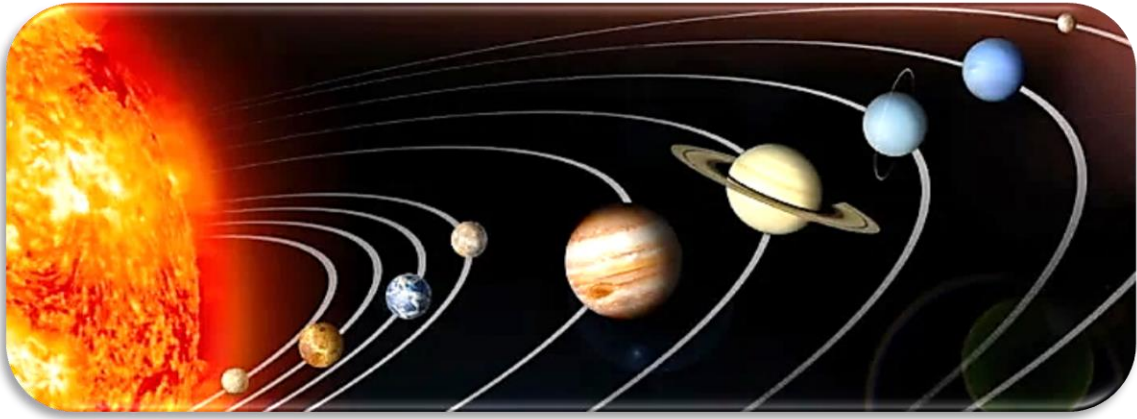


# الفصل الثالث

## كواكب المنظومة الشمسية

### *Planets of the Solar System*



يتكون النظام الشمسي من الشمس والكواكب الثمانية والكواكب القزمة والأقمار والكويكبات والمذنبات والشهب والغازات والأتربة الكونية التي تتخلل فضاء ما بين أجرام المنظومة الشمسية. وقد كشفت عقود من المراقبة واستكشاف المركبات الفضائية أن معظم هذه الأجسام تشكلت مع الشمس منذ ما يقارب 4.5 مليار سنة. ويمكن تقسيم نظامنا الشمسي إلى ثلاث مناطق: (١) النظام الشمسي الداخلي، (٢) النظام الشمسي الخارجي، (٣) حزام كايبر وسحابة أورت.

### 3-1: Definition of planet

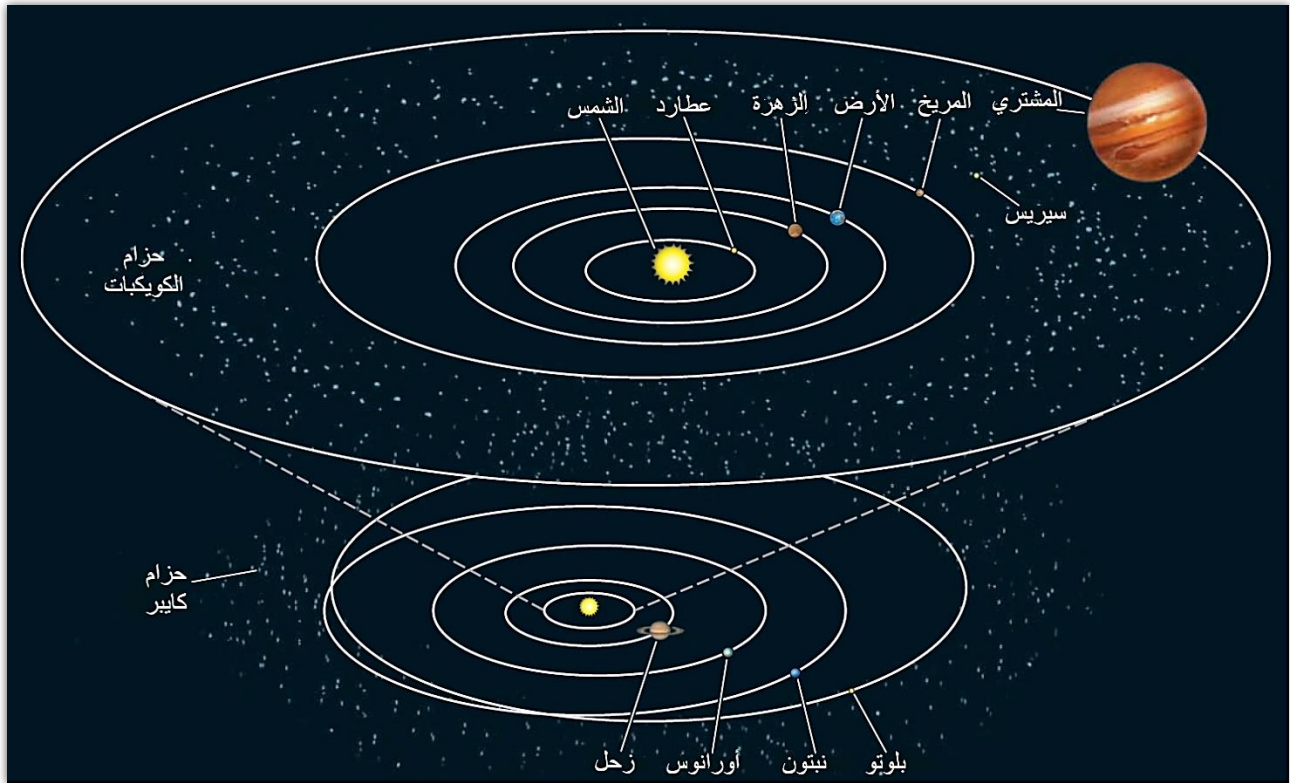
### ٣-١: تعريف الكوكب

التعريف الأولي للكوكب هو أنه جسم فلكي كبير مستدير، ليس نجماً ولا بقايا نجم. ولكن هذا التعريف واجه بعض التعقيدات في نظامنا الشمسي بعد اكتشاف بعض الأجرام الكبيرة التي تدور حول الشمس واختلاف علماء الفلك في عدّها من الكواكب، لأنه لم يكن هنالك تعريف رسمي لما ينبغي أن يُعدّ كوكباً حتى اجتماع الاتحاد الفلكي الدولي (International Astronomical Union (IAU في شهر آب من سنة 2006 الذي وضع تعريفاً لكواكب نظامنا الشمسي يتضمن أن الكوكب هو جرم سماوي يمتلك المواصفات التالية:

(١) يتحرك في مدار حول الشمس،

(٢) لديه كتلة كافية ليكون ذا شكل كروي تقريباً بسبب التوازن الهيدروستاتيكي hydrostatic equilibrium بين جاذبيته الذاتية وقوة ضغطه الداخلي،

(٣) أخلى الجوار حول مداره cleared the neighbourhood around its orbit، أي أصبح ذا جاذبية مهيمنة بحيث لا يوجد جسم آخر في مداره حول الشمس ذو حجم مقارب لحجمه. وهذا يستلزم ألا يتقاطع مع مدار كوكب آخر.



الشكل ١-٣: مخطط لنظامنا الشمسي. وهناك ثلاثة كواكب أقزام أخرى إلى جانب بلوتو وسيريس غير معروضة هنا. ويُلاحظ تقاطع مدار بلوتو مع مدار نبتون.

وتم إضافة صنف جديد ضمن مكونات المجموعة الشمسية هو صنف "الكواكب القزمة dwarf planets"، والذي يتوفر فيه الشرطان الأولان أعلاه، لكنه يفقد الشرط الثالث، فالكواكب القزمة لم يُزل الأجسام الأخرى ذات الحجم الأكبر أو المقارب من مداره حول الشمس. كما إنه ليس تابعاً لكوكب آخر. وعلى هذا الأساس تقرر تجريد بلوتو الذي اكتُشف عام 1930 من رتبة كوكب واعتباره كوكباً قزماً لأن مداره يتقاطع مع مدار الكوكب الثامن نبتون، وله جوار مداري مع العديد من أجرام حزام كايبر. لذا أضحي عدد الكواكب في

مجموعتنا الشمسية ثمانية فقط، وهي بالتسلسل حسب قربها من الشمس: عطارد Mercury، والزهرة Venus، والأرض Earth، والمريخ Mars، والمشتري Jupiter، وزحل Saturn، وأورانوس Uranus، ونبوتون Neptune. (لاحظ الشكل ٣-١).

والكواكب القزمة عددها خمسة لحد الآن وفق تصنيف الاتحاد الفلكي الدولي، وهي حسب قربها من الشمس: سيريس Ceres (الذي يبعد عن الشمس بمعدل مسافة قدره  $2.8 AU$ ) وبلوتو Pluto ( $39.5 AU$ )، وهاميا Haumea ( $43.1 AU$ )، وميكيمك Makemake ( $45.7 AU$ )، وإريس Eris ( $67.7 AU$ ). ويقول الاتحاد الفلكي الدولي إنه قد يكون هناك العديد من الكواكب القزمة - ربما أكثر من مائة - في انتظار اكتشافها. ولو توفر الشرط الأول فقط من الشروط أعلاه كان الجرم كويكباً أو مذنباً.

### ٣-٢: نبذة مختصرة عن الكواكب 3-2: A Brief Overview of the Planets

تعتبر الكواكب الموجودة في نظامنا الشمسي من الأجرام الملائمة نسبياً للدراسة بسبب قربها منا لدرجة أن البشر تمكنوا من إرسال مجسات غير مأهولة إلى معظمها للحصول على صور وكميات كبيرة من البيانات، ويوجد الآن قدر هائل من المعلومات عنها. وتتمتع الكواكب بخصائص متنوعة، بعضها يسهل الحصول عليه إلى حد ما، ويصعب في البعض الآخر. ويمكن قياس بعض الخصائص من الأرض، بينما يتطلب البعض الآخر رؤية قريبة من الكوكب. وبعض الخصائص التي نعتقد أننا نعرفها قد يتبين لاحقاً أن لها قيماً مختلفة. وهذا يعني أنه في معظم قوائم خصائص الكواكب ستكون هناك بعض الأرقام معروفة بدقة وبعضها غير معروف جيداً.

لا تشكل كتل الكواكب مجتمعة إلا جزءاً صغيراً جداً من كتلة المنظومة الشمسية

الجدول ٣-١: نسب كتل مكونات المنظومة الشمسية.

| الجرم                        | النسبة مقارنة بالكتلة الكلية للمنظومة الشمسية                |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| الشمس                        | 99.8%                                                        |
| المشتري                      | 0.001                                                        |
| بقية الكواكب والكواكب القزمة | 0.0004                                                       |
| المذنبات                     | $(3 \times 10^{-4}) \rightarrow (5 \times 10^{-6})$ (تقديري) |
| الأقمار والحلقات             | $5 \times 10^{-7}$                                           |
| الكويكبات                    | $2 \times 10^{-8}$ (تقديري)                                  |
| الغبار الكوني                | $1 \times 10^{-9}$ (تقديري)                                  |

كما في الجدول ٣-١. أما الحركات العامة لها فإن جميع الكواكب تسير باتجاه واحد (من الغرب إلى الشرق بالنسبة للمشاهد الأرضي) في حركاتها المدارية حول

الشمس، وكذلك في حركاتها المحورية حول نفسها فإنها تدور أيضاً بنفس الاتجاه (من الغرب إلى الشرق) ما عدا الزهرة وأورانوس اللذين يدوران باتجاه معاكس (من الشرق إلى الغرب). لذا تكون قيمة الميل المحوري لهما أكثر من  $90^\circ$  كما يلاحظ في الجدول ٣-٣.

تشارك بعض الكواكب في خصائص مماثلة. وهذا يسمح بجعلها ضمن مجموعة واحدة معاً وبيان الصفات المشتركة لها. لذا نُظمت الكواكب في مجموعتين يفصل بينهما حزام الكويكبات هما: (١) الكواكب الداخلية أو الصخرية أو الأرضية (أي الشبيهة بالأرض) terrestrial planets، وهي الكواكب الأربعة الأقرب للشمس: عطارد، والزهرة، والأرض، والمريخ. وتتسم هذه الكواكب بتركيبها الصخري والمعدني والصغر النسبي لحجمها، فأكبرها حجماً هو كوكب الأرض. ولا تختلف كثيراً في كثافتها وتركيبها الكيميائي، لكنها تختلف اختلافاً بيناً في الأحوال الطبيعية لسطحها كدرجة الحرارة وقوة الجاذبية ووفرة الماء والهواء في غلافها الجوي. ويتميز هذا القسم بقلة أقماره.

(٢) الكواكب الخارجية أو العملاقة giant planets أو المشتري (أي الشبيهة بالمشتري) Jovian planets (نسبة إلى "Jove" الاسم الآخر للمشتري)، وهي الكواكب الأربعة الأبعد عن الشمس: الكوكبان الغازيان المشتري وزحل، والكوكبان الجليديان أورانوس ونبتون. وتتركب من مواد خفيفة كالهيدروجين والهيليوم والماء. ولا وجود للقشرة الصخرية الشبيهة بالأرض، لذا تكون قليلة الكثافة. وهي كبيرة الحجم، فكوكب نبتون الذي هو أصغر هذه الكواكب الأربعة يفوق قطره قطر الأرض بما يقارب أربع مرات<sup>١</sup>. كما تتميز بكثرة الأقمار. ويمتلك كل من هذه الكواكب الأربعة حلقات تدور حول خط استواء الكوكب، رغم أن الشائع هو أن زحل فقط له حلقات، وهذا راجع إلى صغر حجم حلقات الكواكب الأخرى. وهذه الحلقات تتكون من أعداد كبيرة من الأجسام الصغيرة التي تتراوح أحجامها من بضعة مايكرونان<sup>٢</sup> إلى عشرات الأمتار. وتتكون من جليد الماء والغبار والصخور، على اختلاف في نسب هذه المكونات بين الكواكب الأربعة.

رغم أن الكواكب العملاقة تشارك في العديد من الخصائص، إلا أن هناك اختلافات كبيرة فيما بينها. فكوكبا المشتري وزحل متقاربان في الحجم ويتكونان بشكل أساسي من الهيدروجين والهيليوم، وهما أكبر بكثير من أورانوس ونبتون المتقاربين مع بعض في الحجم، واللذين يحتويان على كميات أكبر بكثير من الماء والجليد مقارنة بالمشتري وزحل.

(١) بكم مرة يكبر نبتون الأرض في الحجم؟

(٢) المايكرون  $m = 10^{-6}$ .



تشرق الشمس بشكل خافت وتوفر القليل جداً من الدفء في هذه الأجزاء النائية من النظام الشمسي. وتُرى الشمس من كوكب المشتري كقرص صغير يبلغ سطوعه  $\frac{1}{27}$  مما يبدو من الأرض. وفي نبتون، لن تظهر الشمس كقرص، بل ستظهر كنقطة ضوء لامعة تشبه النجمة. ويشترك بلوتو في بعض الخصائص مع إحدى المجموعتين وفي أخرى مع المجموعة الثانية. لذا فهو لا يشبه أيّاً من الكواكب، ولم يُحتسب ضمن أي من المجموعتين حتى عندما كان يُعتبر كوكباً. ويبين الجدولان ٢-٣ و ٣-٣ المعلومات المدارية والفيزيائية للكواكب.

الجدول ٢-٣: بعض الثوابت المدارية للكواكب.

| الكوكب                                                            | عطارد              | الزهرة              | الأرض                           | المريخ                          | المشتري          | زحل               | أورانوس           | نبتون             |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| طول المحور شبه الرئيسي (AU)<br>distance from Sun                  | 0.387              | 0.723               | 1                               | 1.524                           | 5.2              | 9.6               | 19.2              | 30                |
| الفترة المدارية (سنة الكوكب)<br>بالسنين الأرضية<br>orbital period | 0.241              | 0.615               | 1                               | 1.881                           | 11.9             | 29.5              | 84                | 164.8             |
| السرعة المدارية (km/s)<br>orbital velocity                        | 47.9               | 35                  | 29.8                            | 24.1                            | 13.1             | 9.7               | 6.8               | 5.4               |
| الانحراف المركزي<br>eccentricity                                  | 0.206              | 0.007               | 0.017                           | 0.093                           | 0.048            | 0.054             | 0.047             | 0.009             |
| زاوية ميل مستوى المدار عن دائرة البروج<br>orbital inclination     | 7°                 | 3.4°                | 0°                              | 1.85°                           | 1.31°            | 2.49°             | 0.77°             | 1.77°             |
| زمن دوران الكوكب حول نفسه<br>(يوم الكوكب)<br>rotation period      | 58.65 <sup>d</sup> | 243.02 <sup>d</sup> | 23 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> | 24 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup> | 9.9 <sup>h</sup> | 10.7 <sup>h</sup> | 17.2 <sup>h</sup> | 16.1 <sup>h</sup> |
| الميل المحوري<br>axial tilt                                       | 2°                 | 177.36°             | 23.45°                          | 25.19°                          | 3.1°             | 26.7°             | 97.8°             | 29.3°             |

الجدول ٣-٣: بعض الثوابت الفيزيائية للكواكب.

| الكوكب                                                  | عطارد | الزهرة | الأرض  | المريخ | المشتري | زحل   | أورانوس | نبتون |
|---------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|---------|-------|---------|-------|
| الكتلة (بدلالة كتلة الأرض)<br>mass                      | 0.055 | 0.815  | 1      | 0.107  | 318     | 95    | 14.5    | 17.1  |
| القطر الاستوائي (1000 km)<br>equatorial diameter        | 4.88  | 12.104 | 12.756 | 6.794  | 143     | 120.5 | 51.1    | 49.5  |
| القطر الاستوائي (بدلالة قطر الأرض)                      | 0.383 | 0.949  | 1      | 0.533  | 11.2    | 9.45  | 4       | 3.9   |
| معدل الكثافة (gm/cm <sup>3</sup> )<br>mean density      | 5.43  | 5.24   | 5.52   | 3.93   | 1.3     | 0.7   | 1.3     | 1.6   |
| الجاذبية السطحية (m/s <sup>2</sup> )<br>surface gravity | 3.7   | 8.87   | 9.78   | 3.71   | 25.1    | 10.5  | 9       | 11.2  |
| سرعة الإفلات (km/sec)<br>escape speed                   | 4.25  | 10.36  | 11.18  | 5.03   | 60.2    | 35.5  | 21.3    | 23.5  |
| عدد الأقمار<br>number of moons                          | 0     | 0      | 1      | 2      | 95      | 146   | 28      | 16    |
| معدل درجة الحرارة (°C)<br>mean temperature              | 125   | 464    | 15     | -65    | -110    | -140  | -195    | -200  |





ويمكن استخلاص بعض المعلومات من هذين الجدولين، منها:

- (١) إن طول سنة الكوكب يزداد كلما كان الكوكب أبعد عن الشمس، لأنه سيستغرق زمناً أطول لإتمام دورة كاملة حول الشمس، فعطارد الكوكب الأقرب للشمس يتم دورته حول الشمس خلال 88 يوماً أرضياً، بينما يتم نبتون - الكوكب الأبعد - دورته الشمسية خلال 165 سنة تقريباً.
- (٢) تكون السرعة المدارية (الدوران حول الشمس) للكواكب الداخلية أسرع مما للكواكب الخارجية.
- (٣) الانحراف المركزي صغير جداً لجميع الكواكب ما عدا عطارد، أي لمعظمها مدارات شبه دائرية.
- (٤) يوم الكوكب الداخلي أطول من يوم الكوكب الخارجي رغم كبر حجم الكواكب الخارجية مقارنة بالداخلية. وهذا يعني أن سرعة الدوران المحوري للكوكب الخارجي أكبر بكثير!
- (٥) ميل محور دوران بعض الكواكب بالنسبة لمستوى مدارها حول الشمس صغير جداً، وهذا يعني أنها تدور في وضع مستقيم تقريباً وليست مائلة كالأرض التي تميل بـ  $(23.45^\circ)$ . فلعطارد ميل محوري قدره  $2^\circ$  وللزهرة  $2.64^\circ$  وللمشتري  $3.1^\circ$  فقط. وهذا يعني أنها لا تمتلك فصولاً فلكية ملحوظة كما للأرض.
- (٦) إن كتل وأحجام الكواكب الداخلية أصغر بكثير مما للكواكب الخارجية.
- (٧) تكون كثافة الكواكب الداخلية (الصخرية) أكبر مما للكواكب الخارجية (الغازية) لأن المادة الصلبة أكثر كثافة من المادة الغازية.
- (٨) سرعة الإفلات للكواكب الداخلية أصغر مما للكواكب الخارجية. وهذا بسبب صغر نسبة الكتلة إلى نصف القطر للكواكب الداخلية مقارنة بما للكواكب الخارجية حسب العلاقة  $(v_{esc} = \sqrt{2Gm_M/R})$ .
- (٩) تمتلك الكواكب الداخلية 3 أقمار فقط، أحدها للأرض واثنان للمريخ، بينما تمتلك الكواكب الخارجية 285 قمراً.
- (١٠) تكون الكواكب الخارجية أبرد من الداخلية بسبب البعد عن الشمس، وتقل درجة الحرارة كلما زاد البعد عن الشمس إلا في حالة كوكبي عطارد والزهرة، فإن عطارد الكوكب الأقرب للشمس ليس هو الأكثر سخونة، وذلك بسبب عدم وجود غلاف جوي للكوكب للاحتفاظ بهذه الحرارة، فيفقدتها بسهولة خلال الليل الذي يمكن أن تنخفض فيه درجة الحرارة على السطح إلى  $(-180^\circ\text{C})$ ، وتصل خلال النهار إلى  $(430^\circ\text{C})$ . ويكون كوكب الزهرة أكثر سخونة بسبب غلافه الجوي الكثيف.

(١) قارن بين سرعة الدوران المحوري للمشتري والأرض.

### 3-3: Planetary Properties

### ٣-٣: خصائص كوكبية

#### 3-3-1: Diameter

#### ٣-٣-١: القطر

يُستخدم أحياناً جهاز المايكرومتر الذي يُربط بالمرقب الفلكي لأجل قياس القطر الزاوي للكوكب بالثواني القوسية. وبعد معرفة بعده عن الأرض يمكن الحصول على القطر الحقيقي. وهذا يحصل وفق العلاقة  $\left(\frac{D}{\theta} = \frac{2\pi r}{360^\circ}\right)$  التي مرت علينا عند حساب قطري الشمس والقمر. إذا كان الكوكب كروياً، فسيكون القطر متساوياً في كل اتجاهات الكوكب. ولكن معظم الكواكب ليست كروية تماماً، فلديها انتفاخ استوائي ناتج عن دورانها (كما مرّ ذكره عن الأرض في الفصل الأول). وهذا يعني أن القطر الاستوائي سيكون أكبر من القطر القطبي. وبشكل عام، عندما يتم إعطاء قيمة واحدة فقط للقطر فهي القطر الاستوائي. وبمعرفة القطر، يمكن إيجاد المحيط والمساحة السطحية والحجم<sup>١</sup>.

#### 3-3-2: Mass

#### ٣-٣-٢: الكتلة

تُحسب الكتلة باستخدام قانون كبلر الثالث فيما لو كان للكوكب تابع طبيعي أو أكثر في مدار حوله كما هو الحال بالنسبة للأرض وبقية الكواكب الأبعد، ويتم ذلك بقياس مدة دورة التابع حول الكوكب، ثم تُستخدم العلاقة 2.2 التي حُسبت بها كتلة الشمس<sup>٢</sup>. أما إذا لم يكن للكوكب تابع كما هو الحال في عطارد والزهرة فإن كتلته تقاس من خلال تأثيره على مدارات الكواكب الأخرى أو على مدار مذنب معين فيما لو اقترب منه، أو من مرور بعض المركبات الفضائية بالقرب منه. وبعد معرفة كتلة وحجم الكوكب يمكن معرفة معدل كثافته، لأن  $(\rho = m/V)$ .

#### 3-3-3: Surface Gravity

#### ٣-٣-٣: الجاذبية السطحية

بعد معرفة كتلة الكوكب وقطره يمكن معرفة جاذبيته السطحية  $g$  من العلاقة  $(g = Gm/R^2)$  التي ذُكرت في حساب جاذبية القمر، حيث  $m$ : كتلة الكوكب، و  $R$ : نصف قطره، و  $G$ : ثابت الجذب العام.

#### 3-3-4: Axial Rotation Period

#### ٣-٣-٤: مدة الدوران المحوري

يمكن حساب مدة دوران الكوكب حول نفسه عن طريق قياس الزمن المستغرق لعلامة واضحة على سطح الكوكب أو على غلافه الجوي كي تعود - بعد دوران الكوكب - لنفس الاتجاه نسبة

(١) وفق هذه الطريقة في حساب الحجم، هل سيكون دقيقاً تماماً؟ ولماذا؟  
(٢)  $(m_s + m_p = 4\pi^2 r^3 / GT^2)$ .

للنجوم، ثم إدخال التصحيحات اللازمة على هذه القياسات مثل معالجة نتيجة التغير الحاصل في بعد الأرض عن الكوكب بسبب تغير وصول الضوء من الكوكب إلينا. وكمثال على هكذا علامات هو البقعة الحمراء red spot في الغلاف الجوي لكوكب المشتري. وفي حالة عدم وجود علامة مميزة على سطح الكوكب تستخدم طرق أخرى، منها استخدام ظاهرة دوبلر في قياس إزاحة الخطوط الطيفية لحافة قرص الكوكب للحصول على سرعة الاقتراب أو الابتعاد عن الأرض.

### 3-3-5: Temperature

### ٣-٣-٥: درجة الحرارة

تتأثر درجة الحرارة الفعلية للكوكب بكمية الطاقة الشمسية الساقطة عليه وتأثيرات الغازات الدفيئة (غازات الاحتباس الحراري greenhouse gases) إن وجدت. ويمكن معرفة درجة حرارة سطح الكوكب من خلال المركبات الفضائية التي أجرت قياسات مباشرة لسطوح الكواكب التي وصلت إليها، ويمكن أيضاً تقدير درجة الحرارة بواسطة الدراسات الخاصة بكمية الحرارة المشعة، لأنها تبين معدل امتصاص الكوكب للحرارة ومعدل ما يشعه منها.

### 3-3-6: Atmosphere

### ٣-٣-٦: الغلاف الجوي

الغلاف الجوي عبارة عن طبقة من الغازات التي تحيط بـ سطح الكوكب. وقد يحتوي الغلاف الجوي على سحب تمنعنا من رؤية السطح، أو قد يكون شفافاً. وقد تكون الغازات التي يتكون منها الغلاف الجوي مفيدة للحياة على السطح، أو قد تكون مضرّة. إذا كان الغلاف الجوي شفافاً أو غير موجود، فقد نتمكن من التعرف على مجموعة متنوعة من المظاهر السطحية على الكوكب كالحفر والجبال والوديان والبراكين وما إلى ذلك. وفي بعض الحالات يمكن التعرف على هذه الميزات على الرغم من الغطاء السحابي السميك باستعمال الرادار للتنقيب تحت الغيوم (كيف؟).

### 3-3-7: Albedo and Brightness

### ٣-٣-٧: البياض والسطوع

إن الكواكب وجميع الأجسام الأخرى في النظام الشمسي تعكس إشعاع الشمس. ويعتمد سطوع أو لمعان الجسم بالنسبة للمراقب الأرضي على بعده عن الشمس والأرض، وعلى انعكاسية أو بياض سطحه. ويحدد مصطلح البياض قدرة الجسم على عكس الضوء.





نحصل على لمعان الكوكب من الأرصاد الضوئية (حيث يُهمل هنا الإشعاع الحراري وموجات الراديو ويتم التركيز بشكل أساسي على الأطوال الموجية المرئية). وبما أن لمعان الكوكب يعتمد على بعده عن الشمس فإن نورانيته تتغير تغيراً عكسياً مع مربع بعده عن الشمس حسب قانون التربيع العكسي، وكذلك يتغير القطر المرئي (القطر الزاوي) للكوكب وفقاً لبعده عن الأرض. وبعبارة أخرى فإن لمعان الكوكب بالنسبة لنا يتناسب عكسياً مع مربع بعده عن الشمس ومربع بعده عن الأرض. تبلغ انعكاسية الأرض (0.37 ~)، وهذا يعني أنها تعكس (37% ~) من أشعة الشمس، أي إنها تمتص 63%. ويمتلك كوكب الزهرة انعكاسية تقارب 0.7، ويمتص 30% فقط من أشعة الشمس الساقطة عليه، لكن الغلاف الجوي المشبع بثاني أكسيد الكربون سميك جداً لدرجة أن درجة حرارة سطحه ترتفع بشكل كبير. ويمتلك المريخ انعكاسية تبلغ 0.15، لذا يمتص الكثير من الطاقة الشمسية الساقطة، لكن غلافه الجوي الرقيق المكون من ثاني أكسيد الكربون غير قادر على حبس الكثير من الحرارة، لذا فهو بارد جداً بحيث لا تتمكن أشكال الحياة المعتمدة على الكربون والماء من البقاء على السطح.

### 3-4: Bode's Law

### ٣-٤: قاعدة بود

تمت صياغة هذه القاعدة في القرن الثامن عشر لقياس المسافات بين الشمس والكواكب المعروفة آنذاك، وهي ستة كواكب من عطارد إلى زحل. ولكن بعد فترة وجيزة (في عام 1781) تم اكتشاف كوكب أورانوس الذي كان بعده عن الشمس مناسباً لقاعدة بود بشكل جيد. وقد افترض بمقتضى هذه القاعدة وجود كوكب بين المريخ والمشتري. ولكن الواقع الذي لم يكن معروفاً آنذاك هو وجود مركز حزام الكويكبات في ذلك الموقع وليس كوكباً، وتم التحقق من هذا عندما تم اكتشاف الكويكب الأول سيريس في عام 1801 الذي كان يبعد مسافة 2.8 AU كما هو الحال مع العديد من الكويكبات الأخرى التي تم اكتشافها لاحقاً في حزام الكويكبات بين المريخ والمشتري.

ومع النجاح في التنبؤ بمواقع أورانوس وسيريس، بدأ التساؤل عما إذا كانت قاعدة بود ذات أساس فيزيائي أم لا. لكن اكتشاف نبتون في عام 1846 ثم بلوتو في عام 1930 أظهر أنها لم تكن قاعدة مثالية. ويمكن توضيح قاعدة بود الرياضية بما يلي:

- (١) ابدأ بكتابة سلسلة الأرقام التالية: 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, ...
- (٢) أضف لكل رقم من الأرقام المذكورة أعلاه الرقم 4 فتحصل على سلسلة من الأرقام الجديدة هي: 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, ...

(٣) قسّم كل رقم من أرقام السلسلة الثانية على 10 فتحصل على معدل البعد التقريبي لكل كوكب عن الشمس مقاساً بالوحدات الفلكية  $AU$ :  
 $0.4, 0.7, 1, 1.6, 2.8, 5.2, 10, \dots$   
ويمكن ادراج هذه العلاقة بالصيغة التالية:

$$r = 0.4 + 0.3 \times 2^n \quad \dots \dots 3.1$$

حيث  $r$ : معدل البعد التقريبي للكوكب عن الشمس مقاساً بالوحدات الفلكية  $AU$ .  
و  $n = (-\infty)$  لعطارد، و (0) للزهرة، و (1) للأرض، و (2) للمريخ، و (3) لحزام الكويكبات، و (4) للمشتري، و (5) لزحل، ..... الخ. والجدول ٣-٤ يبين بعد كل كوكب عن الشمس محسوباً بطريقة بود ومعدل البعد الحقيقي.

الجدول ٣-٤: البعد التقريبي والبعد الحقيقي لكل كوكب عن الشمس.

| الكواكب        | البعد التقريبي<br>وفق قاعدة بود<br>بالوحدات الفلكية | البعد الحقيقي<br>بالوحدات<br>الفلكية |
|----------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| عطارد          | 0.4                                                 | 0.387                                |
| الزهرة         | 0.7                                                 | 0.723                                |
| الأرض          | 1                                                   | 1                                    |
| المريخ         | 1.6                                                 | 1.524                                |
| حزام الكويكبات | 2.8                                                 | 2.8                                  |
| المشتري        | 5.2                                                 | 5.2                                  |
| زحل            | 10                                                  | 9.6                                  |
| أورانوس        | 19.6                                                | 19.2                                 |
| نبتون          | 38.8                                                | 30                                   |

### 3-5: The Moons

### ٣-٥: الأقمار

هي الأجرام الفلكية الطبيعية التي تدور حول الكواكب، وتسمى أيضاً بتوابع كوكبية planetary satellites. ويدور التابع (والمتبوع أيضاً) حول مركز كتلة النظام الكوكبي. ووفقاً لفريق ديناميكيات النظام الشمسي لمختبر الدفع النفاث التابع لناسا NASA/ Jet Propulsion Laboratory Solar System Dynamics team فإن العدد الحالي للأقمار التي تدور حول كواكب نظامنا الشمسي هو 293 قمر: واحد للأرض، واثنان للمريخ. و 95 للمشتري، و 146 لزحل، و 28 لأورانوس، و 16 لنبتون، و 5 للكوكب القزم بلوتو.

وقد وثّق علماء الفلك أيضاً أكثر من 470 تابعاً أو قمراً يدور حول أجسام أصغر من الكواكب، مثل الكويكبات والكواكب القزمة وأجرام حزام كايبر خارج مدار نبتون. وتُدعى هذه الأقمار بالتوابع ذات الأجسام الصغيرة small-body satellites. ومن المحتمل أن يكون هناك آلاف الأقمار الأخرى يُنتظر اكتشافها في نظامنا الشمسي.

### 3-6: Asteroid

### ٣-٦: الكويكبات

يمكن القول بأن الكويكبات هي أجرام صغيرة الحجم ليست كواكب ولا مذنبات، وتدور حول الشمس، وهي أجسام قد تكون صخرية أو معدنية أو جليدية، وليس لها غلاف جوي (لماذا؟). ويختلف حجمها وشكلها عن بعض بشكل كبير، ومعظمها ذات أشكال غير منتظمة، وبعضها يكون شبه كروي، وغالباً ما تكون ذوات حفر.

لبعض الكويكبات صفات أو أصل مماثل للمذنبات، ومن المحتمل أن تكون بعض الكويكبات القريبة من الأرض عبارة عن بقايا مذنبات اختفت منها جميع العناصر المتطايرة. ومن ثم فإن التصنيف الحالي يعتمد على المظهر البصري والأعراف الفلكية أكثر من اعتماده على الاختلافات الفيزيائية الحقيقية. وتفترض النظرية المقبولة حالياً أن الكويكبات تشكلت في وقت واحد مع الكواكب الكبرى. وكانت الكويكبات البدائية عبارة عن قطع كبيرة، يدور معظمها بين مداري المريخ والمشتري. وبسبب الاصطدامات المتبادلة والتشظي، فإن الكويكبات الحالية هي حطام تلك الأجسام البدائية التي لم تكن قادرة على تشكيل كوكب كبير.

تشكل الكويكبات مجموعة كبيرة ومتناثرة من الأجسام التي تدور حول الشمس. وتشكل المجموعة الأكثر شهرة حزام الكويكبات بين المريخ والمشتري على مسافة (2.2 – 3.3 AU) من الشمس. وأبعد الكويكبات هي أبعد بكثير من مدار بلوتو، وهناك عدد من الكويكبات التي تكون أقرب إلى الشمس من الأرض. وتتراوح أقطار الكويكبات من مئات الأمتار إلى مئات الكيلومترات. وأكبرها هو فيستا Vesta الذي يبلغ قطره ما يقارب 530 km. ويبلغ عدد الكويكبات المرصودة أكثر من 1.3 مليون. والكتلة الإجمالية لجميع الكويكبات مجتمعة أقل من كتلة قمر الأرض.

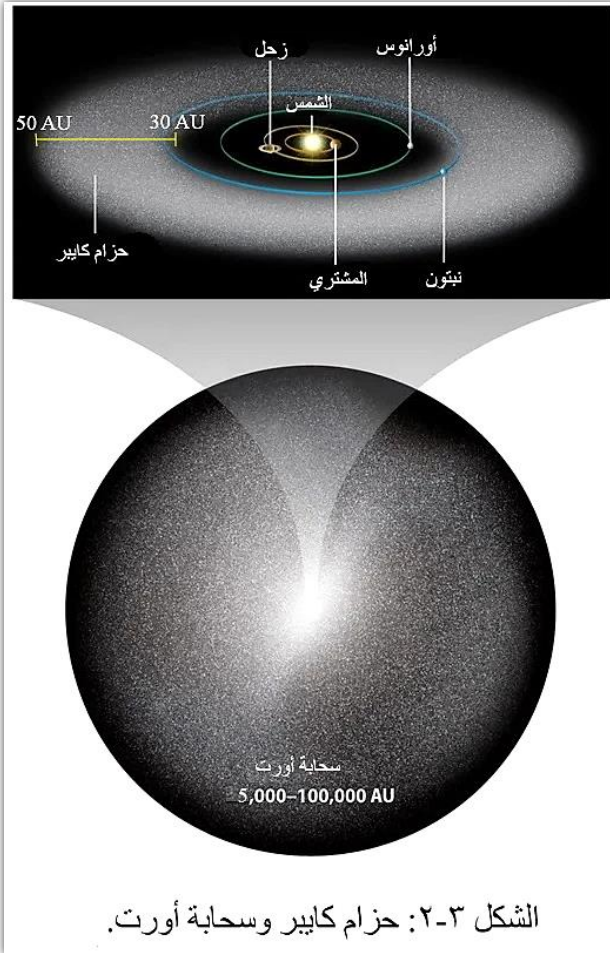
يراقب العلماء باستمرار الكويكبات التي تتقاطع مساراتها مع مدار الأرض والكويكبات القريبة من الأرض التي تقترب بما يقارب 45 مليون كيلومتر من مدار الأرض والتي قد تشكل خطر الاصطدام. وهناك مجموعتان للكويكبات هما الأتونيات Atens والأبولويات Apollos، تتقاطع مداراتها مع مدار



الأرض، وربما تصطدم بالأرض أو القمر. ويقدر علماء الفلك أن هناك أكثر من 3500 كويكب ضمن مجموعتي أتون وأبولو بأقطار أكبر من كيلومتر واحد. وإن الاصطدامات بين الأرض أو القمر ومثل هذه الأجسام لها أهمية جيولوجية، وقد أدى بعضها إلى تغيير تاريخ الحياة على الأرض بشكل كبير.

### 3-6-1: Kuiper Belt

### ٣-٦-١: حزام كايبر



الشكل ٣-٢: حزام كايبر وسحابة أورت.

هو عبارة عن مجموعة واسعة من الصخور والأجسام الجليدية الواقعة خارج مدار نبتون، ويدور حول الشمس في نفس مستوى الكواكب تقريباً، وتوجد فيه أجسام أكبر من بلوتو مثل الكوكب القزم إريس الذي اكتُشف عام 2003. ويقدر العدد الكلي لأجسام حزام كايبر التي يزيد قطرها عن 100 km بأكثر من 100 ألف. وتعتبر هذه الأجسام من بقايا مراحل التشكيل المبكرة للنظام الشمسي. وكان الحزام مجرد افتراض حتى عام 1992 عندما تم التعرف على أول جسم هناك.

ويُعد حزام كايبر واحداً من الهياكل الكبرى في نظامنا الشمسي، وشكله العام يشبه القرص المنتفخ أو الدونات. وتبدأ حافته الداخلية عند مدار نبتون، على

بعد يقارب 30 AU من الشمس. وتنتهي المنطقة الرئيسية على بعد يقارب 50 AU. وتشير إحدى الدراسات الحديثة أن حزام كايبر قد يكون أكبر من المتوقع، وقد يمتد إلى مسافة 80 AU من الشمس. تتداخل مع الحافة الخارجية للجزء الرئيسي من حزام كايبر منطقة ثانية تسمى القرص المبعثر scattered disk، والتي تمتد إلى ما يقرب من 1000 AU، وتوجد بعض الأجسام في مدارات أبعد من ذلك.

### 3-6-2: Oort Cloud

### ٣-٦-٢: سحابة أورت

يُعتقد أنها عبارة عن قشرة كروية عملاقة مثل فقاعة كبيرة وسميكة حول نظامنا الشمسي تحيط بالشمس والكواكب وأجسام حزام كايبر، وهي ليست كالكواكب التي تدور في مستوى سطح،

(لاحظ الشكل (٣-٢)). وتتكون سحابة أورت من أجسام جليدية تشبه المذنبات، ويمكن أن تكون أجسامها الجليدية كبيرة مثل الجبال، وفي بعض الأحيان أكبر. والأبعاد الدقيقة لهذه السحابة غير معروفة بسبب بعدها الكبير. ومع ذلك تُقدر كتلتها الكلية بعشرات أضعاف كتلة الأرض، وتحتوي على أكثر من  $10^{12}$  مذنب. ويُعتقد أن الحافة الداخلية لسحابة أورت تقع على بعد (2000 – 5000 AU) من الشمس، وتقع الحافة الخارجية بين ( $10^4 - 10^5$  AU)، أي تمتد لمسافة تقارب 1.5 سنة ضوئية (ثلث الطريق إلى أقرب نجم).

### 3-7: Comets

### ٣-٧: المذنبات

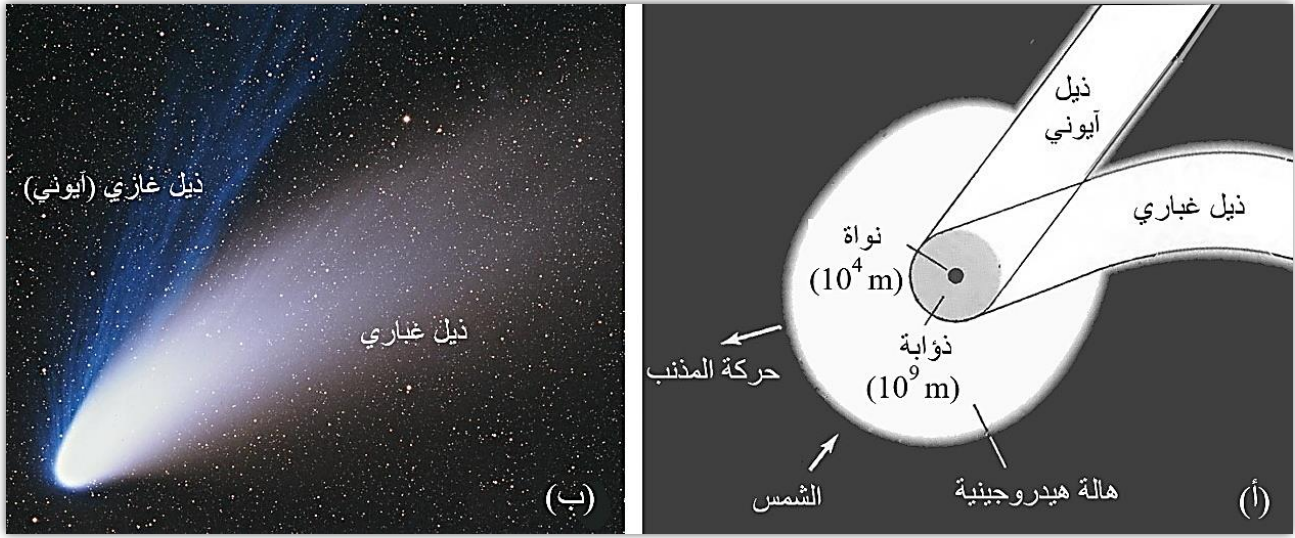
هي أجسام جليدية صغيرة تدور في النظام الشمسي، قد يبلغ عرض الواحد منها بضعة كيلومترات، ولها رأس غازي كبير على شكل غيمة مضيئة تحيط بنواة المذنب الصغيرة. وقد تم اكتشاف مجموعة غنية من الذرات والجزيئات والأيونات والمركبات الكيميائية في المذنبات باستخدام التحليل الطيفي، منها الجليد المائي الذي قد يشكل (75-80%) من المادة المتطايرة، وغازات مجمدة مثل أول أكسيد الكربون CO، وثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub>، والميثان CH<sub>4</sub>، والأمونيا NH<sub>3</sub>، والفورمالديهايد H<sub>2</sub>CO. والضوء القادم من المذنبات هو الضوء المنعكس من مادتها. ويكون المذنب غير مرئي عندما يكون بعيداً عن الشمس، وعندما يقترب بأقل من 2 AU تقريباً تبدأ حرارة الشمس في إذابة الجليد. ويتمزق بعض المذنبات عند اقترابه كثيراً من الشمس، وربما يتحول إلى زخات من الشهب تطل الأرض. وللمذنب ذنب طويل ينمو من تطاير مادة الرأس بتأثير ضغط الإشعاع والرياح الشمسية عند اقترابه من الشمس، وقد يمتد لعدة ملايين من الكيلومترات بعيداً عن الجسم الرئيسي للمذنب، ويتخذ الاتجاه المعاكس للشمس دائماً (لاحظ الشكل (٣-٤)). ويشكل الغاز والغبار المتدفق غلافاً يمثل ذؤابة coma حول النواة. وهناك ذيلان للمذنب:

- (١) ذيل مستقيم أيوني (غازي) ion tail: يتكون نتيجة تأثير الجزيئات المتأينة ذوات الكتل الصغيرة الموجودة في نواة المذنب بالرياح الشمسية، فتندفع مباشرة إلى الخلف في الاتجاه المضاد للشمس، فيتكون الذنب المستقيم. ويرجع سطوع الذيل الأيوني في الغالب إلى الانبعاث بواسطة الذرات المثيجة.
- (٢) ذيل منحني غباري dust tail: يتكون نتيجة تأثير الجسيمات الصخرية الموجودة في نواة المذنب بالضغط الإشعاعي للشمس، حيث إنها لا تتأثر بسهولة بالرياح الشمسية، وبذلك تندفع إلى خلف النواة على مسار منحني.

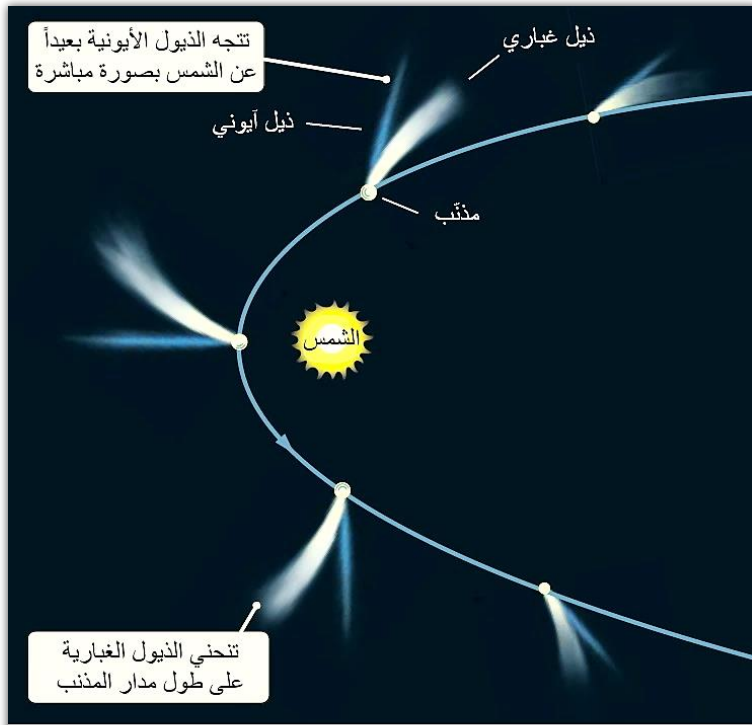


## ٥. مظهر جاسر

مكونة الذيل المنحني الغباري. (لاحظ الشكل ٣-٣). ويكون لونه أبيض أو مصفر. والحبيبات التي يتكون منها الذيل الغباري هي في حجم جزيئات الدخان.



الشكل ٣-٣: ذيل المذنب، (أ) مخطط لأحد المذنبات. (ب) عندما يقترب المذنب من الشمس تصبح معالمه أكثر وضوحاً. وفي هذه الصورة من وكالة ناسا التي التقطت سنة 1997 يظهر فيها المذنب هيل بوب Hale-Bopp، ويمكن رؤية ذيلي المذنب: (١) الذيل الغباري المنحني الأكثر وضوحاً، الذي يمكن أن يصل طوله إلى 10 ملايين كيلومتر. (٢) الذيل الغازي المستقيم الخافت (الذيل الأيوني)، الذي يصل طوله إلى مئات الملايين من الكيلومترات. وعلى مقياس هذه الصورة ستكون النواة (المخفية داخل السحابة) بمثابة نقطة صغيرة جداً، بحيث لا يمكن رؤيتها.



الشكل ٣-٤: اتجاه الذيلين الغباري والأيوني في عدة نقاط في مدار المذنب.

إن استطارة الضوء هي التي تعطي الذيل الغباري مظهره الأبيض أو المصفر. أما لون الذيل الأيوني فهو أزرق لأن أيونات أول أكسيد الكربون  $CO^+$  تمتص وتعيد إشعاع الفوتونات الشمسية عند أطوال موجية قريبة من  $420 \text{ nm}$ .

تظل المذنبات مرئية عند اقترابها من الأرض لفترات تتراوح عادة من بضعة أسابيع إلى عدة أشهر. والمذنب الدوري الأكثر شهرة هو مذنب هالي الذي تقارب مدته المدارية 76 سنة، وكان آخر مرة



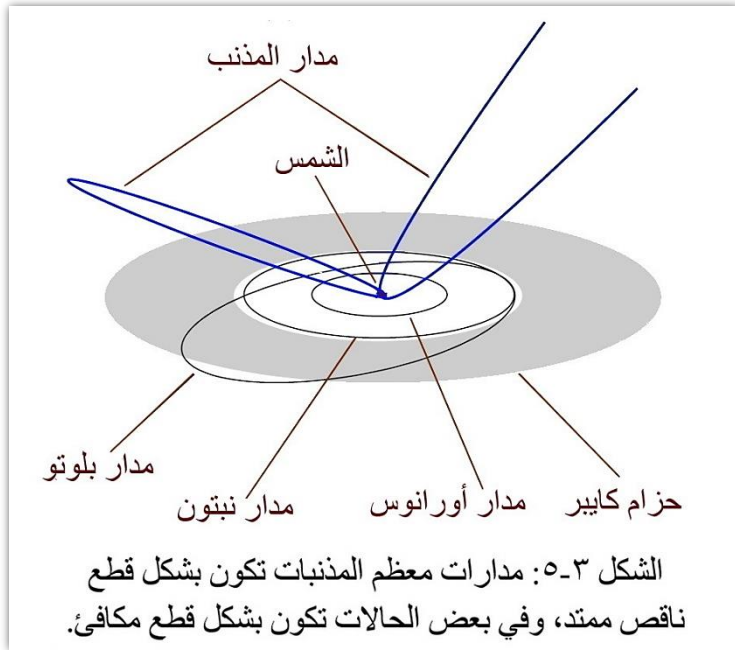
في الحضيض في عام 1986، وشوهد حينئذ من الأرض بالعين المجردة وتمت دراسته عن طريق إرسال خمس مركبات فضائية قدمت لنا ثروة من المعلومات حول تركيبه، ومن المتوقع عودته عام 2061.

### 3-7-1: Comets Orbits

### ٣-٧-١: مدارات المذنبات

تقسم المذنبات بصورة عامة إلى قسمين من حيث أشكال مداراتها، وهي:

(١) مذنبات الفترة القصيرة short-period comets (أو مذنبات المدارات الثابتة): يعتقد أنها تنشأ في حزام



كايبر، حيث يمكن لاضطرابات الجاذبية الصغيرة من نبتون أن تغير مداراتها تدريجياً حتى تتمكن من اختراق النظام الشمسي الداخلي. وتسمى أيضاً بالمذنبات الدورية لأنها بعد أن تدور حول الشمس تعود إلى مصدرها فترسم بذلك مدارات قطع ناقص ممدود إلى حد كبير، أي لها انحراف مركزي كبير، وتكون مدة دورتها حول الشمس أقل من 200 سنة.

(٢) مذنبات الفترة الطويلة long-period comets (أو المذنبات غير الدورية): تلك التي لها فترات طويلة جداً بحيث لم يتم قياسها أبداً، ولها مدارات شديدة الانحراف بحيث تشبه تقريباً القطع المكافئ. وتبلغ فترة دورانها حول الشمس من 200 سنة إلى آلاف السنين إن أكملت دورتها أصلاً. ويُعتقد أنها تأتي من سحابة أورت. بالإضافة إلى ذلك فإن بعض المذنبات تدور حول الشمس خارج المستوى العام الذي تدور فيه الكواكب (الشكل ٣-٥). ويقضي مثل هذا الجسم معظم وقته في الأطراف الخارجية للنظام الشمسي. وعندما يدخل من أعماق الفضاء البعيدة والمظلمة والباردة فإنه يكتسب سرعة أكبر.

### 3-8: Meteors and Meteorites

### ٣-٨: الشهب والنيازك

الشُّهَب هي جسيمات صلبة صغيرة تدخل الغلاف الجوي للأرض من الفضاء بين الكواكب الذي يحتوي على ملايين الأطنان من الصخور والغبار. وقبل أن يدخل الشهاب غلافنا الجوي، ربما كان يدور حول الشمس لملايين السنين بعد أن تشظى من كويكب، أو كان من بقايا نواة متحللة

لمذنب عند اقترابه من الشمس، حيث تبقى الجسيمات الترابية الصلبة في مسيرها ترسم مدار القطع الناقص حول الشمس نتيجة لتأثرها بجاذبية الشمس، وربما تمر بالغلاف الجوي الأرضي فتحترق وتتولد الشهب التي تكون على نوعين: المنتظمة (زخات من الشهب) وغير المنتظمة.

عند مرور هذه الكتل السماوية في الغلاف الجوي الأرضي تزداد مقاومة الهواء لها فتتولد عملية احتكاك ميكانيكية بين جزيئات الهواء وجزيئاتها السطحية، فترتفع درجة حرارتها وتزداد بازدياد سرعتها حتى تحترق وتتطاير جسيماتها مولدة مساراً نارياً قصيراً يسميه البعض "النجوم المتساقطة shooting stars". وبما أنها تتحرك بسرعة كبيرة ( $10 - 70 \text{ km/s}$ ) فإن الاحتكاك مع الهواء يؤدي إلى احتراقها متحولة إلى رماد على ارتفاع ( $80 - 130 \text{ km}$ ). ويمكن قياس ارتفاعات الشهب باستعمال الرادار، لأن موجات الراديو ترتد عن الغاز المتأين في مسارات الشهب كما ترتد عن المعدن في الطائرة أو السيارة. ومقارنة للارتفاعات، فإن الطائرات النفاثة التجارية تحلق عادةً على ارتفاعات تقارب  $10 \text{ km}$ .

إن أغلب الشهب صغيرة الحجم وتحترق في الجو، وقليل منها يسقط على سطح الأرض فيسمى نيزكاً. أي إن النيازك تمثل الأجزاء الساقطة من الكتل السماوية على الأرض التي لا تُستهلك بالاحتراق في الغلاف الجوي. وقد أظهرت نتائج فحصها بأنها تتكون من عناصر ومعادن متوفرة على الأرض كالكربون والسليكون والمغنيسيوم والحديد والنيكل وغيرها. وإذا كان النيزك كبيراً بما فيه الكفاية (قطره أمتار أو أكثر) فإن سرعته لا تتضاءل في الغلاف الجوي. لذا فإنه يصطدم بالأرض بسرعة كبيرة، ويؤدي سقوطه إلى حدوث حفر كبيرة على سطح الأرض، وقد يسبب كارثة واسعة النطاق.

إن شدة توهج الشهاب تتناسب طردياً مع كتلته ومربع سرعته ( $L \propto mv^2$ ). لذا فإن فقدان كتلته يعتمد كلياً على سرعته، أي بزيادة سرعته يزداد توهجه، أي يزداد احتراق مادته، فتزداد عملية فقدانه لمادته. أصغر الأجسام المسببة للشهب تقارب كتلتها 1 غرام، أي ليس أكبر من حبة البازلاء. ويمكن رؤيته رغم هذا الحجم الصغير بواسطة الضوء الصادر من المنطقة الأكبر منه بكثير ذات الغاز الساخن المتوهج المحيط بهذه الحبة الصغيرة. وبسبب سرعته العالية، فإن الطاقة الموجودة في الشهاب الصغير هذا تقارب طاقة قذيفة مدفعية عند إطلاقها من الأرض، ولكن طاقة الشهاب تشتت عالياً في الغلاف الجوي للأرض. تشير التقديرات إلى أن ما لا يقل عن 100 طن ( $10^5 \text{ kg}$ ) من المواد النيزكية تسقط على الأرض يومياً. ومعظم هذه المواد عبارة عن نيازك دقيقة (معظمها جسيمات قطرها أصغر من 100 مايكرومتر) ولا تسبب ظواهر مرئية، وتستقر في النهاية على الأرض على شكل غبار ناعم.

### ٣-٨-١: الفوائد العلمية لدراسة النيازك

#### 3-8-1: Scientific Advantages of Studying Meteorites

للنيازك أهمية كبيرة كمادة سماوية لجمع المعلومات عن المنظومة الشمسية بعد تحليلها في المختبرات العلمية للأسباب التالية:

- (١) يمكن تقدير أعمارها بواسطة عمليات النشاط الإشعاعي، فقد وُجد أن عمر أقدمها يقارب 4500 مليون سنة كما هو عمر الصخور القديمة.
- (٢) معرفة وفرة العناصر الموجودة فيها، وعند مقارنتها بالعناصر المكتشفة في الطيف الشمسي والعناصر الموجودة في القشرة الأرضية يمكن تكوين فكرة لا بأس بها عن وفرة العناصر الموجودة في المنظومة الشمسية. حيث وُجد أن موادها تشبه مواد القشرة الأرضية وباطنها. كذلك فإن تفسير نشوء المجموعة الشمسية يعتمد على وجود مثل هذه العناصر.
- (٣) يمكن فحصها لمعرفة آثار المواد العضوية خارج الكرة الأرضية، وبالتالي دراسة احتمالية وجود نوع من الحياة في المنظومة الشمسية.

#### 3-9: Origin of the Solar System

#### ٣-٩: أصل المنظومة الشمسية

- إن الفرضيات التي توضع حول أصل المنظومة الشمسية وكيفية تكوينها يجب أن تفسر الخواص العامة لها والحقائق الأساسية لحركة مكوناتها. وترتبط الخطوات الأولى لعمليات تكوين الكواكب ارتباطاً وثيقاً بتكوين النجوم. ويمكن تلخيص هذه الخواص بما يلي:
- (١) نوعية مكونات المنظومة الشمسية، حيث تتألف من الشمس والكواكب التي تدور حولها هي وتوابعها الكثيرة، والكواكب القزمة وملايين الكويكبات المتمركزة في حزام كويكبي بين المريخ والمشتري وفي حزام كايبر وأماكن أخرى، وعدد كبير من المذنبات والشهب. إضافة إلى الغبار والغازات المنتشرة بين الكواكب.
  - (٢) كيفية توزيع الكواكب بأبعاد منتظمة تقريباً عن الشمس، والتي يُعبر عنها بقاعدة بود المذكورة سابقاً.
  - (٣) انتظام الحركة العامة للكواكب في المنظومة الشمسية تقريباً، لأنها جميعاً تدور حول الشمس في نفس اتجاه دوران الشمس حول محورها من الغرب إلى الشرق (أي عكس اتجاه عقرب الساعة عندما ننظر من القطب الشمالي لمدار الأرض)، وتدور حول محاورها بنفس اتجاه دورانها حول الشمس ما عدا كوكبي الزهرة وأورانوس فإنهما يدوران حول محوريهما باتجاه عقرب الساعة، ومثلهما الكوكب القزم بلوتو.

٤) وقوع مدارات الكواكب في مستوى واحد تقريباً ومتوازية مع خط الاستواء الشمسي، إذ أن كلاً منها يميل بزاوية أقل من  $4^\circ$  عن مستوى دائرة البروج، ما عدا عطارد الذي يميل بـ  $7^\circ$ .

٥) تكون مدارات الكواكب في حركتها حول الشمس شبه دائرية، لأن الانحراف المركزي  $e$  لها صغير، ما عدا عطارد (راجع الجدول ٣-٢).

٦) وقوع مدارات أقمار الكواكب بموازاة المستويات الاستوائية لكواكبها تقريباً، والغالبية العظمى تدور في مداراتها بنفس الكيفية التي تدور فيها كواكبها حول محور كل منها. ويستثنى من ذلك القمر الأرضي والقمر ترايتون من أقمار أورانوس.

٧) أظهرت القياسات أن أعمار كل من الشمس والأرض والقمر والنيازك متقاربة، وأن عمر الشمس يقدر بين 4.5 إلى 5 مليار سنة.

٨) يلعب الزخم الزاوي (عزم الزخم الخطي) للمنظومة الشمسية دوراً هاماً في دراسة نشوئها، فلو فرض أن جسمًا كتلته  $m$  يبعد مسافة  $r$  عن مركز الكتلة ويدور بسرعة  $v$  فإن زخمه الزاوي  $L$  يعطى بالعلاقة:

$$L = mvr = I\omega \quad \dots \dots 3.2$$

حيث  $I$  عزم القصور الذاتي للجسم و  $\omega$  سرعته الزاوية. ولذلك فإن الكواكب والأجرام الأخرى في المنظومة الشمسية لكل منها زخم زاوي بسبب حركتها المدارية، وكذلك الأقمار التي تدور حول كواكبها. وعلى هذا الأساس وجد أن الزخم الزاوي للشمس يبلغ 2% تقريباً من الزخم الزاوي الكلي للمنظومة الشمسية رغم امتلاكها 99.8% من الكتلة الكلية للمنظومة الشمسية، حيث أن أغلب الزخوم الزاوية تتوزع على الكواكب. فمثلاً يمتلك المشتري لوحده 60% تقريباً من الزخم الزاوي الكلي، وإن أغلب الزخم الزاوي المتبقي موزع بين زحل وأورانوس ونبتون.

٩) أما التركيب الكيميائي لأفراد المنظومة الشمسية فقد وجد أن أغلب العناصر الموجودة في الشمس هي الهيدروجين والهيليوم، وأن الهيدروجين وحده يشكل ما يقارب 73% من كتلة الشمس. ويحتوي المشتري وزحل على عناصر مشابهة تقريباً، ونفس العناصر تكون بدرجة أقل في أورانوس ونبتون. وهي تختلف عن الكواكب الداخلية التي تكون فيها النسبة المئوية للعناصر الثقيلة أكبر من العناصر الأخرى.

ومما ورد أعلاه نستخلص أن أية فرضية توضع لتفسير نشوء المنظومة الشمسية يجب أن تنطبق عليها جميع الخواص المذكورة أعلاه. وهناك عدة فرضيات اندثر بعضها بسرعة وصمد البعض الآخر رداً من الزمن.

ومن الفرضيات المهمة ما تقول أن المنظومة الشمسية قد نشأت باقتراب نجم كبير الحجم من الشمس، ونتيجة لقوانين الجاذبية تولدت الكواكب حول الشمس بسبب انفصال الغازات من الشمس وبقيت تدور حولها. أما النجم الكبير فقد انفصلت غازات منه هو أيضاً واستمرت بالدوران حول هذا النجم لتشكل كواكب أخرى حوله.

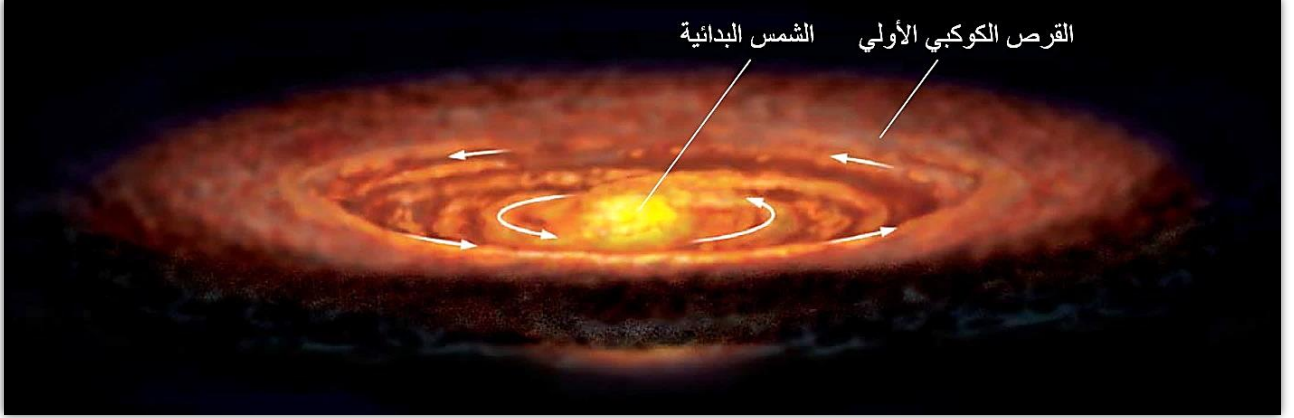
وهناك فرضية تذكر أن الشمس كانت في أول الأمر نجماً ضمن منظومة ثنائية تدور حول مركز ثقلهما المشترك، وما لبث أن انفجر أحد النجمين مولداً الكواكب وتوابعها.

وهناك الفرضية السديمية nebular hypothesis، وهي المعتمدة حالياً في الأوساط العلمية، وتنص على أن الشمس والكواكب تشكلت معاً نتيجة لانهايار سحابة من الغاز والغبار تحت تأثير جاذبية مادتها (لاحظ الشكل ٣-٦)، وتُعرف أيضاً باسم السديم الشمسي solar nebula، ويكون حجمه أكبر من حجم المنظومة الشمسية الحالية بعدة مرات. فرغم أن معظم كتلة مجرة درب التبانة تتمركز في النجوم، إلا أن الفضاء بين النجوم ليس فارغاً تماماً بل يحتوي على الغاز والغبار على شكل سحب متفرقة ووسط منتشر. وإجمالاً فإن 10% تقريباً من كتلة درب التبانة يتكون من غاز بين النجوم. وجسيمات الغبار أصغر بكثير من الغبار الأرضي. ولعل الأفضل تسميتها بالدخان.

وكان هذا السديم الذي تكونت منه المنظومة الشمسية في أول الأمر ذا درجة حرارية واطئة، ويدور حول محوره المركزي بسرعة بطيئة، وبالتدريج بدأ بالانكماش والتقلص تحت تأثير قوى جاذبه الذاتي. واستناداً إلى قانون حفظ الزخم تزداد سرعته عندما يقل نصف قطره نتيجة لانكماشه وتقلصه (وذلك لأن الزخم الزاوي يتناسب طردياً مع نصف قطره الدوراني وسرعته وكتلته، وإن قانون حفظ الزخم الزاوي ينص على أن مقداره ثابت لنظام معزول)، وهكذا فكلما زادت السرعة أصبح السديم أكثر تفلطحاً، أي يقترب شكله من شكل القرص بفعل القوة المركزية، ويستمر في الانكماش إلى أن تختل قوة التماسك بين جزيئاته، فتتغلب القوة المركزية على أجزائه وينهار المركز تحت تأثير الجاذبية فتزداد درجة حرارته وتبدأ التفاعلات النووية الاندماجية في الشمس الوليدة، ثم تنفصل حلقات كاملة من المادة من المناطق الخارجية للسديم وتندفع إلى الخارج، وتتخذ مدارات مختلفة السعة حول السديم المركزي الذي يستمر في الانكماش، وتبدأ جزيئات هذه الحلقات بالتكاثف بفعل الجاذبية، وتلتصق حبيبات الغبار الموجودة في القرص المحيط بالشمس البدائية مع بعض لتشكل أجساماً صلبة أكبر وأكبر. وبمرور الزمن تتكون الكواكب التي تدور حول مركز السديم الذي هو الشمس في مستوى واحد بنفس اتجاه دوران الشمس. وبنفس الطريقة تتكون التوابع حول كواكبها.



وتحدد اختلافات درجات الحرارة داخل القرص أنواع المواد التي يمكن أن تتشكل منها الأجسام الصلبة.



الشكل ٣-٦: رسم تخيلي عن الفرضية السديمية لتكوين النظام الشمسي.

ويعتقد أن القرص المحيط بالشمس كان مشابهاً إلى حد كبير الأقراص التي يراها علماء الفلك اليوم تحيط بالنجوم المتكونة حديثاً في أماكن أخرى من مجرتنا. ويشار إلى هذا القرص على أنه قرص كوكبي أولي protoplanetary disk. ومن المحتمل أنه يحتوي على أقل من 1% من كتلة النجم الناشئ في مركزه، لكن هذه الكمية كانت أكثر من كافية لتفسير نشوء الكواكب وبقية الأجسام التي تشكل النظام الشمسي اليوم.

## أسئلة

- (١) عيّد الشروط الأربعة لعِدِّ الجرم كوكباً قزماً في مجموعتنا الشمسية.
- (٢) لماذا عُدَّ بلوتو كوكباً بعد اكتشافه سنة 1930؟ ولماذا اعتُبر كوكباً قزماً سنة 2006؟
- (٣) احسب مدة دورة الكوكب أورانوس حول الشمس إذا علمت أن معدل بعده عنها  $19.2 AU$  وسرعته المدارية  $6.8 km/s$ .
- (٤) لماذا لا تحدث في المشتري فصول سنوية ملحوظة كالأرض؟
- (٥) احسب بعد مدار الكوكب زحل عن الشمس وعن مدار الأرض بالكيلومترات باستعمال قاعدة بود.
- (٦) احسب سرعة الإفلات من عطارد والمشتري. وبَيِّن سبب الفرق الكبير بينهما.
- (٧) قارن بين حجمي المشتري والأرض.
- (٨) احسب معدل كثافة كوكب زحل بوحدة  $(g/cm^3)$  إذا علمت أن كتلته تعادل 95 كتلة أرضية وأن قطره الاستوائي يساوي  $120500 km$ .
- (٩) علل ارتفاع درجة حرارة كوكب الزهرة مقارنة بعطارد رغم أن عطارد أقرب للشمس.
- (١٠) أيهما أكبر حجماً، حزام كايبر أم سحابة أورت؟ ولماذا؟
- (١١) قد تصل الحافة الخارجية لسحابة أورت إلى مسافة  $10^5 AU$ . بَيِّن أن هذا يعادل مسافة تقارب 1.5 سنة ضوئية.
- (١٢) ارسم مخططاً لمذنب نموذجي.
- (١٣) قارن بين الذنب الغازي والذنب الغباري للمذنب.
- (١٤) ما هي الشهب؟ وما هو فرقها عن النيازك؟
- (١٥) لماذا تكون الأرض بمأمن من خطورة أكثر الشهب بينما لا تتوفر هذه الميزة في القمر؟
- (١٦) تشير التقديرات إلى أن ما لا يقل عن 100 طن من المواد النيزكية تسقط على الأرض يومياً. هل يؤثر هذا على زيادة كتلة الأرض عملياً؟ ولماذا؟
- (١٧) لماذا لا يشكل الزخم الزاوي للشمس إلا نسبة قليلة من الزخم الزاوي الكلي للمنظومة الشمسية رغم امتلاكها 99.8% من الكتلة الكلية للمنظومة الشمسية؟
- (١٨) اشرح الفرضية السديمية لنشوء المنظومة الشمسية.
- (١٩) ما هو مقدار سنة المريخ مقاسةً بالسنين الأرضية إذا كان طول المحور شبه الرئيسي لمداره  $1.524 AU$ ؟
- (٢٠) إذا كانت مدة دوران أورانوس حول الشمس 84 سنة فاحسب بعد مداره عن مدار الأرض بالوحدات الفلكية.
- (٢١) كم تستغرق الإشارة الراديوية لمركبة فضائية قرب نبتون للوصول إلى مدار الأرض؟
- (٢٢) بالاستفادة من المعلومات الواردة في الجدول ٣-٢ احسب عدد أيام السنة لكل الكواكب.
- (٢٣) احسب نسبة كتلة المشتري إلى مجموع كتل بقية الكواكب.
- (٢٤) لماذا لا يتصادم نبتون مع بلوتو ما دام مداراهما حول الشمس متداخلين؟

## مصادر الفصل الثالث

- ١- فيزياء الجو والفضاء ج٢، د. حميد مجول وفياض النجم، 1981.
- 2- 21st century astronomy, Je- Hester et al, 3rd ed, 2010.
- 3- An Introduction to Modern Astrophysics, Bradley W. Carrol and Dale A. Ostlie, 2nd ed, -2007
- 4- Astronomy Demystified, Stan Giblisco, 2003.
- 5- Astronomy. Andrew Fraknoi, David Morrison and Sidney C. Wolff, 2016.
- 6- Elementary Astronomy-2013
- 7- Essential Astrophysics, Kenneth R. Lang, 2013.
- 8- <https://www.nasa.gov/>
- 9- Introduction to Astronomy and Cosmology-2008

## فهرست الفصل الثالث

| الصفحة | الموضوع                               |
|--------|---------------------------------------|
| ١      | ١-٣: تعريف الكوكب                     |
| ٣      | ٢-٣: نبذة مختصرة عن الكواكب           |
| ٧      | ٣-٣: خصائص كوكبية                     |
| ٧      | ١-٣-٣: القطر                          |
| ٧      | ٢-٣-٣: الكتلة                         |
| ٧      | ٣-٣-٣: الجاذبية السطحية               |
| ٧      | ٤-٣-٣: مدة الدوران المحوري            |
| ٨      | ٥-٣-٣: درجة الحرارة                   |
| ٨      | ٦-٣-٣: الغلاف الجوي                   |
| ٨      | ٧-٣-٣: البياض والسطوع                 |
| ٩      | ٤-٣: قاعدة بود                        |
| ١٠     | ٥-٣: الأقمار                          |
| ١١     | ٦-٣: الكويكبات                        |
| ١٢     | ١-٦-٣: حزام كايبر                     |
| ١٢     | ٢-٦-٣: سحابة أورت                     |
| ١٣     | ٧-٣: المذنبات                         |
| ١٥     | ١-٧-٣: مدارات المذنبات                |
| ١٥     | ٨-٣: الشهاب والنيازك                  |
| ١٧     | ١-٨-٣: الفوائد العلمية لدراسة النيازك |
| ١٧     | ٩-٣: أصل المنظومة الشمسية             |
| ٢١     | أسئلة                                 |