الباب الرابع

خصائص عامة في المجموعة الشمسية

General Properties of the Solar System

قاس الحسن المراكشي خطوط الطول والعرض لإحدى وأربعين مدينة (توفى سنة 1262 ميلادية).

مقدمة Introduction

تتكون المجموعة الشمسية من 8 كواكب، وعشرات الأقمار تدور كل مجموعة منها حول أحد الكواكب، وأعداد كبيرة من المذنبات والكويكبات، بالإضافة إلى أعداد هائلة من الشهب والنيازك، ومادة ما بين الكواكب. وإذا أردنا أن نعرف توزيع الكتلة داخل المجموعة الشمسية فإننا نجد أن 99.8 % من الكتلة موجودة داخل الشمس كما هو مبين في جدول 4-1. والشمس نجم متوسط أو أقل من المتوسط في عالم النجوم. ومن هذا الجدول يمكن أن نلاحظ أن بقية المجموعة الشمسية بما فيها الكواكب ليست إلا أجساما صغيرة بالنسبة للشمس. كما نلاحظ أن كوكبنا الذي نملأه حركة وحضارة، كأنه حجر صغير يدور حول نجم عادي من بلايين النجوم التي تنتشر في أرجاء الكون. الكواكب الستة الأولى كانت معروفة منذ قديم الزمان، أما كوكبي أورانوس ونبتون فقد تم اكتشافهما بعد بناء التلسكوبات. وقد تم توقع وجود نبتون عن طريق الحسابات لوجود إقلاقات في مدار الكوكب السابق له، أما كوكب أورانوس فقد تم رصده على أنه مذنب، ثم عُرف بعد ذلك أن مداره شبه دائري (اهليليجي) مما يبين أنه كوكب وليس مذنبا كما كان هيرشل يعتقد في البداية وذلك في عام 1781.

جدول 4-1: توزيعات الكتل داخل المجموعة الشمسية

الجرم	الكتلة %
الشمس	99.8
المشتري	0.1
بقية الكواكب	0.04
المذنبات	0.05
الاقمار والحلقات	$5x10^{-5}$
الكويكبات	$2x10^{-6}$
مادة ما بين الكواكب	10^{-7}

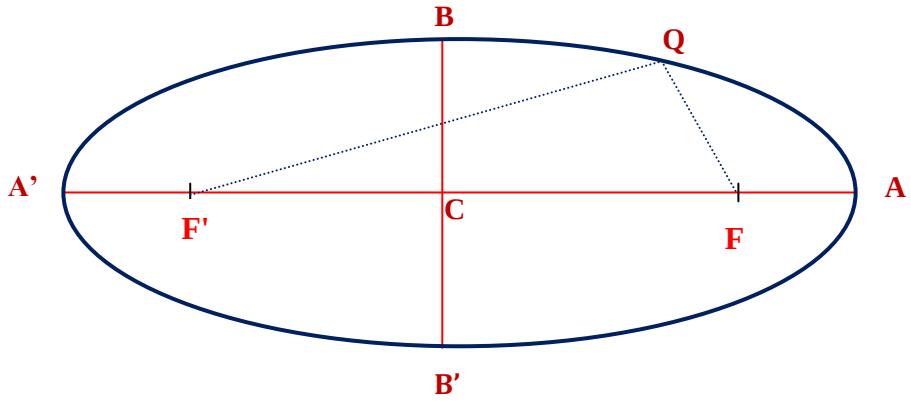
قوانين كبلر Kepler's laws

حاول الإنسان عبر العصور المختلفة أن يفهم كنه الأجرام في السماء وطريقة حركتها، ولقد استطاع علماء العرب والمسلمين وعلى رأسهم ابن الشاطر فهم حركة الكواكب حول الشمس والقمر حول الأرض، ومنذ وقتها وبعد أن تحولت الحضارة إلى الغرب توسع مفهوم الإنسانية عن ضوابط حركة الكواكب، وللأسف الشديد فإن الغرب تناسى دور أعمال علماء العرب والمسلمين ونسبوا نظرية حركة الكواكب حول الشمس لكبلر والذي جاء بعد ابن الشاطر بعدة قرون، وفيما يلي قوانين حركة الكواكب في مداراتها حول الشمس.

القانون الأول: تتحرك الكواكب حول الشمس في مدارات قطع ناقص بحيث تقع الشمس في إحدى بؤرتي المدار.

القطع الناقص (المدار الاهليلجي) من الأشكال الهندسية المعروفة، ولعل أبسط تعريف له بأنه المسار الذي ترسمه نقطة

بحيث يكون بعديها عن نقطتين ثابتتين يساوي كميه ثابتة والمبين في الشكل 4-1. لو فرضنا نقطتين ثابتتين F,F' وفرضنا نقطة Q تتحرك بحيث يكون مجموع بعديها عن F,F' مساويا كمية ثابتة فإن النقطة Q ترسم قطعا ناقصا.



شكل 4-1: قطع ناقص

والنقطتان F,F' تعرفان ببؤرتي القطع الناقص، والكمية الثابتة (QF+QF') تعرف بطول المحور الأكبر وهو المسافة AA' في الرسم، أما المحور الأصغر فهو المسافة BB'. ونصف المحور الأكبر للقطع الناقص نرمز له بالرمز a، والنقطة C التي تنصف المحور الأكبر تسمي مركز القطع الناقص. ويمكن ملاحظة وبسهولة أنه كلما صغرت المسافة FF' كلما اقترب شكل القطع من شكل الدائرة بينما كلما زادت المسافة FF' كلما زادت اهليلجية (تفلطح) الشكل. وعادة يستعمل الرمز e لتعريف درجة تفلطح المدار، وتعرف قيمتها كما يلي:

$$e = \frac{FF'}{2a} \quad \text{or} \quad e = \frac{CF}{a} \qquad (1)$$

$$CF = ae \qquad (2)$$

من علاقة (1) يتضح أن قيمة e للقطع الناقص دائما أقل من الواحد. كما نلاحظ أن الدائرة حالة خاصة من حالات القطع الناقص والتي فيها e=0 حيث تنطبق بؤرتي القطع على مركزه ويكون حينئذ نصف المحور الأكبر للقطع مساويا لنصف قطر الدائرة. ومن الجدير بالذكر أن مدارات الكواكب شبه دائرية؛ أي قيمة e صغيرة جدا قريبة من الصفر. أما بالنسبة لمدارات المذنبات فإن قيم e تقترب من الواحد أي أن مداراتها شديدة التفلطح.

من خلال حركة جرم حول الشمس في مدار قطع ناقص حيث تقع الشمس في إحدى بؤرتي القطع؛ فإن بعد الجرم عن الشمس يتغير من وقت لآخر أثناء دورته حولها. إذا فرضنا أن الشمس تقع في البؤرة F فإن موقع الجرم حينما يكون أقرب ما يمكن من الشمس يسمى بالبعد الحضيضي r_p ، بينما يسمى موقع الجرم حينما يكون أبعد ما يمكن من الشمس بالبعد الأوجي r_a . يمكن من الرسم ملاحظة أن:

$$\begin{aligned} r_p = FA &= CA - CF \\ &= a - ae \\ &= a\,(1 - e) \end{aligned} \qquad (3)$$

وبالمثل:

$$r_a = a\,(1 + e) \qquad (4)$$

قانون كبلر الثاني: الخط الوهمي الواصل بين الكوكب والشمس يرسم مساحات متساوية في الفضاء في أزمنة متساوية.

هذا القانون يشير إلى أن سرعة الكوكب حول الشمس متغيرة. وبشكل دقيق فإن سرعة الكوكب تتناسب عكساً مع بعده عن الشمس. تصل السرعة لأقصى قيمتها عند الحضيض وأدناها عند الأوج. وهذه الصياغة نجدها واضحة عند علماء المسلمين في كلامهم عن حركة الكواكب مما يعني أنها صياغة من كبلر لفكر قدمه علماء قبله.

قانون كبلر الثالث: مربع مده دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب نصف طول المحور الأكبر لمداره.

إذا كانت P تمثل مده دورة الكوكب حول الشمس، a تمثل نصف المحور الأكبر لمدار الكوكب؛ فإن:

$$p^2 \alpha\ a^3$$

$$p^2 = \text{constant}\ a^3 \qquad (5)$$

ملاحظة: قيمة الثابت في أي علاقة رياضية تتوقف على قيم الوحدات التي نقيس بها مختلف المتغيرات الموجودة في هذه العلاقة. وفي العلاقة (5) إذا قسنا P بالسنة النجمية، وقسنا a بالوحدة الفلكية؛ فإن الثابت يساوي 1 ويأخذ قانون كبلر الثالث حينئذ الصيغة التالية:

$$p^2 = a^3 \qquad (6)$$

وهذا القانون يوضح العلاقة بين بعد الكوكب عن الشمس والزمن الذي يأخذه كي يتم دورة كاملة حول الشمس. فكلما زاد بعد الكوكب عن الشمس كلما طال الزمن الذي يأخذه كي يتم دورة كاملة حول الشمس.

مثال 4-1: يدور مذنب حول الشمس في مدار بيضاوي اهليجيته 0.98 وصل إلى أقرب نقطة من الشمس على بعد 50 مليون كم، احسب أقصى بعد عن الشمس يصله، ومدة دورته حولها.

$e = 0.98$

$r_p = a\,(1 - e) = 50 \times 10^6\ \text{km} = 0.33\ \text{a.u}$

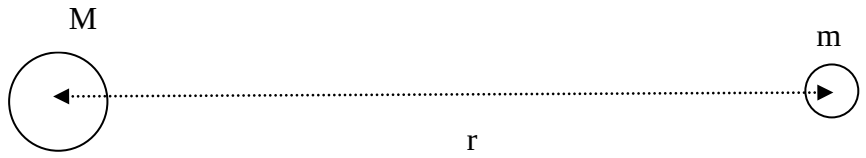
$$a = \frac{r_p}{1-e} = 16.7\ \text{a.u}$$

$r_a = a\,(1+e) = 33\ \text{a.u}$

$$p = a\sqrt{a} = 68.2\ \text{year}$$

قانون الجذب العام لنيوتن Newton's gravitational law

إذا كان لدينا كتلتان ولتكن الأرض والشمس مثلا M ، m المسافة بين مركزيهما يساوي r ، كما في شكل 2-4 فإن هناك قوة جذب من الكتلة M على الكتلة m تتناسب طردياً مع حاصل ضربهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.



شكل 2-4: قوة تجاذب من جسم على جسم آخر

$$F \alpha G \frac{M m}{r^2} \qquad (7)$$

قوة التجاذب تزداد بكبر الكتل المتجاذبة وبصغر المسافة بينهما. ومن ثم يمكن كتابة المعادلة كما يلي:

$$F = G \frac{M m}{r^2} \qquad (8)$$

حيث G ثابت الجذب العام ويساوي 6.67×10^{-11} $m^3/kg.sec^2$

وينبغي ملاحظة أنه يوجد فارق بين الكتلة والوزن، فالكتلة تعبر عن محتوى الجسم من مادة، أما الوزن فيعبر عن قوة الجذب الواقعة على الجسم. أي أن الوزن في حقيقته يعبر عن قوة جذب الأرض مثلا لأي منا. وبالطبع ستتغير أوزاننا لو أننا على كواكب أخرى حسب قوة الجاذبية عليها. وحيث أننا جميعا نقع تحت جاذبية الأرض، لذا فإن وزن جسم كتلته m_1 على سطح الأرض يساوي قوة جذب الأرض لهذا الجسم كما يلي:

$$W = m_1 g \qquad (9)$$

حيث g عجلة الجاذبية للكوكب وتساوي:

$$g = G \frac{m}{R^2} \qquad (10)$$

حيث m كتلة الكوكب ، R نصف قطره.

ومن قانون الجذب العام يتضح لنا أنه كلما زادت كتلة الجسمين أو أحدهما زادت قوة الجاذبية ومن ثم يزداد الوزن بشكل عام. فالذي يقف على القمر يشعر أنه أخف من وزنه على الأرض، أما إذا وقف على كوكب المشتري مثلا، فيشعر أنه أثقل من وزنه على الأرض وهكذا. وقوة الجاذبية تقل كلما كان الجسم بعيداً عنا، فقوة الجاذبية التي يؤثر بها القمر علينا أقل بكثير من قوة جاذبية الأرض التي نشعر بها.

إذا أخذنا وحدة الكتلة ونصف القطر بدلالة كتلة الأرض ونصف قطرها على الترتيب، فإنه يمكن كتابة g لأي كوكب آخر بالصيغة التالية:

$$g = \frac{m}{R^2} g_e \qquad (11)$$

حيث g_e عجلة الجاذبية الأرضية وتساوي $9.8\ m/sec^2$ أي أن هذه العلاقة تعطي جاذبية الكوكب بدلالة جاذبية الأرض. وبالمثل يمكن إيجاد الكثافة حيث أنها تساوي الكتلة على الحجم أي:

$$\rho = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3} \qquad (12)$$

ويمكن كتابتها بدلالة كثافة الأرض كالآتي:

$$\rho = \frac{m}{R^3}\ \rho_e \qquad (13)$$

وهنا أيضاً تقاس الكتلة ونصف القطر بالنسبة لكتلة ونصف قطر الأرض.

مثال 4-2: نجم كتلته تساوي كتلة الشمس، ونصف قطره يساوي نصف قطر الأرض، احسب جاذبيته مقارنة بالأرض. ولو افترضنا أن رائد فضاء وزنه 100 وزن كجم، هبط على هذا النجم فكم يبلغ وزنه عليه؟

$$m = 1\ m_{sun} = 2x10^{30}\ kg$$

$$= \frac{2x10^{30}}{6x10^{24}} = 333333\ m_{earth}$$

$$R = 1\ R_{earth}$$

$$g = \frac{m}{R^2} = 333333\ g_{earth}$$

أي أن جاذبية النجم ستزيد ثلث مليون عن جاذبية الأرض. وزن رائد الفضاء على هذا النجم ستتغير طبقا لتغير جاذبية النجم، أما الكتلة فلا تتغير.

$$\frac{W}{W_{earth}} = \frac{g}{g_e} = 333333$$

$$W = 333333\ W_{earth}$$

إذا سيبلغ وزنه على هذا النجم حوالى ثلث مليون مرة وزنه على الأرض، أو بمعنى آخر سيكون وزنه حوالى 33 مليون وزن كجم.

قانون كبلر المعدل Modified Kepler's law

من قانون الجذب العام لنيوتن في حالة حركة جرم حول الشمس يمكن إثبات أن:

$$p^2 \alpha \frac{a^3}{M+m}$$

$$p^2 = \frac{4\pi^2}{G}\frac{a^3}{M+m} \qquad (14)$$

حيث G ثابت الجاذبية ويساوي $6.67 \times 10^{11}\ N\ m^2/kg^2$

وهذا هو قانون كبلر بصيغته العامة وهو صالح لأي جرم يدور حول جرم آخر.

إذا أخذنا السنة النجمية وحدة لقياس الزمن، والوحدة الفلكية لقياس المسافة، وكتلة الشمس لقياس الكتلة؛ فإن العلاقة (14) تصبح على الصورة:

$$p^2 = \frac{a^3}{M+m} \qquad (15)$$

إذا طبقنا هذا القانون لكوكب يدور حول الشمس، فستهمل الكتلة m للكوكب لصغرها بالنسبة لكتلة الشمس M وستصبح العلاقة (15) على الصورة:

$$p^2 = a^3 \qquad (16)$$

وهذا هو قانون كبلر بصورته الأولى والتي تمثل حالة خاصة من قانون كبلر المعدل، وهو خاص فقط للأجرام التي تدور حول الأرض.

ومن الممكن إيجاد كتلة كوكب له تابع إذا عُلِم نصف المحور الأكبر ومدة الدوران للكوكب وتابعه كالآتي:

للكوكب:

$$(a_1)^3 = (P_1)^2 (M+m)$$

للتابع:

$$(a_2)^3 = (P_2)^2 (m+m_1)$$

$$\left(\frac{P1}{P2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 \frac{m + m_1}{M+m}$$

كتلة الكوكب m تهمل لصغرها بالنسبة لكتلة الشمس M، وكذلك تهمل كتلة التابع m_1 لصغرها بالنسبة لكتلة الكوكب، أي أن:

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 \frac{m}{M}$$

وبالتالي ستكون كتلة الكوكب:

$$m = M\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2 \qquad (17)$$

السرعة المدارية لجرم سماوي Orbital velocity of a celestial object

من قانون الجذب العام لنيوتن يمكن إثبات إذا اعتبرنا –على سبيل المثال– حركة جرم كتلته m حول جرم كتلته M أن سرعة الجرم v في حالة إذا كان المدار قطع ناقص تحقق المعادلة الآتية:

$$V^2 = G\ (M+m)\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right) \qquad (18)$$

في حالة دوران جرم حول الشمس، وكذلك في حالة دوران تابع حول كوكب أو مركبة فضاء حول قمر فتهمل كتلة الجرم الدوار لصغرها بالنسبة للكتلة الأخرى. وعليه تصبح معادلة السرعة في حالة إذا كان المدار قطع ناقص على النحو التالي:

$$V^2 = G\,M\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right) \qquad (19)$$

إذا قسنا r ، a بالوحدات الفلكية، والكتلة M بدلالة كتلة الشمس فإن السرعة V ستكون بوحدات كم/ث:

$$V = 30\sqrt{M}\sqrt{\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)} \qquad (20)$$

وفي حالة حركة كوكب حول الشمس فإن الكتلة M ستمثل كتلة الشمس وهي تساوي واحد لأنها تقاس بالنسبة لكتلتها نفسها. وتأخذ المعادلة السابقة الشكل التالي:

$$V = 30\sqrt{\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)} \qquad (21)$$

مثال 4-3: في المثال 4-1 كم تبلغ أدنى وأقصى سرعة للمذنب؟

أدنى سرعة في الأوج وأعلاها في الحضيض، إذا:

$$V_{min} = 30\sqrt{\left(\frac{2}{r_a} - \frac{1}{a}\right)} = 0.81 \text{ km/sec}$$

$$V_{max} = 30\sqrt{\left(\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a}\right)} = 73.5 \text{ km/sec}$$

مفاهيم فيزيائية لديناميكية الكواكب وتطبيقاتها Physical concepts for planets dynamic

لكل كوكب مدار محدد وثابت الخواص يتحرك فيه، وتتحرك الكواكب حول الشمس في اتجاه واحد وفي مستوى متقارب تقريباً. وقد ساعدت هذه الحقائق وغيرها الإنسان في معرفة بعض مفاتيح نشأة المجموعة الشمسية، فقد اتضح فيما بعد أن جميع الكواكب والكويكبات ومادة ما بين الكواكب تتحرك جميعها تقريباً حول الشمس في اتجاه واحد وفي نفس المستوى تقريباً (عدا بعض الاستثناءات) مما يؤكد نشأتها من سحابة واحدة كانت تدور حول نفسها، ولما تكونت المجموعة الشمسية ظلت الكواكب وغيرها تدور حول الشمس في نفس اتجاه حركة المادة الأصلية نفسها. وكذلك الشمس تدور حول نفسها في اتجاه الحركة الأصلية لمادة المجموعة الشمسية. وقانون الحركة الثانى لكبلر يمكن تفسيره بشكل أعمق وفهم حديث حيث أنه من المعلوم أن كمية الحركة الزاوية angular momentum لأي جسم تظل ثابتة ما لم تغيرها قوة خارجية، وهذا ما يجعل أي كوكب أسرع ما يمكن إذا كان في أقرب نقطة في مداره حول الشمس (الحضيض)، ويكون أبطأ ما يمكن في حركته إذا كان عند أبعد نقطة في مداره (الأوج)، وهذا يعني أن

الذي يحكم سرعة أي كوكب في مداره هو أن كمية حركته الزاوية المدارية ثابتة. أما القانون الثالث لكبلر فيمكن فهمه من خلال ثبات كمية الطاقة التي يمتلكها الكوكب في مداره، فلو تصورنا أننا يمكننا أن ننقل أي كوكب من مداره إلى مدار آخر فلابد وأن تتغير قيم طاقتي الوضع والحركة له.

وبعد أن فهم الإنسان القوانين التي تحكم حركة الكواكب تساءل: هل يمكن أن نرسل مركبة تتحرك في الفضاء حول الأرض كما يسبح القمر حول الأرض والكواكب حول الشمس؟ وبالطبع هذا سؤال مثير كلفت إجابته الإنسانية الجهد والمال الكثير ولكنها تعلمت منه في الوقت ذاته الكثير أيضاً ،حيث تدور الآن الأقمار الصناعية حول الأرض وتطورت من خلالها حياتنا تقنيا بشكل كبير، كما هبط الإنسان على سطح القمر، وأرسلت مركبات فضائية عديدة إلى الكواكب القريبة والبعيدة والتي أرسلت لنا كما هائلا من الصور النادرة عن الشمس والكواكب وأقمارها وحلقاتها وجعلتنا على أعتاب عهد جديد من الحضارة. كما أن هناك تجارب مثيرة قد نفذها العلماء من خلال رحلات الفضاء في مجال دراسات الجاذبية الضعيفة microgravity نذكر منها على سبيل المثال الحركة داخل وخارج مركبات الفضاء، فنرى رجال الفضاء وهم يسبحون داخل مركبات الفضاء ويتحركون كما لو كانوا ريشا يطير في الهواء، وكذلك طعامهم يتحرك وكأن لا وزن له وهي ما نعرفه بحالة ضعف الجاذبية، وتشتهر هذه الظاهرة عند الناس بظاهرة انعدام الجاذبية وهذا خطأ فالجاذبية لا تنعدم ولكنها تقل.

مدارات الأقمار الصناعية ومركبات الفضاء Orbits of satellites and space ships

إذا قذف أحدنا حجراً فإنه يعود إلى الأرض بفعل قوة الجاذبية، وكلما زادت السرعة الابتدائية التي نقذف بها الحجر زادت المسافة التي يقطعها قبل أن يسقط على الأرض، وتوجد سرعة معينة إذا اكتسبها الجسم فإنه يدور حول الأرض في مدار دائري، وهذا ما يحدث للأقمار الصناعية، حيث يتم إطلاقها بسرعة عالية على ارتفاع عدة مئات من الأميال ثم توجه بعد ذلك بحيث تدور حول الأرض على ارتفاع محدد حسب الغرض من إطلاق القمر الصناعي، ويتم حساب ذلك عن طريق تفاصيل أعمق لقوانين الحركة السابق ذكرها. ومقدار السرعة التي يطلق بها الصاروخ كي يتحرك القمر الصناعي في مدار ما حول الأرض هي التي تحدد شكل مدار القمر الصناعي حول الأرض، فإذا زادت سرعة إطلاق الصاروخ عن السرعة اللازمة للحركة في مدار دائري حول الأرض تتحرك المركبة في مدار اهليليجي بدلاً من المدار الدائري. وقد استخدمت هذه الفكرة كي يتم إطلاق مركبات الفضاء من الأرض لتصل إلى الكواكب الأخرى من خلال مدارات اهليليجية لتقليل مقدار الطاقة اللازمة للرحلة، فلكي يتم إرسال مركبة فضائية إلى المريخ مثلاً، نطلق المركبة بطاقة تجعلها تتحرك في مدار اهليليجي بحيث تكون الأرض في أقرب نقطة مدارية ويكون المريخ في أبعد نقطة مدارية، وبالتالي تنطلق المركبة من الأرض في المدار المحسوب لها لتلتقي مع المريخ عند أبعد نقطة لها في مدارها. وإذا أردنا إرسال المركبة من الأرض إلى الزهرة. نطلق المركبة في مدار اهليجي أيضاً، ولكن في هذه المرة تكون الأرض في أبعد نقطة مدارية وتكون الزهرة في أقرب نقطة مدارية، وهكذا بالنسبة للسفر لأي كوكب آخر. وبذلك يتضح أن مركبات الفضاء يمكن أن تتحرك حول الشمس بالقوانين نفسها التي تحكم حركة الكواكب. وهكذا بعد أن فهم الإنسان القوانين التي تنظم حركة الكواكب أخذ يبحث عن الوسيلة لتقليد هذه الحركة وقد نجح في ذلك.

خصائص عامة للمجموعة الشمسية General properties of the solar system

قبل أن نبدأ بدراسة الكواكب بالتفصيل فإنه يمكننا أن نبين بعض التفاصيل والخواص العامة والتي يمكن أن تساعدنا على فهم نشأة المجموعة الشمسية، وفيما يلي أهم هذه الخواص:

١) الدوران: تدور أغلب الكواكب حول الشمس وكذلك حول نفسها في اتجاه واحد عكس اتجاه عقارب الساعة prograde motion وتسمى هذه الحركة بالحركة التقدمية، أما كوكب الزهرة وكذلك بعض الأقمار التي لها حركة في اتجاه عقارب الساعة فتعرف بأنها ذات حركة تراجعية retrograde motion.

٢) مدارات أغلب الكواكب قريبة من الشكل الدائري عدا كوكب عطارد، ورغم ذلك فإن مدار هذا الكوكب أقل فلطحة من مدارات المذنبات، وكذلك فإن مدار عطارد يميل بدرجة كبيرة نسبيا على مدار الأرض حول الشمس (دائرة البروج)، أما بقية الكواكب فمداراتها تميل بدرجات صغيرة على دائرة البروج.

٣) يميل مستوى لف الكواكب حول نفسها على مستوى دورانها حو الشمس بزاوية أقل من 30 درجة فيما عدا كوكب أورانوس (زاوية ميل المستويين لهما تزيد عن 90 درجة).

٤) تدور بقية أعضاء المجموعة الشمسية من مذنبات وشهب وكويكبات ومادة ما بين الكواكب غالباً حول الشمس في نفس اتجاه حركة الكواكب، مما يدل على أنها نشأت جميعاً وتحركت بطريقة واحدة وتحت الظروف نفسها.

٥) جميع الكواكب لها أغلفة جوية عدا كوكب عطارد، كما أن بعض أقمار المجموعة الشمسية لها أغلفة جوية.

٦) نتيجة تأثير الجاذبية القوية للكواكب على أقمارها فإن أغلب الأقمار تدور حول كواكبها بوجه ثابت مثل القمر التابع للأرض.

٧) تقل درجة حرارة الكوكب كلما بعد عن الشمس. ويخالف الزهرة هذه القاعدة حيث أنه أسخن الكواكب رغم أن عطارد أقرب للشمس منه.

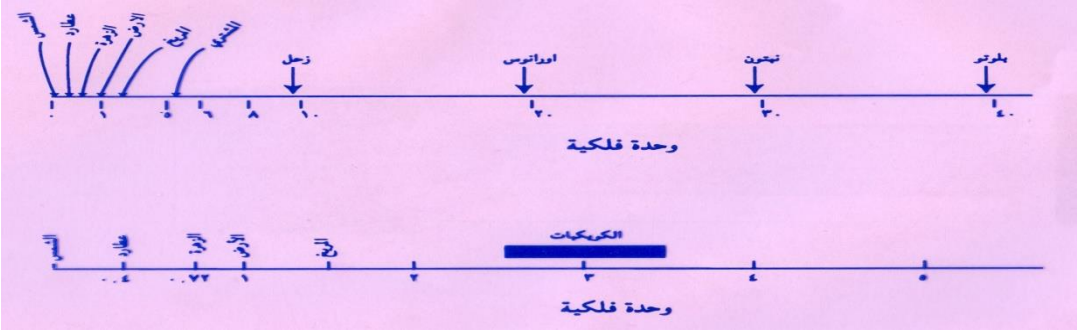
٨) سرعة الهروب Escape velocity وهي السرعة التي يجب أن يكتسبها جرم للتخلص من قبضة جاذبية جرم آخر. وتلعب دوراً كبيراً في هروب –مثلاً– الذرات والجزيئات من أجواء الكواكب أو الأقمار، وأيضاً في إطلاق المركبات الفضائية والأقمار الصناعية. وتعطى بالعلاقة التالية:

$$V_{es} = 11.2\sqrt{\frac{m}{R}} \qquad \text{km/sec} \qquad (22)$$

حيث m, R نصف القطر والكتلة وهما يقاسان لأي كوكب بالنسبة لنصف قطر الأرض وكتلتها.

يمكن وضع الكواكب تحت قسمين ويضم أول القسمين الكواكب شبيهة الأرض (الكواكب الأرضية) وهي: عطارد والزهرة والأرض والمريخ ويضم القسم الثاني الكواكب شبيهة المشتري (الكواكب المشتراوية) وهي الكواكب العملاقة: المشتري وزحل وأورانوس ونبتون. الكواكب الأرضية متطورة، أما الكواكب المشتراوية فبدائية. وهذا يعني أن الكواكب العملاقة تركيبتها كما هي منذ نشأتها حيث يلعب الهيدروجين ومركبات غنية بالهيدروجين الدور الأكبر في تركيبها كما هو مبين في جدول 4-2. أما الكواكب الأرضية فبسبب قربها من الشمس يتطاير أغلب ما بها من هيدروجين وهيليوم وتكون لها أغلفة جوية جديدة غنية بعناصر أثقل مثل الأكسجين والنيتروجين ومركبات كربونية مثل ثاني أكسيد الكربون. وتفسر نظرية نشأة المجموعة الشمسية هذه الظاهرة حيث نشأت الشمس والكواكب داخل سحابة كبيرة ومن نفس المادة الغنية بالهيدروجين، ثم نسبة أقل من الهيليوم ونسبة صغيرة من العناصر الأثقل. ومع الوقت تطاير الهيدروجين والهيليوم من الكواكب الأرضية والقريبة من الشمس وحدث لها تطورا، أما الكواكب المشتراوية فظلت على ما نشأت عليه. كما نلاحظ أن العنصر الرئيس في تركيب الشمس والنجوم والمادة الكونية بشكل عام هو

الهيدروجين أيضا مما يدعم تلك النظرية. ونظرية نشأة وتكوين النجوم تدعم ذلك تماما، حيث تتكون النجوم داخل سحبا جبارة، العنصر الرئيس في تكوينها هو الهيدروجين، ثم يصبح الهيدروجين كذلك العنصر الرئيس في النجوم الناشئة داخل تلك السحب المعروفة بسحب بين النجوم.



شكل 4-3: الأبعاد النسبية للكواكب

يبين الشكل 4-3 الأبعاد النسبية للكواكب، عطارد والزهرة والأرض والمريخ تعتبر متقاربة من بعضها وقريبة من الشمس إذا ما قورنت بالكواكب المشتراوية والتي تبدو متباعدة عن بعضها بشكل واضح، فالمسافة بين كل كوكبين من الكواكب الثلاثة الأخيرة تزيد عن 10 وحدات فلكية، مما يعني أن المسافات بينها شاسعة. أما من حيث الجاذبية، فإن أعلاها هو المشتري كما هو واضح في جدول 4-4 حيث إنه أكبر الكواكب، وأقلها جاذبية كوكب عطارد، أما أقربها شبهاً بالأرض من حيث الجاذبية فهو كوكب الزهرة وذلك لأن كتلته قريبة من كتلة الأرض. والكواكب الأرضية تتميز بشكل عام بحرارة عالية إذا ما قورنت بالكواكب المشتراوية والتي تمثل عالم عجيب من الثلج كما يتضح من جدول 4-4. أقرب الكواكب من حيث الظروف الحرارية للأرض هو المريخ بل نجد عليه تغيراً في فصول السنة مما جعل العلماء يتصورون وجود حياة عليه.

جدول 4-2: المجال المغناطيسي وتركيب الغلاف الجوي للكواكب

الكوكب	المجال المغناطيسي (جاوس)	التركيب الكيميائي للغلاف الجوي
عطارد	0.003 (1% مجال أرضي)	H, He
الزهرة	لا يوجد	CO_2, N_2
الأرض	0.3	N_2 , O_2 , (H_2O)
المريخ	ضعيف	CO_2 ،(H_2O ثلج وبخار)
المشترى	4	H_2 , He, NH_3, CH_4
زحل	0.2	H_2 , He, CH_4 (NH_3 قليل)
أورانوس	0.3	H_2, He, CH_4, NH_3
نبتون	0.2	H_2, He, CH_4 , NH_3

يبين جدول 4-3 الحركات الدورانية للكواكب حول نفسها وحول الشمس. سنعرف طول اليوم لأي كوكب بأنه مدة لفه أي دورانه حول نفسه وسنعرف طول السنة بأنها مدة دوران الكوكب حول الشمس. سيقاس طول اليوم وطول السنة لأي كوكب بدلالة وحدات الزمن الأرضية، فمثلاً يوم عطار يساوي 59 يوما أرضيا، وسنته تساوي 88 يوما أرضيا، أما كوكب المريخ فطول يومه يقدر بـ 24 ساعة و 37 دقيقة وطول سنته يساوي 1.9 سنة أرضية، وهكذا بالنسبة لجميع الكواكب. وبالنظر في جدول 4-3 فسنجد ملاحظات عجيبة الشأن، فهذا كوكب المشتري أكبر

الكواكب، ورغم ذلك فهو أسرعهم في اللف حيث يبلغ يومه أقل من 10 ساعات، ولا نستطيع أن نفهم سر حركة لفه السريعة، ولكن نلاحظ بشكل عام أن الكواكب المشتراوية تلف حول نفسها بسرعة أكبر من الكواكب الأرضية. أما كوكب الزهرة فإنه يلف ببطء شديد مما يجعل يومه أطول من سنته، وكذلك الأمر في عطارد حيث طول يومه ثلثي سنته.

وإذا أردنا أن نتعرف على أبعاد الكواكب، فكما هو موضح في كل من جدول 4-3 وشكل 4-3 فإن المسافات بين الكواكب الأرضية تعتبر صغيرة إذا ما قورنت بمسافات الكواكب المشتراوية. ومن عجيب الأمر أن كوكب أورانوس موجود عند منتصف المسافة بين الشمس و بلوتو، مما يعني أن سبعة من الكواكب انتهاء بأورانوس موجودة في النصف الداخلي للمجموعة الشمسية بينما يمرح نبتون والأجسام ما بعد نبتون وحدهما في النصف الآخر.

جدول 4-3: اليوم والسنة والبعد عن الشمس للكواكب

الكواكب	اللف(اليوم)	الدوران(السنة)	بعده عن الشمس (وحدة فلكية)
عطارد	59 يوم	88 يوم	0.39
الزهرة	243 يوم	225 يوم	0.72
الأرض	24 ساعة	365 يوم	1.0
المريخ	24 ساعة 37 ق	1.9 سنة	1.5
المشترى	9 ساعات 50 ق	11.9 سنة	5.2
زحل	10 ساعات 10 ق	29.5 سنة	9.5
أورانوس	16 ساعة 10 ق	84 سنة	19.2
نبتون	18 ساعة 12 ق	164.8 سنة	30

ويبين جدول 4-4 مقدار المجال المغناطيسي في الكواكب المختلفة، وأعلى الكواكب من حيث شدة المجال المغناطيسي هو كوكب المشتري وذلك لسرعته الشديدة في الدوران، لكن الوضع يختلف في كوكب زحل رغم دورانه السريع. كما أننا نلاحظ أن المريخ والزهرة لا يوجد عليهما مجال مغناطيسي ملموس. أما عن الغلاف الجوي، فإن كوكب عطارد لقربه من الشمس فلا يوجد عليه غلاف جوي سوى بعض الغازات الخفيفة جداً والمكونة من الهيدروجين والهيليوم، ويحتوي غلافا المريخ والزهرة على نسبة عالية من ثاني أكسيد الكربون. أما الكواكب المشتراوية فإن غلافها الجوي يتكون من الهيدروجين وبعض الغازات الخفيفة والموجودة بكثرة في المادة الكونية.

جدول 4-4: الجاذبية ودرجة الحرارة للكواكب المختلفة

الكوكب	الجاذبية على سطح الكوكب	درجة الحرارة (كلفن)
عطارد	0.38	700 (100 على السطح الآخر)
الزهرة	0.91	720
الأرض	1.0	280
المريخ	0.38	230
المشتري	2.64	125
زحل	1.07	90
أورانوس	0.92	65
نبتون	1.18	50

ملخص Summary

١) تتحرك الكواكب حول الشمس في مدارات إهليجية بحيث تكون الشمس في إحدى بؤرتي المدار.

٢) يتحرك الكوكب بأعلى سرعة له في مداره عندما يكون في أقرب نقطة من الشمس، ويتحرك بأقل سرعة له إذا وصل لأبعد نقطة في مداره عن الشمس وذلك تبعاً لثبات كمية التحرك الزاوي للكوكب في مداره.

٣) توجد علاقة بين مربع سنة أي كوكب ومكعب متوسط بعده عن الشمس وهذه العلاقة يمكن تفسيرها بقانون بقاء الطاقة.

٤) للمدار الإهليجي عدة خواص يمكن من خلالها معرفة حركة الكوكب في مداره.

٥) تتحرك مركبات الفضاء في مدارات إهليجية مثل الكواكب وذلك لتقليل الطاقة المبذولة في تحريكها من الأرض إلى أي كوكب آخر. كما تتحرك الأقمار الصناعية حول الأرض مثل القمر.

٦) توجد مجموعة من الصفات العامة التي تميز المجموعة الشمسية والتي تساعدنا على فهم نشأتها.

٧) جميع الكواكب لها أغلفة جوية عدا عطارد لصغر كتلته وقربه من الشمس.

٨) الوحدات الزمنية التي نستعملها كاليوم والشهر والسنة مرتبطة بنشأتنا على كوكب الأرض.

أسئلة Questions

القسم الأول: أسئلة وصفية

١) أي الكواكب يتحرك بشكل تراجعي؟

٢) هل جميع الكواكب لها أغلفة جوية؟ وضح ذلك، مع مقارنة تركيب الأغلفة الجوية للكواكب الأرضية والمشتراوية.

٣) وحدات الزمن تتغير لو كنا نعيش على كوكب الزهرة، بين ذلك.

٤) عرف كلا من الوحدة الفلكية والسنة الضوئية.

القسم الثانى: علل

١) الكواكب شبيهة الأرض تختلف عن شبيهة المشتري.

٢) الزهرة أسخن من عطارد

٣) وجود أغلفة جوية حول الكواكب، عدا عطارد.

٤) العنصر الرئيسي في تكوين المشتري هو الهيدروجين.

٥) تقارب مدارات الكواكب حول الشمس من حيث المستوى دليل على نشأتها من نفس السحابة.

٦) التغيرات الفصلية لأي كوكب مرتبط إلى حد كبير بالزاوية بين محوريه.

٧) الكواكب تدور حول الشمس.

القسم الثالث: مسائل

١) تدور الشمس حول نواة المجرة في مدة 225 مليون سنة نجمية، وعلى بعد 30 ألف سنة ضوئية، فأوجد كتلة نواة المجرة.

٢) تدور مركبة فضاء حول المشتري في مدار دائري وعلى بعد من مركزه يساوي 100 مرة نصف قطره، أوجد سرعة المركبة بوحدات كم/ث، ومدة دورتها حول المشتري.

٣) يدور قمر صناعي حول الأرض في مدار قطع ناقص، أوجد سرعة القمر الصناعي حينما يكون على بعد من سطح الأرض يساوي 9 أضعاف نصف قطر الأرض.

٤) إذا أردنا إطلاق قمر صناعي يدور حول الأرض في مدار دائري بحيث تكون مدة دورتها تساوي 24 ساعة. أوجد بعد المركبة عن مركز الأرض بالكيلومتر.