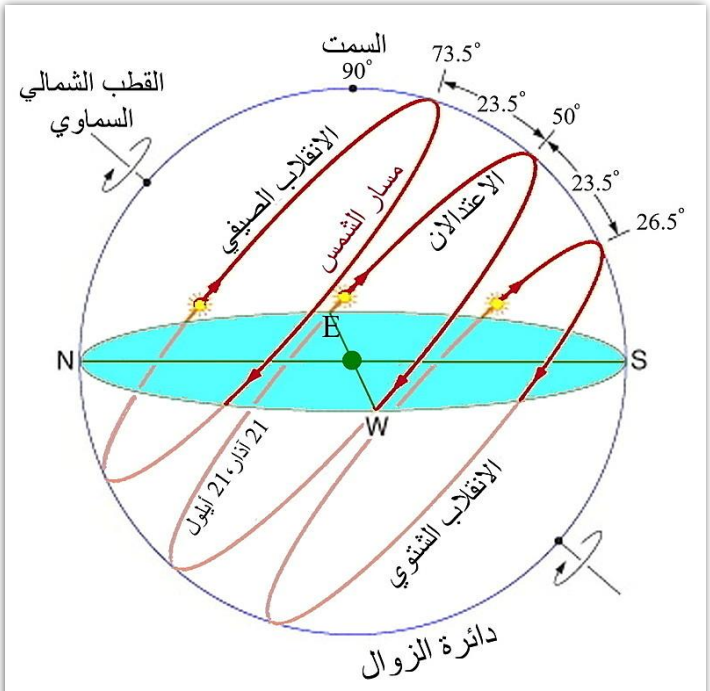


(أ) في الشتاء. (ب) في الصيف.

الشكل ١-١٨: ميل أشعة الشمس في الشتاء والصيف.

٢) طول الفترة التي تكون فيها الشمس فوق الأفق. ففي النصف الشمالي من الكرة الأرضية يكون مسير الشمس في حزيران أطول من المعدل، ولهذا تكون فترة النهار أطول عند الانقلاب الصيفي وأصغر عند الانقلاب الشتوي (لاحظ الشكل ١-١٩).

٣) عندما تكون الشمس قريبة من الأفق يخترق الإشعاع طبقات الغلاف الجوي السميكة. وهذا يعني نقصاناً في كمية الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض.



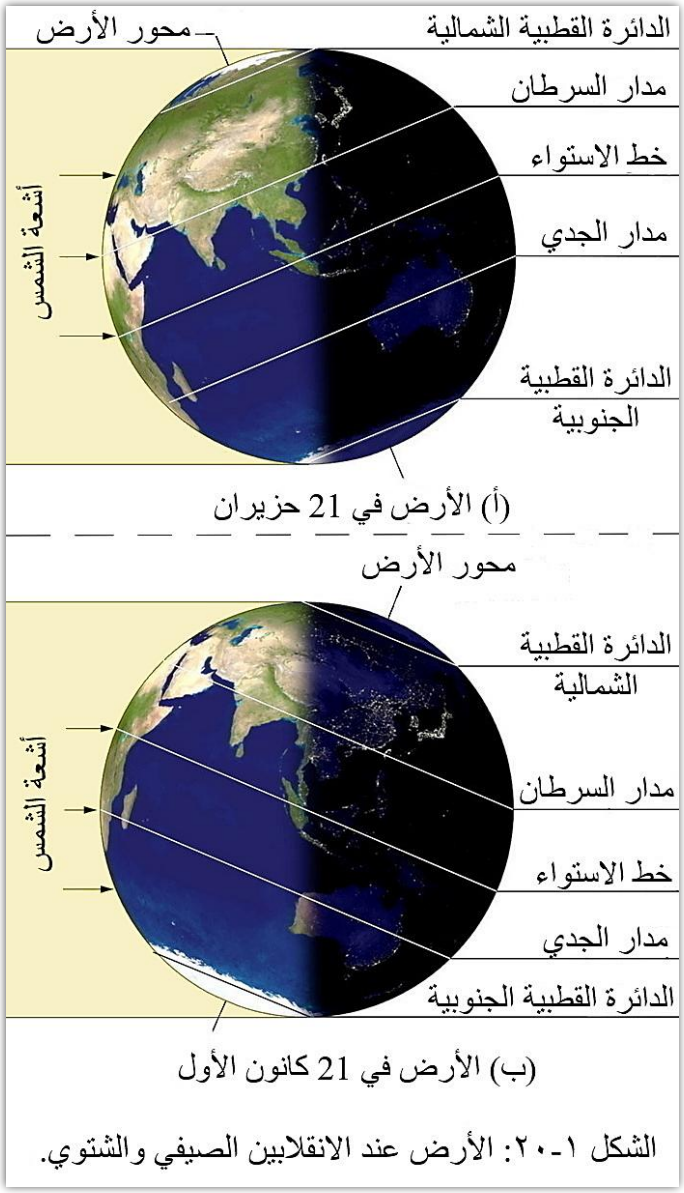
الشكل ١-١٩: مسار الشمس في السماء خلال السنة.

في 21 حزيران، تشرق الشمس من الشمال الشرقي وتغرب من الشمال الغربي. وتقضي الشمس فترة أطول فوق الأفق، أي يكون النهار طويلاً، ففي العراق مثلاً يكون طول النهار أكثر من 14 ساعة. وفي 21 كانون الأول، تشرق الشمس من الجنوب الشرقي وتغرب من الجنوب الغربي، لذا يكون النهار قصيراً والليل طويلاً، وتقضي الشمس ما يقارب 10 ساعات فقط فوق أفق العراق. وعند الاعتدالَين، أي في 21 آذار و 23 أيلول تقضي الشمس فترات متساوية تقريباً من الوقت فوق وتحت الأفق في كلا نصفي الكرة الأرضية.

ونتيجة لحركتي الأرض المدارية والمحورية فإن تعامد الأشعة الشمسية لا يبقى ثابتاً على خط الاستواء بل ينتقل تعامدها (أي عندما تكون الشمس في السمت) ما بين مدارين أرضيين هما مدار السرطان في صيف نصف الكرة الشمالي ومدار الجدي في شتائه (أي في صيف نصف الكرة الجنوبي). وتُرى الشمس في السمت بين خطي العرض هذين مرتين سنوياً، أي في الاعتدالين الربيعي والخريفي. وذلك بسبب ميلان محور الأرض، مما يؤدي إلى تغير الزاوية التي يصنعها الشعاع الشمسي مع دائرة الاستواء خلال أيام السنة (لاحظ الشكل ١-٢٠).

هناك ظاهرة أخرى ذات علاقة بميل محور الأرض تدعى ظاهرة شمس منتصف الليل midnight Sun، أو النهار القطبي polar day، وهي ظاهرة طبيعية تحدث في أشهر الصيف في الأماكن الواقعة شمال الدائرة القطبية الشمالية Arctic Circle أو جنوب الدائرة القطبية الجنوبية Antarctic Circle، أي عند

خطوط العرض التي تتراوح بين (66.55° ← 90°) شمالاً أو جنوباً عندما تظل الشمس مرئية عند منتصف الليل المحلي. وأدنى خط عرض يمكن رؤية شمس منتصف الليل عنده هو الدائرة القطبية الشمالية (في 21 حزيران) أو الجنوبية (في 21 كانون الأول)، حيث تبقى الحالة ليوم واحد، ويزداد وقت ظهور الشمس كلما اتجهنا شمالاً في نصف الكرة الشمالي (أو جنوباً في نصف الكرة الجنوبي)، إلى أن نصل إلى القطب الشمالي حيث تظل الشمس مشرقة طوال ستة أشهر من 20 آذار إلى 23 أيلول. وفي القطب الجنوبي، تظل الشمس فوق الأفق من 23 أيلول إلى 20 آذار. وتحدث الظاهرة المعاكسة (الليل القطبي polar night) في الشتاء عندما تظل الشمس تحت الأفق طوال اليوم.



الشكل ١-٢٠: الأرض عند الانقلابين الصيفي والشتوي.

تتولد شمس منتصف الليل بسبب ميل محور الأرض في أحد الاتجاهات أثناء دوران الأرض حول الشمس، فيميل أحد القطبين نحو الشمس لمدة ستة أشهر (وهي طول فترة نهاره حينئذ)، في حين يميل القطب الآخر بالاتجاه الآخر (وهي طول فترة ليله حينئذ) كما في الشكل ١-٢٠.

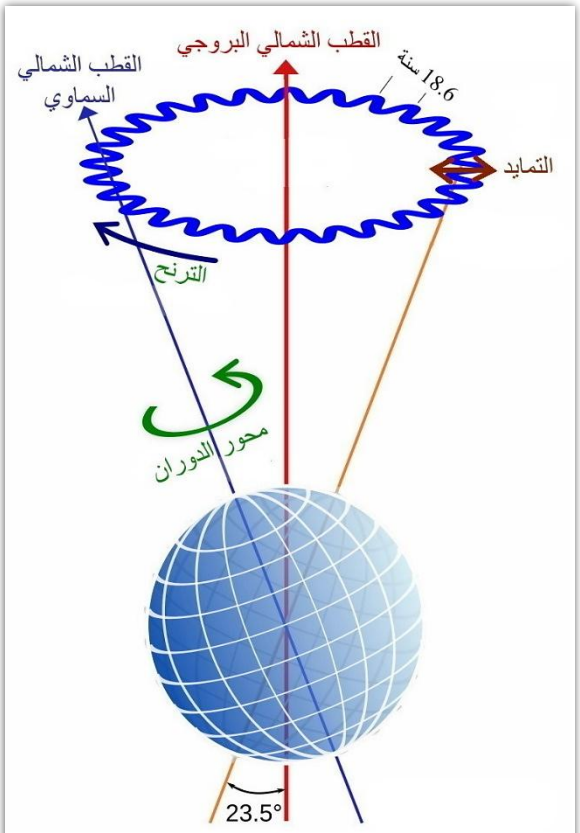
١-٩: الترنح (دوران محور الأرض) 1-9: Precession

إن المحور الأرضي ليس ثابتاً عند دوران الأرض حول الشمس، بل هو ذو حركة مخروطية بطيئة مشابهة لحركة المصراع كما في الشكل ١-٢١. ويؤدي هذا إلى تغير بطيء جداً في المواقع السماوية للقطب السماوي الشمالي والنجم القطبي وجميع النجوم الأخرى، وهو ما يسمى بالترنح.

إن قوة دوران الأرض حول محورها، والمتجهة من داخل الأرض إلى خارجها تعاكس اتجاه قوة الجاذبية المتجهة من الخارج إلى الداخل، وهذا يؤدي إلى تقليل تأثير الجاذبية في اتجاه الدوران. وبما أن هذا

التأثير يكون أكثر وضوحاً عند خط الاستواء وأقل تأثيراً عند القطبين فإن الأرض ليست كروية الشكل، بل هي منتفخة قليلاً حول وسطها الاستوائي، ومنبعجة عند قطبيها.

إن الشمس تقع دائماً في مستوى دائرة البروج الذي يميل بـ 23.5° عن مستوى خط استواء الأرض، أما القمر فليس بعيداً عن هذا المستوى، فلهذا يؤثران بقوّتي جذب على جهة خط استواء الأرض المفلطح، وتحاول هاتان القوتان جعل محور الأرض عمودياً على مستوى دائرة البروج. لذا فإن محصلة قوى الجاذبية ودوران الأرض حول محورها تولّد قوة عمودية على هذه التأثيرات، وتَصارُع القوى هذا يؤدي إلى الترنح والتغير البطيء في اتجاه المحور الدوراني للأرض بمرور الزمن. لذا فإن القطب السماوي الشمالي يتحرك حركة دائرية (تمثل قاعدة الحركة المخروطية)، ومركز هذه الدائرة هو قطب دائرة البروج، ونصف القطر الزاوي يعادل 23.5°، أي إن قطر دائرة الترنح هو 47°، ومدة الترنح اللازمة لإكمال دورة تبلغ 25800 سنة تقريباً، ومعنى ذلك أن القطب السماوي الشمالي يتحرك ببطء خلال النجوم. فمثلاً في الوقت الحاضر يقع هذا القطب قريباً من النجم القطبي Polaris (يبعد عنه 0.75° تقريباً)، ويُتوقع أنه سيقترب منه أكثر في القرن المقبل ثم يجتازه، وبعد 12000 عام سيقترب من نجم النسر الواقع Vega ببعد 5°.

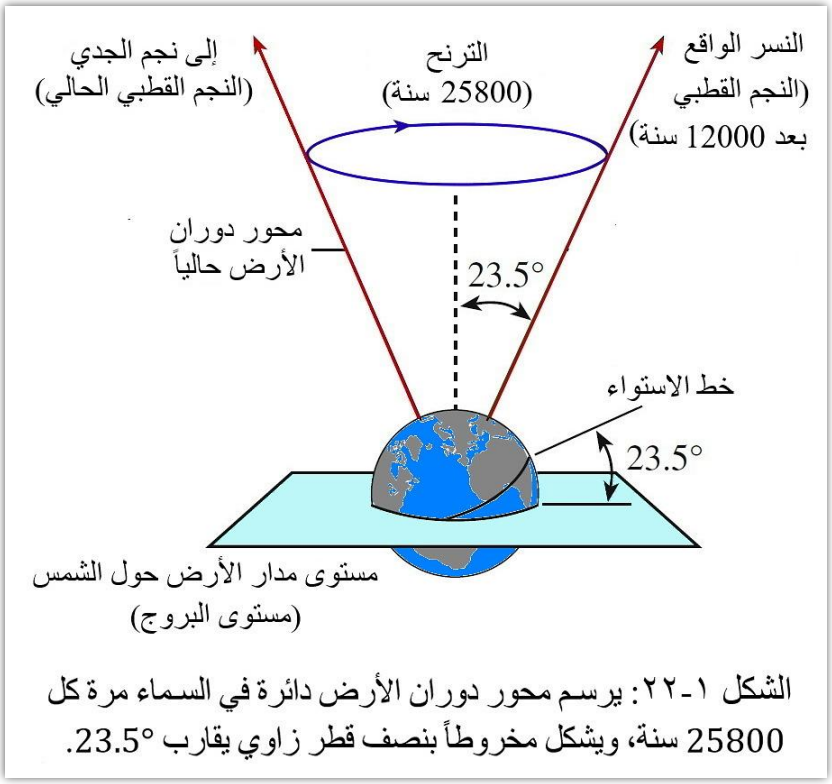


الشكل ١-٢١: الترنح، حيث يدور محور دوران الأرض حول القطب الشمالي البروجي. والتمايد هو التذبذب الصغير الذي يعكر سلاسة الحركة.

ولما كان موقع المحور الأرضي الدوراني يتغير في السماء فإن الاستواء السماوي سيتغير موقعه أيضاً. والنتيجة أن يتغير موقعا نقطتي الاعتدالين الربيعي والخريفي، حيث تكون الحركة بطيئة باتجاه الغرب ضمن دائرة البروج. وقد وُجد أن قيمة التحرك السنوي لنقطة الاعتدال (أي زحزحة نقطة الاعتدال) بالنسبة إلى النجوم تعادل 50.26 ثانية قوسية، (لاحظ الشكل ١-٢٢).

ونتيجة لهذه الحركة يُلاحظ أن إحداثيات النجوم التي تعتمد على نقطة الاعتدال تتغير بمرور الزمن، فلهذا يُعطى في الجداول الفلكية (الأزياج) تاريخ الاعتدالين في وقت التصنيف.

وهناك حركة ثانوية لمحور الأرض تسمى الميد (أو التمايد) nutation. وهي ناتجة عن الجاذبية الصادرة عن القمر نتيجة ميله الصغير 5° على مستوى المدار الذي يؤثر على التفلطح الأرضي المائل الذي يحاول إطباق مستواه على مستوى دائرة البروج. ونتيجة لهذا الجذب القمري والشد الأرضي المقاوم له يحدث تذبذب ضئيل في مسير محور الأرض مدته 18.6 سنة يؤدي إلى رسم منحنيات موجية كما في الشكل ١-٢١. ولهذه الحركة علاقة وثيقة بدورة عقدتي القمر الصاعدة والنازلة على دائرة البروج، والتي تسمى بالساروس.



الشكل ١-٢٢: يرسم محور دوران الأرض دائرة في السماء مرة كل 25800 سنة، ويشكل مخروطاً بنصف قطر زاوي يقارب 23.5°.

١-١٠: مقياس الكون 1-10: The Scale of the Universe

عادة ما تكون كتل وأحجام الأجرام الفلكية كبيرة جداً. ولفهم خصائصها يلزم دراسة أصغر أجزاء المادة: الجزيئات والذرات والجسيمات الأولية. وتختلف الكثافات ودرجات الحرارة والمجالات المغناطيسية في الكون ضمن حدود أكبر بكثير مما يمكن الوصول إليه في المختبرات على الأرض. فأعظم كثافة طبيعية تم العثور عليها على الأرض هي $22.5\ g/cm^3$ (لعنصر الأوزميوم osmium)، بينما في النجوم النيوترونية يمكن أن تصل الكثافة إلى مرتبة $10^{15}\ g/cm^3$. وتبلغ الكثافة في أفضل فراغ تم تحقيقه على الأرض $10^{-12}\ g/cm^3$ فقط، ولكن في الفضاء بين النجوم قد تكون كثافة الغاز $10^{-24}\ g/cm^3$ أو حتى أقل. وكمثال فإن الهواء الذي نتنفسه يحتوي على 10^{19} ذرة تقريباً في كل سنتيمتر مكعب، ويوجد في الغاز الموجود بين النجوم في المجرة ذرة واحدة تقريباً في كل سنتيمتر مكعب.

وفيما يتعلق بالطاقة فإنه في المعجلات الحديثة قد تصل طاقة الجسيمات إلى مرتبة $10^{12}\ eV$، بينما قد تكون للأشعة الكونية القادمة من السماء طاقات تزيد عن $10^{20}\ eV$.

ويستغرق ضوء الشمس 8 دقائق تقريباً كي يصل إلى الأرض، و 5.5 ساعة من بلوتو، و 4.25 سنة من أقرب نجم. ويستغرق الضوء القادم من مجرة المرأة المسلسلة Andromeda Galaxy في السماء الشمالية مليوني سنة. وبعض المجرات تبعد مليارات السنين الضوئية.

إن جميع ما يحدث في الكون، من أصغر جسيم أولي إلى أكبر العناقيد المجرية الفائقة يمكن تفسيره من خلال عمل أربع قوى معروفة لحد الآن هي: الجاذبية gravity، والكهرومغناطيسية electromagnetism التي تجمع بين تأثير الكهرباء والمغناطيسية، والنووية القوية strong nuclear force والنووية الضعيفة weak nuclear force.

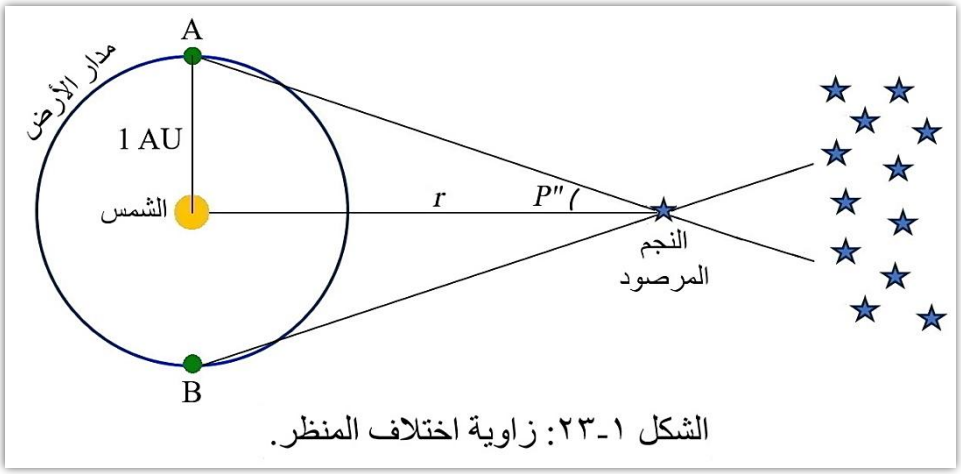
ولفهم المقاييس الفلكية والمسافات ما بين الأجرام السماوية تُستعمل العديد من وحدات القياس الفلكية، فلقياس الكتلة mass غالباً ما تُستخدم كتلة الشمس كوحدة للكتلة في الفيزياء الفلكية، ويُشار لها بالرمز $M_{\odot}$، وقيمتها $(1.99 \times 10^{30}\ kg)$. ولقياس المسافات تُستعمل الوحدات التالية:

١) **الوحدة الفلكية** astronomical unit (AU): وهي معدل المسافة بين مركزي الشمس والأرض وتعادل 149.597870 مليون كيلومتر، وعند التقريب 150 مليون كيلومتر. وهي وحدة مفيدة لقياس المسافات داخل النظام الشمسي، لكنها صغيرة جداً بحيث لا يمكنها التعبير عن المسافات بين النجوم والمجرات.

٢) **السنة الضوئية** light year (ly): وهي المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال سنة واحدة. فإذا اعتبرنا أن سرعة الضوء خلال الثانية الواحدة تبلغ $300000\ Km/sec$، فإن المسافة المقطوعة خلال سنة تعادل $9.46 \times 10^{12}\ km$ تقريباً، وهي السنة الضوئية. لذا فإن ضوء الشمس يستغرق 8.31 دقيقة تقريباً لكي يصل إلى الأرض.

٣) **زاوية اختلاف المنظر** parallax: يمكن تحديد المسافات إلى النجوم القريبة من الأرض بطريقة مُثلثية. فلو أخذنا بنظر الاعتبار حركة الأرض حول الشمس فإن الاتجاه الظاهري للنجم مقاساً بالنسبة إلى مواقع النجوم البعيدة يتغير مع دوران الأرض حول الشمس، والزاوية التي يقابلها نصف قطر مدار الأرض (الذي مقداره $1\ AU$) والتي تنتج عن حركة الأرض حول الشمس هي زاوية اختلاف المنظر، وهي الزاوية P'' في الشكل ١-٢٣، والتي تمثل تغير الوضع الظاهري للأجرام السماوية نتيجة تغير موقع الراصد، وتقاس بالثواني القوسية. وكلما كان الجرم السماوي أقرب كلما كانت زاوية اختلاف المنظر أكبر. وتصلح هذه الطريقة للنجوم القريبة

من الأرض فقط. وفي الشكل ١-٢٣ فُرض أن النجوم ثابتة تقريباً بالنسبة إلى الشمس (وإن كانت في الواقع متحركة في مداراتها داخل المجرة)، وأن النقطتين A و B تمثلان موقعي الراصد على مدار الأرض، والمدة بينهما ستة أشهر.



الشكل ١-٢٣: زاوية اختلاف المنظر.

٤) **الفرسخ الفلكي** parsec (pc): وهو المسافة التي يصنع فيها الجرم السماوي زاوية اختلاف منظر مقدارها ثانية قوسية واحدة، وتعادل 3.26 سنة ضوئية، وتستخدم لقياس مسافات الأجرام البعيدة. ولكنها نادراً ما تستخدم في الأبحاث الفلكية التخصصية.

وفيما يلي العلاقات الرياضية بين الوحدات الفلكية المذكورة أعلاه:

$$r(ly) = \frac{3.26}{P''} \qquad \dots\dots 1.12$$

$$r(pc) = \frac{1}{P''} \qquad \dots\dots 1.13$$

$$pc = 3.26\ ly \qquad \dots\dots 1.14$$

مثال ١-٦: إذا علمت أن زاوية اختلاف المنظر لنجم الشِّعرَى اليمانيّة Sirius (الذي هو ألمع نجوم السماء) هي نحو $0.375''$. فما بعده عنا بالفراسخ الفلكية والسنوات الضوئية؟

الحل :

$$r(pc) = \frac{1}{P''} = \frac{1}{0.375} = 2.67\ pc$$

$$r(ly) = \frac{3.26}{P''} = \frac{3.26}{0.375} = 8.69\ ly$$

أسئلـة

١) ارسم القبة السماوية مبيناً عليها احداثيات نظام الأفق.

٢) ما هو الميل وما هو المطلع المستقيم وما هي زاوية الساعة؟ وفي أي نظام تُستعمل؟

٣) ما هو الارتفاع الزاوي للجرم السماوي؟ وفي أي نظام إحداثي يُستعمل؟ وما علاقته بالبعد السمتي؟

٤) لماذا تكون سرعة الأرض متفاوتة خلال السنة؟

٥) لماذا تكون الأرض غير كروية تماماً بل مفلطحة؟

٦) علل ما يلي: من خلال مراقبة حركة نجم على مدار الليل، يكتشف الراصد أنه يتبع مساراً ترتفع النجوم فيه من اتجاه الشرق، ثم تصل إلى أعلى نقطة لها وتغرب في الغرب.

٧) لماذا ترتفع درجة حرارة الجو خلال صيف نصف الكرة الأرضية الشمالي رغم أن الشمس تكون فيه أبعد مما في الشتاء؟

٨) ما سبب حدوث الفصول الفلكية الأربعة على الأرض؟

٩) لماذا تحدث ظاهرة التمايد؟

١٠) لو حَدَثَ حَدَثٌ ما قرب نجم تبلغ زاوية اختلاف المنظر له 0.03 ثانية قوسية. فمتى يمكن أن نعلم به؟

١١) إذا كانت زاوية اختلاف المنظر للقمر $0.239°$ بعد قياسها من نقطتين على سطح الأرض تبعدان عن بعض مسافة $1600\ km$ فما هو بعد القمر عن الأرض؟ الجواب: $(383568\ km)$.

١٢) يُعد النجم المسمى الأقرب القنطورس Proxima Centauri أقرب نجم للشمس، وهو جزء من المنظومة النجمية الثلاثية ألفا قنطورس Alpha Centauri، ويبعد عنا مسافة 4.2465 سنة ضوئية. فلو انطلقت مركبة فضائية متجهة نحوه بسرعة $10^5\ km/h$ فكم ستستغرق من الزمن للوصول قربه؟ الجواب: $(\sim 46000\ y)$.

١٣) احسب كتلة الشمس باستخدام قانون كبلر الثالث إذا علمت أن معدل المسافة بين الأرض والشمس هو $(1.496 \times 10^{11}\ m)$ وأن ثابت الجذب العام هو $(6.674 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2)$.

١٤) افترض أن مذنباً ما يتحرك حول الشمس، وكانت قيمة الاختلاف المركزي له 0.95.
أ- ما هي الفترة المدارية له إذا كان طول المحور شبه الرئيسي لمداره $50\ AU$؟
ب- ما هي المساحة (بوحدة AU لكل سنة) التي يمسحها الخط الواصل بين المذنّب والشمس؟

١٥) احسب القطر الاستوائي للأرض إذا علمت أنها تدور حول نفسها بسرعة $1674\ km/h$ عند خط الاستواء.

١٦) إذا دار كويكب ما حول الشمس في مدار إهليلجي ذي اختلاف مركزي كبير، وكانت مدة دورانه 90 يوماً. أيُ العبارات التالية صحيحة حول احتمال حدوث تصادم بين هذا الكويكب والأرض؟ ولماذا؟
(أ) لا يوجد خطر محتمل من الاصطدام، (ب) هناك احتمال حدوث تصادم، (ج) لا توجد معلومات كافية لتحديد ما إذا كان هناك خطر حدوث تصادم.

١٧) أي من النقاط أو الأجرام التالية تبدو ثابتة في السماء طوال الوقت؟
(أ) الاعتدال الربيعي، (ب) خلفية النجوم، (ج) الشمس، (د) النجم القطبي.

١٨) ما هو ميل القطب السماوي الجنوبي؟
(أ) $18\ h$، (ب) $0°$، (ج) $-90°$، (د) لا يمكن تحديده لأنه يتغير مع مرور الوقت.

١٩) ما هو خط الطول السماوي للانقلاب الشتوي؟
(أ) $18\ h$، (ب) $0°$، (ج) $-90°$، (د) لا يمكن تحديده لأنه يتغير مع مرور الوقت.

٢٠) ما عدد ساعات المطلع المستقيم التي تتوافق مع ثلث دائرة؟
(أ) $3\ h$، (ب) $6\ h$، (ج) $12\ h$، (د) لا شيء مما سبق.

٢١) ما هو الكسر الذي تمثله ثانية قوسية واحدة في الدائرة الكاملة؟
(أ) 1/60، (ب) 1/3600، (ج) 1/86,400، (د) 1/1,296,000.

٢٢) إذا كنت تعيش في نصف الكرة الشمالي، فإن ارتفاع النجم القطبي فوق الأفق بالدرجات، هو تقريباً نفس ارتفاع
(أ) خط عرض مدينتك ϕ، (ب) $(90° - \phi)$، (ج) ارتفاع الشمس في السماء وقت الظهيرة، (د) لا شيء على وجه الخصوص، إذ يتغير ارتفاعه بتغير الفصول.

٢٣) في أي شهر يحدث الاعتدال الربيعي في نصف الكرة الجنوبي؟
(أ) آذار، (ب) حزيران، (ج) أيلول، (د) كانون أول.

٢٤) إن ميل الشمس، بعد أيام قليلة من الانقلاب الصيفي، وفقاً للأشخاص الذين يعيشون في مدينة سيدني الأسترالية سوف (أ) يتناقص ببطء، (ب) يتناقص بسرعة، (ج) يتزايد ببطء، (د) تتزايد بسرعة.

٢٥) عند خط عرض $55°\ S$، سيكون النجم القطبي تقريباً عند
(أ) $35°$ فوق الأفق، (ب) $35°$ تحت الأفق، (ج) $55°$ فوق الأفق، (د) $55°$ تحت الأفق.

٢٦) إن مواقع الكوكبات النجمية كما تُرى من خطوط العرض المعتدلة أو الاستوائية تزحف تدريجياً باتجاه الغرب في السماء من ليلة إلى أخرى بسبب
(أ) دوران الأرض حول محورها، (ب) دوران الأرض حول الشمس، (ج) تغير ميل محور الأرض، (د) تغير المطالع المستقيمة باستمرار، (هـ) تغير ميولها باستمرار.

٢٧) الخط الوهمي الواصل بين أي كوكب والشمس (أ) يدور حول الشمس بمعدل زاوي ثابت، (ب) يكون دائماً بنفس الطول، (ج) يكون أطول عندما يتحرك الكوكب بشكل أسرع، (د) يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية، (هـ) يزداد طولاً باستمرار.

٢٨) يمتلك مدار المذنّب X محوراً شبه رئيسي أطول بأربع مرات من المحور شبه الرئيسي للمذنّب Y. ما نسبة الفترة المدارية للمذنّب X إلى الفترة المدارية للمذنّب Y؟ (أ) 2، (ب) 4، (ج) 8، (د) 16، (هـ) 32، (و) 64.

مسائل محلولة

(١) في إحدى ليالي الصيف في مدينة بغداد أريد معرفة موقع الهلال في السماء الغربية بعد مغيب الشمس مباشرة، وقد وُجد أن ميله $8°37'17''$ والمطلع المستقيم $14^h10^m4^s$ عندما كان الزمن النجمي المحلي $19^h18^m1.4^s$. جد الارتفاع الزاوي للهلال عن الأفق واتجاهه الأفقي. مع العلم أن خط العرض الجغرافي لمدينة بغداد هو $33.21°$.

الحل:

$$\phi = 33.21°\,,\quad \delta = 8°37'17'' = 8.621°$$

$$\alpha = 14^h10^m4^s = 14.168^h\ ,\quad S_t = 19^h18^m1.4^s = 19.3^h$$

زاوية الساعة:

$$H = S_t - \alpha = 19.3^h - 14.168^h = 5.132^h = 76.98°$$

لإيجاد الارتفاع الزاوي a:

$$\cos z = \sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos H$$

$$= \sin 33.21 \sin 8.621 + \cos 33.21 \cos 8.621 \cos 76.98 = 0.268$$

$$z = 74.43°$$

$$a = 90° - z = 90° - 74.43° = 15.57°$$

لإيجاد الاتجاه الأفقي A:

$$\sin H\cos\delta = \sin A\cos a$$

$$\sin A = \frac{\sin H\cos\delta}{\cos a} = \frac{\sin 76.98\cos 8.621}{\cos 15.57} = 0.9999$$

$$A = 89.63°$$

(٢) احسب زاوية الساعة للشمس واتجاهها الأفقي وقت الغروب عند خط عرض $50°\ N$ إذا كان ميلها $20°\ N$.

الحل:

$$\phi = 50°\,,\quad \delta = 20°$$

عند الغروب يكون الارتفاع الزاوي صفراً، لذا فإن $(z = 90°)$ وفق العلاقة $(z = 90° - a)$.

لإيجاد زاوية الساعة H:

$$\cos z = \sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos H$$

$$\cos H = \frac{\cos z - \sin\phi\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta} = \frac{\cos 90 - \sin 50\sin 20}{\cos 50\cos 20} = -0.4337$$

$$H = 115.706° = 7^h42^m49.44^s$$

لإيجاد الاتجاه الأفقي A:

$$\sin\delta = \sin\phi\cos z - \cos\phi\cos A\sin z$$

$$\cos A = \frac{\sin\phi\cos z - \sin\delta}{\cos\phi\sin z} = \frac{\sin 50\cos 90 - \sin 20}{\cos 50\sin 90} = -0.532$$

$$A = 122.1° = 122°\ 6'$$

(٣) مذنّب يدور حول الشمس، وأبعد نقطة له عنها هي $31.5\ AU$. والأقرب عند $0.5\ AU$. ما هي الفترة المدارية لهذا المذنّب؟

الحل: مسافة الحضيض + مسافة الأوج = المحور الرئيسي للمدار.
لذا فإن المحور شبه الرئيسي سيكون:

$$a = \frac{31.5 + 0.5}{2} = 16\ AU$$

ووفق قانون كبلر الثالث: $T^2 \propto a^3$

$$T^2 = 1\frac{(year)^2}{(AU)^3}a^3 = 1\frac{(year)^2}{(AU)^3}4096\ (AU)^3 = 4096\ (year)^2$$

$$T = 64\ years$$

(٤) بالنسبة للمذنب المذكور في السؤال ٣ أعلاه، ما هي المساحة (بوحدة AU لكل سنة) التي يمسحها الخط الواصل بين المذنب والشمس؟

الحل: تبلغ مدة دورة هذا المذنب 64 عاماً وقيمة محوره شبه الرئيسي $16\ AU$. وبموجب قانون كبلر الثاني، سوف يمسح المذنب مساحات متساوية في أوقات متساوية. لذا فإن المساحة لكل سنة هي،

$$\text{Area per year} = \frac{\text{Area of elliptical orbit}}{T} = \frac{\pi ab}{T}$$

مسافة الحضيض: $\text{perihelion distance} = a - ea = 0.5\ AU$

$$e = 1 - \frac{0.5\ AU}{a}$$

حيث e هو الاختلاف المركزي. ومرّت علينا العلاقة التالية في هندسة القطع الناقص:

$$a^2 = b^2 + d^2 = b^2 + (ea)^2$$

$$b^2 = a^2 - (ea)^2 = a^2(1 - e^2) = a^2\left[1 - \left(1 - \frac{0.5}{a}\right)^2\right]$$

$$= a^2 - (a - 0.5)^2 = 16^2 - 15.5^2 = 256 - 240.25 = 15.75$$

$$b = 3.97\ AU$$

$$\text{Area per year} = \frac{\pi \times 16 \times 3.97}{64} = 3.12\ (AU)^2/year$$

(٥) الفترة الزمنية بين ظهيرة اليوم الأول من تموز وظهيرة اليوم 31 من كانون الأول هي 183 يوماً شمسياً. ما هو مقدار هذه الفترة بالأيام الفلكية؟

الحل: عدد الأيام الشمسية في هذه الفترة هو 183 يوماً، ورياضياً فإن اليوم الفلكي أقصر بمقدار بـ 3^m56^s من اليوم الشمسي. لذا:

$$183\ \text{solar days} = 183^d + 183 \times 3^m56^s = 183^d + 719.8^m$$

$$= 183^d + 11.9967^h = 183^d11^h59^m48^s \approx 183.5\ \text{days}$$

فهرست الفصل الأول

الموضوع	الصفحة
المقدمة	١
١-١: قوانين كبلر	٢
١-٢: قانون نيوتن للجاذبية	٧
١-٣: هندسة الكرة	٧
١-٤: القبة السماوية	١٠
١-٥: نُظُم الإحداثيات على القبة السماوية	١٠
١-٥-١: نظام الأفق	١٠
١-٥-٢: النظام الإستوائي	١٢
١-٥-٣: التحويل بين النظامين الأفقي والاستوائي	١٥
١-٥-٤: النظام البروجي	١٨
١-٥-٥: النظام المجري	١٨
١-٦: الكوكبات النجمية	١٩
١-٧: منطقة البروج ودائرة البروج	٢٠
١-٨: الفصول الفلكية الأربعة	٢١
١-٩: الترنح (دوران محور الأرض)	٢٤
١-١٠: مقياس الكون	٢٦
أسئلة	٢٩
مسائل محلولة	٣١

مصادر الفصل الأول

١- فيزياء الجو والفضاء ج٢، د. حميد مجول وفياض النجم، 1981.

2- 21st century astronomy, Je- Hester et al, 3rd ed, 2010.

3- A Problem book in Astronomy and Astrophysics, Aniket Sule, 2013.

4- An Introduction to Modern Astrophysics, Bradley W. Carrol and Dale A. Ostlie, 2nd ed, -2007

5- Astronomy Demystified, Stan Giblisco, 2003.

6- Astronomy. Andrew Fraknoi, David Morrison and Sidney C. Wolff, 2016.

7- Astrophysics for Physicists, Arnab Rai Choudhuri, 2010.

8- Essential Astrophysics, Kenneth R. Lang, 2013.

9- Fundamental Astronomy, Hannu Karttunen et al, 5th Edition-2007.

10- Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Serway and Jewett, 10th Edition. 2019.

11- University Physics with Modern Physics, Young and Freedman, 15th Edition, 2020.