الفصل الرابع
استكشاف المجموعة الشمسية

4-1 : إستكشاف الشمس

4-2 : إستكشاف المريخ

4-3 : إستكشاف الزهرة

4-4 : استكشاف عطارد

4-5 : الكواكب العملاقة

4-6 : الكويكبات

استكشاف المجموعة الشمسية[8]

1-4 : إستكشاف الشمس :

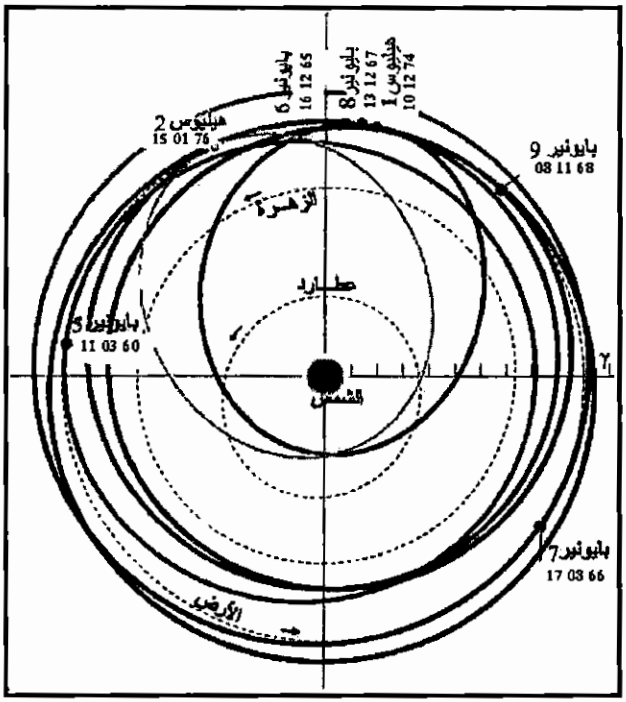
للهُرُوب مِنْ جاذبيةِ الأرضِ، تَتخذ المَسابرَ مسارات مبتكرة تُوسّعُ آفاقَ أرصاد الإنسانِ إلى أبعادِ مجهولةِ جداً.

لَيستْ كُلّ مركبات الفضاءِ التى وَضعتْ في مدار شمسيةِ يقصد بها إستكشافِ الكواكبِ. فُهدَفُ بعضُها تَحليل وسطِ بين الكواكبِ ورصدُ الظواهرَ على سطح للشمسِ الشكل (4-1). حيث يُقابلُ التدريج الأيمن من المحور الأفقي الذى يمر بالشمس 10 وحداتِ فلكيةِ ويعبر عن ابعاد الكواكب، كما توضح نقطة γ في النهاية اليمني من المحور الأفقى، إتّجاه نقطة الإعتدالِ الربيعي عام 2000 م. ويوضح الشكل أيضا مدارات عطارد والزهرة والأرض ومدارات مسابر بايونير 5، 6، 7، 8، 9 وهليوس 1، 2 وتاريخ اطلاق كل منها.

مسبار بايونير-5 كَانَ أولَ مسبار لهذه المهمّاتِ، فقدَ حْملُ أجهزة لدِراسَة الحقولِ المغناطيسيةِ، البلازما الشمسية والأشعة الكونية. شُكّلت المَسابر التالية، بايونيرُ-6 إلى 9، شبكة لرصدِ سطح الشمس. وكَانت هذه المسابر أفضل تجهيزاً وقادرة على عمْل دِراساتِ أكثرِ تفصيلاً للبلازما، بالإضافة إلى رصد سطح الشمسَ والإنفجارات الشمسية بالمنظارِ. وهذه المَسابرِ هى التي إكتشفتْ الذيل المغناطيسى للأرض (الناتج من تأثير الرياح الشمسية) وأجرتْ أول القياسَات الدقيقةَ لكثافةِ البلازما الشمسيةِ، بالإضافة إلى رصد مذنبَ كوهيتك **Kohoutek** وعملُ قياساتَ لمعرفة العلاقةَ بينهما.

---

8 هذا الباب من **"Fernand Verger, et al; The Cambridge Encyclopedia of space of Space;2003"**



الشكل (4-1).
مدارات مَسابرِ تدور حول الشمس.

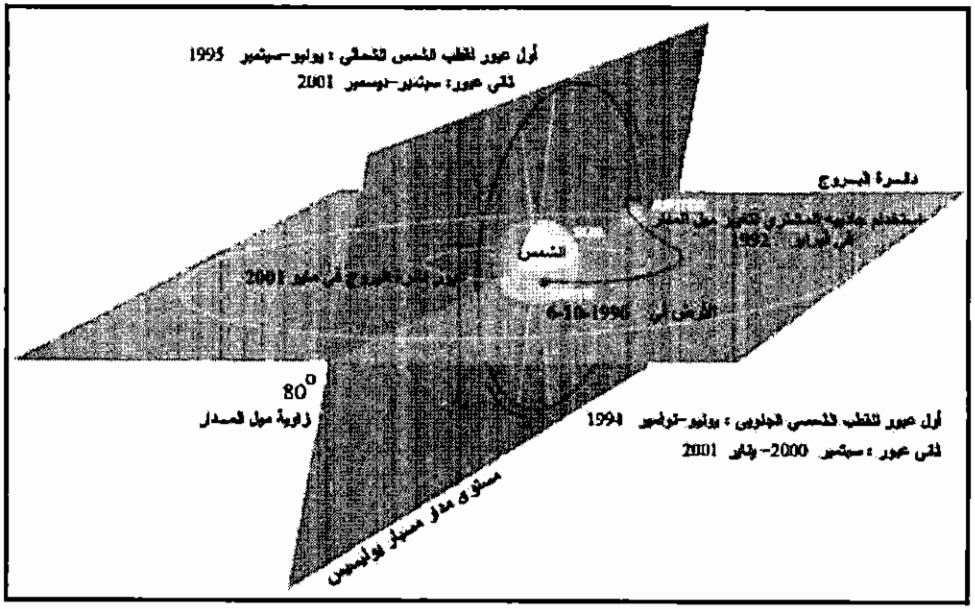
وتُلا ذلك مَسباران شمسيان ألمانيانِ. نقطتا حضيض مدارهما على بعد 45 إلى 48 مليون كيلومترٍ مِنْ الشمسِ، وهما أقرب الأجسامَ الصناعيةَ على الإطلاق مِنْ الشمسَ. ومهمتهما بالإضافة لدِراسَة الحقلِ المغناطيسي، دراسة البلازما الشمسية والأشعة الكونية، كما تَضمّنتْ كشفَ النيازكِ الدقيقةِ micro-meteorites و دراسة فوتومترية للضوءِ البروجي.

صممت رحلة المسبار أوليسيس ليتخذ مدار قطبي حول الشمسِ وعمل الأرصادَ الوحيدة التى تمت حتى الآن فى مستوى دائرة البروج. وكَانَ هذا مشروع مشترك بين وكالة الفضاء الأوربيةِ وناسا، وَعرف كمهمّة دولية لدراسةِ الأقطابِ الشمسيةِ في 1979. واطلق مسباران آخران فى إتجاهان متضادان. على أية حال، أهملت ناسا هذه المهمة في 1984. هذا يعَنى أنّ عدد معيّن من الأجهزة وإمكانيةِ عمل أرصاد مجسمةِ لحظيا تم إهمالها أيضاً. وبعد عِدّة تأجيلات، تم الإنطلاق أخيراً في 1990 بالمكوك الفضائي ديسكفري. تبعه أولّ تحليق حول القطبِ الشمسَى الجنوبيَ في 1994م، ثم التحليق حول القطب الشمالي في 1996، وامتدت مهمّة أوليسيس حتى 2001، وتم التحليق الثانى حول الأقطابِ في 2000 و2001. ويوضح الشكل (4-2) عبور المسبار أولا

فوق القطبِ الشمالي لكوكب المشتري، لإستغلال جاذبيه الكوكب لتعديل ميل مدار المسبار على دائرة البروج ليصبح 80°. وإذا تم ذلك التعديل بدون استغلال جاذبية المشتري سيحتاج المسبار سرعة إنطلاقٍ 42 كيلومتر في الثّانية لكى يوضع فى نفس المدارِ. ومثل هذه السرعةِ كانت فوق امكانيات صواريخ الإطلاقِ المتاحةِ فى ذلك الوقت.

يوضح الشكل (4-2) بداية إطلاق المسبار من الأرض في 6 أكتوبر 1990م وحركته ليتجه فوق كوكب المشتري ليغير ميله ويتخذ مدار جديد حول الشمس بزاوية ميل 80° تمكنه من المرور فوق القطب الشمالي والجنوبي للشمس وتوضح التواريخ موعد أول وثاني عبور فوق كل منها.

إحدى مشاريع ديسكفرى ناسا، تسمى التكوينِ Genesis، إنطلقَ في أغسطس 2001، لِيَدُورُ فى مدار قريب من الشمسَ لجَمْع جزيئاتِ من مادةِ الشمسِ وإحضارها إلى الأرضِ. وكان هذا المشروع ضمن ابحاث لجمع عيناتِ لكويكبات ومادّةِ المذنبات التي ستؤدى إلى فَهْم أفضل عِنْ السديم الشمسى الأولى.



الشكل (4-2). مسار أوليسيس: عبور المسبار فوق القطبِ الشمالي للمشتري، ليغير ميل مداره.

2-4 : إستكشاف المريخ :

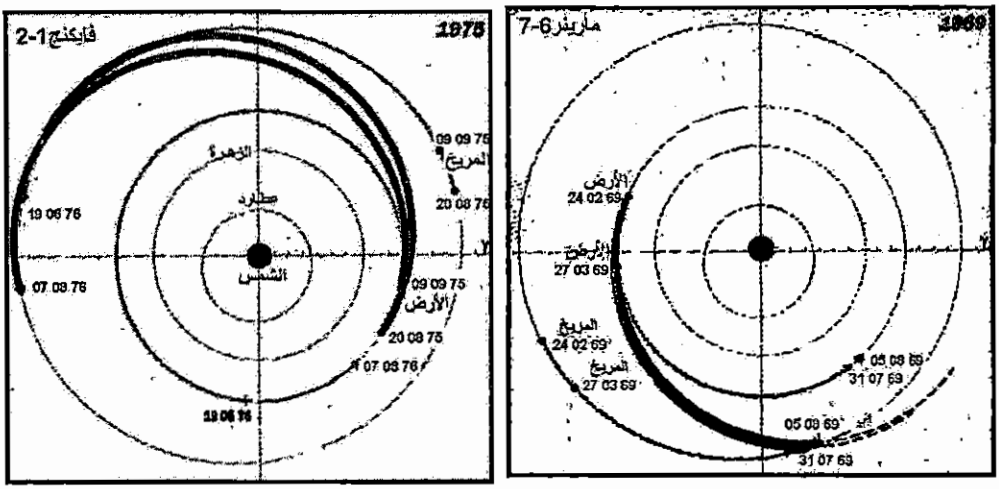
في بدايات استكشافات كوكب المريخ فقد الإتصال بالمَسابرُ السوفيتيةُ المريخ1 وزوند2 قبل تحليقِهما بالقرب من المريخَ. كانت مارينر4 أول مِسبارٍ يمدنا بمعلومات عنُ هذا الكوكبِ، على شكل صور فيديو، وقياسات للمجالِ المغناطيسي والضغطِ الجوّي. يوضح الشكل (4-3) مسار رحلات مارينر 6 و 7 ، أرسلُتا 75 و 126 ْ صورةِ للمريخ، على التوالي، بالإضافة إلى أول صورة لقمر المريخ فوبوس (مارينر 7).

أطلقَ السوفييت مِسباران في عام 1971م وأربعة مسابر في عام 1973: تم ارسال صور قليلة مِنْ مسبار المريخ 2 &3 المداريان . ارسل مسبار المريخ-5، 70 صورة عالية الوضوح والجودة لجزءٍ من نصف كرة المريخ الجنوبيةِ، وتم عمل قياسات للغلاف الجوّى بعد هبوط مركبة على سطح الكوكب من المسبار المريخ-6 التي اكتَشفتْ تركيز عالي مِنْ غاز الأرجونِ فى الغلاف الجوى. توقفت محاولاتَ السوفيتيَ حتى عام 1988 حيث تم ارسال رحلات إلى القمر فوبوس.

على النقيض من ذلك، كانت الرحلات الأمريكية بين 1971- 1975 ناجحة تماماً. فيُنْسَبَ إليها فضل أغلب معلوماتنا الحالية عن المريخ. أُطلقَت مارينر-9 بعد مسبار المريخ-2 وكَانَت أول مَنْ يَتخذَ مدارَ حول الكوكب، ويرجع الفضل إلى مرونة برنامجه، حيث كَانَ قادرا على الإنتِظار حتى تنتهى العاصفة الرمليةِ على سطح الكوكب قبل إرْسال 7323 صورةَ غطّت 90 % مِنْ سطح الكوكبَ. حصّلَت مارينر-9 أيضا على صورَ للقمرين فوبوس وديموس، كذلك عمل قياسات عن الضغطِ الجوّي ودرجةِ حرارة سطح الكوكبِ.

مع رحلاتِ فايكنجَ الشكل (4-3)، أنزلَ الأمريكان أول مركبةِ هبوطِ لهم على المريخ. وهكذا حَصلوا على سلسلة من البياناتِ عن التركيبِ الجزيئي للجوِّ، الكثافة، ودرجات الحرارة والضغط علىْ إرتفاعْ 90 كيلومترِ، والرياح على سطح الكوكب والتحليل الكيميائي للسطح. ولقد بحثوا دون جدوى عن آثارِ لنشاطِ حيوي. واستنتجوا لاحقاً أنَّ الظروف الفيزيائية والكيميائية على السطح تُمحوُ أيّ دليل عن آثار الحياةِ الماضيةِ. والفرصة الوحيدة لتَحديد مكان أيّ من هذه الآثار تَكْمنُ في البحث فى الأعماقِ تحت سطح الكوكب. بالإضافة إلى تصوير القمر ديموس، غَطّتْ المسابر المدارية حول الكوكب تصوير سطحَ الكوكبَ بعمل فسيفساء مِنْ 2500 صورةِ كما انجزت مسحا حرارياً لسطح الكوكب.

ولقد استكمل إستكشاف المريخ مرةً أخرى عام 1988 م برحلات واجهتها سلسلة من الفشل. وكَانتْ الرحلة الأولىَ للسوفيتَ للقمر فوبوس.



الشكل (4-3). بعض رحلات استكشاف المريخ.

حيث شملت مسبار مدارى حول القمر، ومركبة للهبوطِ على سطحه ملحق بها جهاز ثاقب للتربة، ومركبة هبوطِ للتجول عبر سطح القمر في مساحة قطرها 20 مترِ. ولسوء الحظ، فشل المسبار الأول فى ارسال القياسات التيليمترية وفقد المسبار الثانى الإتصالُ بالأرضِ عند وَصولهُ قربَ كوكب المريخَ. النَتائِج الوحيدة التى تم الحصول عليها كانتْ قياسات للكرة المغناطيسيةَ للكوكب وأرصاد طيفية فوتومترية للأشعة تحت الحمراءِ لمناطقِ محددة من سطح المريخ.

اطلق المسبار الأمريكى (راصد المريخ) Mars Observer عام 1992م لكن قطعت الإتصالاتَ به قَبْلَ أَنْ يدَخلَ المسبار مدار المريخَ في أغسطس 1993. كانِ الهدف الرئيسي لهذه المهمّةِ التي تكلفت 980 مليون دولار، وضعْ خرائطٍ دقيقةً عِنْ الكوكبِ. والرحلة الروسية إلى المريخ، التي شارك فيها أكثر أعضاء وكالة الفضاء الأوربية ESA ، أجلت لمدة طويلة بسبب انهيارِ الإتحاد السوفيتي. واطلق أخيرا مسبار المريخ 96 ، بإمكانيات أقل طموحا مما خطط له من قبلِ، وانتهى بالفشل في المحيط الهادي بعد الاطلاقِ مباشرة في نوفمبر 1996.

بعد فشلِ مسبار راصد المريخ، أعادَت ناسا التفكير فى شكل برنامجَ إستكشافِ المريخَ واتجهت نحو المَسابر ذات الوزن الخفيفَ وانتجت مسابر سيرفوير Surveyor. واطلق سيرفوير في نوفمبر 1996، ليَدْخلُ مدارَ المريخ القطبي في 12 سبتمبر 1997. وأطلق المِسبار الأمريكي باثفايندر pathfinder، في ديسمبر1996، الذى نَجحَ في الهبوط على سطح المريخ في 4 يوليو 1997، بإستعمال مِظَلاتِ وأكياس هوائية.

بَدأ سيرفوير فى أَخْذ البياناتِ فى منتصفِ مايو 1999، بعد مرحلةِ تقليل سرعته التي كَانتْ أطولَ مِما كانْ متوقّع لها بسبب الفتح الجزئي للوحة الخلايا الشمسية. حَملَ المسبار أربع أجهزةِ رئيسيةِ. آلة تصوير تتيح صورة يومية ذات زاويةِ تصوير واسعةِ وصور ذات درجة تباين تصل إلى 1.5 متر، لكي يَرْسمَ الخريطةَ الدقيقةَ التي لم يتمكن مسبار راصد المريخ من إتمامها. وجهاز قياس ارتفاعات ليزرى ليمدنا بقراءات للإرتفاعاتَ. والمقياس الطيفى للإشعاع الحرارى أنتجَ مسح حرارى بالأشعة تحت الحمراء. وجهاز قياس مغناطيسية الكوكب وجهاز قياس عاكسية الإلكترونات لقياس المجال المغناطيسى على مستوى سطح الكوكب وأيضاً في طبقة الأيونوسفير لجو المريخ. الذى كَشفَ فى طبقات القشرة المريخية عن دليل على مجال قطبى قديم نتج من تأثير لب الكوكب.

أنزل مستكشف المريخ عربة آلية تسمّى سوجورنر Sojourner ذات ست عجلاتِ صغيرةِ على سطح المريخ. كَانَت مُجهّزة بزوج من آلات التصوير المجسمة ومقياس طيفى ألفابروتون، كلاهما ألماني التصميّمَ، والأخيرة يرافقها مقياس طيفى للأشعة السينية أمريكية الصنع َحَملَت المركبة التى هبطت على الكوكب هوائى لإرسال البيانات، مع مستشعرات لقياس درجةِ الحرارة، الضغط والرياحَ.

على النقيض من ذلك، إرتبطَت رحلة 1998 بكارثةَ، حيث تحطمت مركبة دراسة مناخ المريخ المدارية أثر مناورة خاطئة مما تسبب فى تحطمها على سطح الكوكبِ، وما زالَ صمتاً غير مفسر عن مركبةُ المريخ المدارية القطبيةِ.

أخيراً، في يوليو 1998، أطلقت اليابان المسبار نوزومى Nozomi لرصد الغلافِ الجويِّ العلوى للمريخ، وبيئته المُؤَيَّنة وحقله المغناطيسي. وواجه المسبار صعوبات وجهته فى اتجاه مسار الخروج من جاذبية الكوكب

بنِهايةِ 1998،وتم ايجاد حل بديل لعودة المسبار للمريخ مرة أخرى من أكتوبر 1999 إلى ديسمبر 2003.

أعادت ناسا مجددا إستكشافِ المريخَ ضمن إطار برنامج مستكشفِ المريخَ في أكتوبر 2000، بعد فشلين في 1998،. وهذا تَشْملُ:

1- المسبار اوديسيا المريخ تم اطلاقة فى 7 أبريل 2001، وأخذ مدار حول المريخ في ساعتين. كانت أجهزته تشمل نظام تصوير للإشعاع الحراري، آلة تصوير ذات درجة تباين عالية. ومقياس طيفى للأشعة تحت الحمراءِ الحراريةِ صمّمتْ لدِراسَة جيولوجيا الكوكب والبحث عن الثروة المعدنية فيه. ومقياس طيفى لأشعة جاما لتحديد العناصر الكيميائيةِ، وبشكل خاص الهيدروجين تحت السطح، وجهاز MARIE لدِراسَة الإشعاع على مقربة من الكوكبِ.

2- إرسال عربتى مستكشف المريخ الجوال في 2003.

3- إرسال مستطلع المريخ المدارى Mars Reconnaissance Orbiter في 2005، للحصول على أرصاد عالية الجودة (من 20-30 سنتيمتر).

4- إرسال مختبر عِلْمِى متنقلِ في 2007، للرحلات الطويلة بعيدة المدىِ، خاصة للتجهيز لرحلات جلب عينات من المريخ للأرضِ.

5- مهمتا عودةِ عيّناتِ خطط لإنجازهما فى 2014 و2016. الأولى تم اطلاقها فى 2011 ، من خلال التعاونِ مَع CNES و ASI ، وتتضمن إحضارِ وعودةِ العيّناتِ.

بصرف النظر عن الرحلات الرئيسية، تترقب ناسا خطة لرحلةِ 'المستكشفِ' Scout التي ستَضعُ مستشعرات في عربات جوالة صغيرة على الكوكب.

خطّطَت ناسا أيضاً لشبكةً إتصالات بين المريخ والأرضِ تعتمد على مسابر متزامنة مع المريخ (دورتها حول الكوكب لها نفس دورة الكوكب حول محوره) توضع فى مدار حولهِ. ومسبار المريخ السريع Mars Express مُجهّز بسبعة أجهزة : جهاز لدِراسَة التفاعلِ بين الرياح الشمسيةِ والغلاف الجوّي للمريخ، وجهاز مسجلِ لصور ملونة مجسمة ذات درجة تباينِ عالية تصل لمترِ واحد، ومقياس طيفى لرسم خرائط الأشعة تحت الحمراء لمعادن سطح الكوكب وتركيب الغلاف الجويِ، وجهاز لقيَاس التغيراتِ في الجاذبيةِ

والضغطِ ودرجةِ الحرارة باستخدام الموجات الراديوية، ومقياس فورير الطيفى لقيَاس توزيع بخار الماءِ، وجهاز لقياس طيف الأشعة فوق البنفسجية لمعرفة التركيبِ الجوّي وقياسِ الأوزون، وجهاز لقياس الإرتفاع بواسطة رادار صوتِى للكشف عن الثلج، والماء أو الأرض الجافة على عمقٍ مِنْ كيلومترين إلى ثلاثة. ومركبة هبوط صغيرة، تسمى كلب الصيد-2، لتَبْحثُ عن آثارِ نشاطِ حيوي من تحليلِ عيناتٍ تم الحصول عليها من الكوكب. سَتَكُونُ مُجهّزة بآلة تصوير ومستشعرات جوّية.

أخيراً، هناكُ هدفُ آخر حى فى الأذهان، هو إمكانية اطلاق رحلة برواد فضاء الى المريخ، إلا أن هذا الهدف مؤجل الى للمستقبل البعيد.

3-4 : إستكشاف الزهرة :

كان السوفييت الأوائل فى التحليق بالقرب من كوكب الزهرة بالمركبة فينيرا-1 **Venera-1**، رغم أنّها فَقدَت الإتصالَ قبل تحقيقها هدفِ الرحلة، وهذا ماحدث بعد ذلك للمَسابر السوفيتية الأربعة التالية. لذلك، حصل الأمريكان على سبق الحصول على ارصاد لكوكب الزهرة بمسبار مارينر-2. ولقد إبتكروا أيضاً وطبقوا طريقةَ الإستتار حيث يمكن الحصول على بيانات عن الكثافةَ ودرجةَ الحرارة الخاصة بجوَّ الكوكب مِنْ دراسة التشوهِات التى تحدث لإشارة يبثها المسبار عند مرورهُ خلف الغلاف الجوّىَ للكوكب. ولقد طبقت هذه الطريقةِ بشكل منتظّم مُنذُ ذلك الوقت.

مَع فينيرا-4 ، بدأ العلماء السوفيت فى استخدام مسبار يحلق قرب الكوكب وانزال مركبة على سطحه، بذلك تم الَحْصولُ على أول نَتائِجِهم. وقد إكتشفوا هالةَ الهيدروجينَ حول كوكب الزهرةِ وحَصلوا على أول مخطط لدرجةِ الحرارة والضغطِ للغلاف الجوّي، بالإضافة إلى اجراء تحليل كيميائى للغلاف الجوى. وكان يتم تطوير وحدة الهبوط فى كل مهمة جديدة، حتى مَع فينيرا-8 التى اصبحت تقاوم درجة الحرارة والضغط على سطح الكوكبِ (450 ° ، 100 ضغط جوىّ) وارسلت اول بيانات عن تحليل تربة الزهرة.

واطلق السوفييتِ فينيرا-9 ، التي تَضمّنَت مسبار يحلق قرب الكوكب ووحدةِ هبوطِ التى إستبدلَت فى مهمات فينيرا-15 و16 بنظام راداري. ولقد جهزت الوحدة بذراع آلية لأَخْذ العيناتِ من سطح الكوكب في مهمات فينيرا-13و 14، وأيضاً فى مهمة المسبار فيجا. ولقد انزلت منطاد جوّي الشكل (4-4). وكان الانجازات الأساسية هى تحليل غازات الغلاف الجوى و العواق

aerosols، والكشف عن احتمال حدوث البرق ، والحصول على بيانات عن حركة الغلاف الجويِ، التركيب الكيميائي للغطاء الصخري (فينيرا **13** و14و فيجا **2**)

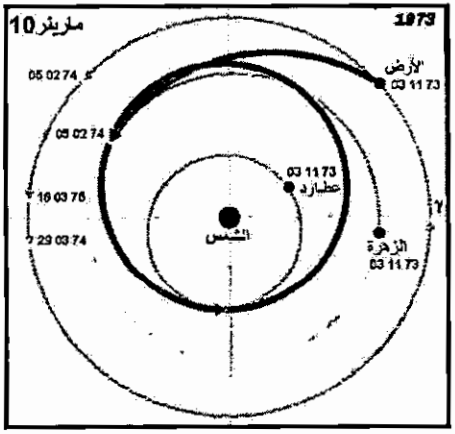
الشكل
(4-4)
هبوط وحدتي فيجا-1 &2: مراحل الهبوطِ في الغلاف الجوى للزهرةً. أطلقاَ في 11& 15 يونيو 1985.

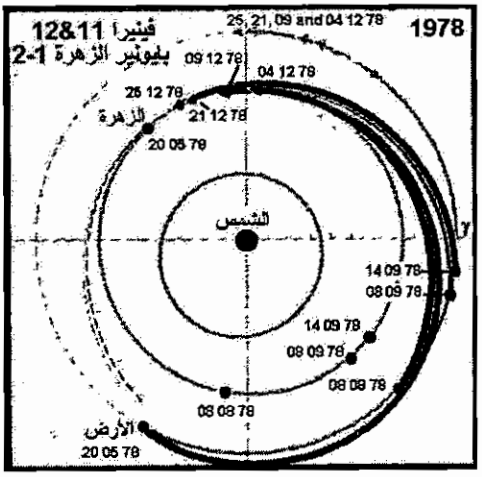
وكثافته (فينيرا 9 و10)، النشاط الزلزالي (فينيرا 13 و14)، تصوير السطح (فينيرا 9 و 10 و13 و14) ومسح رادارِي (بدقة 1.5 كم إلى 2 كم) وخرائط حراريه لنِصْفِ نصف الكرة الشمالي للكوكبِ (فينيرا 15و16).

بين عام 1962 وعام 1974، تابعتْ الولايات المتّحدةَ أرصادها الخاصةِ لكوكب الزهرة. استخدمت ارصاد مارينر-5 ملاحظاتَ لحِساب نصفِ القطر الإستوائي، بينما استخدمت بيانات الأيونوسفير مع ارصاد المغناطيسية الطبيعية الضعيفة لصنع نموذج أصلي للتفاعلِ بين الأيونوسفيرِ والرياح الشمسيةِ. رغم أنّ مارينر-10، كانت مجهزة لرصد كوكب عطاردِ حيث مرت على بعد 756 كم من

عطارد في 29 مارس 1974 وعلى بعد 48069 كم في 21 سبتمبر 1974 وعلى بعد 327 كم في 16 مارس 1975، إلا أنها أرسلت 3500 صورَة فوق البنفسجيةَ عندما حلقتِ على بعد 5760 كم من الزهرةَ في 5 فبراير 1974 الشكل (4-5)، وبذلك وسعتْ معرفتنا كثيراً عن الحركاتِ واسعة النطاقِ في الغلاف الجوّي الأعلى للكوكبِ.

ولقد أطلقت مركبة فيجا وهي في طريقها لمذنب هالي عندما اقتربت من كوكب الزهرة كرة تحتوي على جزئين أحدهما مركبة تهبط على الزهرة والآخر بالون يحلق في سحب الكوكب على ارتفاع 54 كم. ولقد انقسمت الكرة إلى نصفين أحدهما سفلي سقط بفعل جاذبية الكوكب والآخر علوي متصل بمظلة لتقليل سرعته. هبطت مركبة الهبوط بمساعدة مظلة حتى تقلل من سرعة هبوطها إلى أن اقتربت من السطح فتم غلق المظلة وتحررت المركبة منها





الشكل
(4-5)
مسارات الرحلات تجاه كوكبي الزهرة وعطارد في عامى 1973 و 1978.

واستقرت على السطح بأمان. أما البالون فيكون فارغ في البداية وملحق به ثقل ومظلة ليساعداه على الهبوط إلى الإرتفاع المطلوب ثم ينفخ البالون ويلقي بثقله بعد فترة حتي يستطيع البالون التحليق في جو الزهرة ووسط سحبها.

بعد فترة توقف استغرقت حوالي عشْرة سَنَواتٍ، عادتْ الولايات المتّحدةَ إلى كوكب الزهرةِ برحلتين: بايونير الزهرة وماجلان التي أمدتنا بأكثر البياناتِ فائدةِ تم الحصول عليها حتى الآن مِنْ الكوكبِ.

انطلقت مركبة بايونير الزهرة المدارية-1، في 20 مايو 1978 الشكل (4-5)، رسم خريطة راداريةِ عمودية لمساحة 83 % مِنْ سطحِ الكوكبَ، تصل دقتها إلى حوالى 200 متر، بالإضافة إلى تصويرالسحب في طبقات الجوّ العليا، وتم تقدير الكثافةِ والجاذبيةِ. بالإضافة، لتكملةَ ارصاد مارينر 5 و 10 عِنْ التفاعلِ بين أيونوسفيرِ الزهرة والرياح الشمسية.
إنطلقَت مركبة بايونير الزهرة-2، في 8 أغسطس 1978، أحتوت على مركبة نقلِ (أو حافلة) وأربعة مَسابر دخولِ للكوكب. الأول يحَلّل الجوّ بين إرتفاعاتِ 150 إلى 115 كيلومتر قبل تَحْطمها. دَرستْ المَسابرُ الأربعة درجةُ الحرارة والضغطُ وتركيبُ السحب والغازِ في طبقات الجوِّ السفليِ.

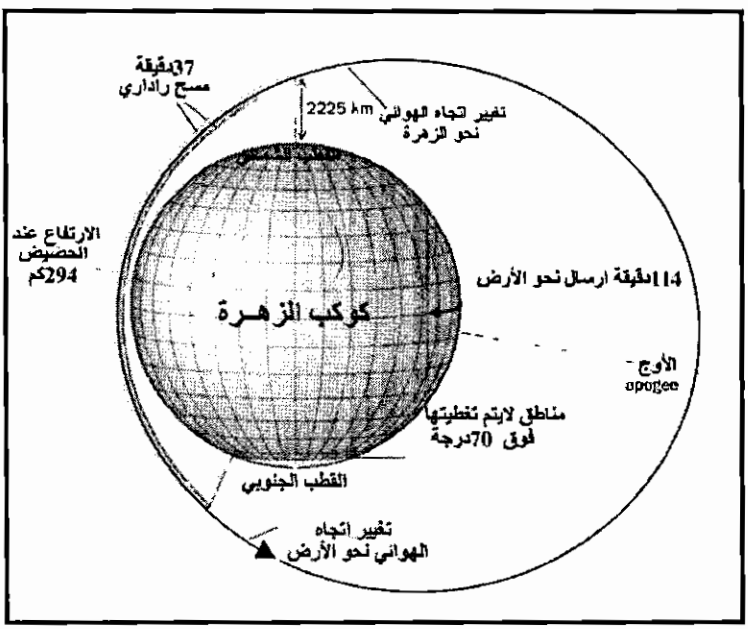
مركبة ماجلان أُطلقَت في 4 مايو 1989 ودخلَ فى مدارِ حول الزهرةِ في 10 أغسطس 1990 الشكل (4-6). إتخذ مسبار ماجلان مدار شبه قطبي ليتمكن من تغطية الكوكبَ الذي يَعْبرُ تحته أثناء يومِ الزهرة بالكاملَ تقريبا، ويستغرق يوم الزهرة 243 يومَ أرضيَ. تَدُورُ الزهرةُ حول محورها في اتجاه تراجعُيا (عكس اتجاه دوران الأرض حول محورها أي في اتجاه دوران عقارب الساعة). لذا يحَدثَ العبور المتتالي في اتجاه عكس اتجاه عقارب الساعة prograde . كَانتْ دورة ماجلان المدارية 3س 15 ق ، يستغل من هذا الوقتِ 37 دقيقةُ لتصوير سطحِ الزهرةِ. على أية حال، البَدْء بالتَصوير في الأوقاتِ المختلفةِ، توزع المساحاتَ التي يتم تصويرها على خطوطِ العرض المختلفةِ.

حققت ماجلان عِدّة نَتائِج مهمة، رغم أنها كانت تحَمْل جهاز واحد فقط. غَطّى تقريباً 98 % مِنْ سطحِ الزهرة بخرائط راداريةِ، بدقة تصل إلى˚ 100 متر قرب الحضيض و360 متر عند القطبِ. بالإضافة إلى عمل مسحَ راداري للإرتفاعات لدقة عمودية تصل إلى 30 متر وحسابُ درجةَ حرارة السطحَ بدراسَة عاكسيةٌ أرضِ الزهرة لموجاتِ الرادارِ. وطوبوغرافية الزهرةِ تم الحصول عليها مِنْ تغطيةِ رادارِ ماجلان. حيث تقع القارة الرئيسية، المسمّاة أفرودوتِ (الاسمِ اليوناني للزهرةِ)، جنوب خطِ الإستواء. والقارة الثانية،

عشتار (الاسم البابلي لها)، تَقعُ في نصف الكرة الشماليةِ، وجبال ماكسويل أعلي قمّة علي الكوكب إرتفاعِها 10800 مترِ. إنّ مستوى قياس الإرتفاعاتِ كرةهو نصفِ قطرها 6051 كيلومترَ يُقابلُ متوسط سطح أرض الزهرة.

إن التماثل الكبير بين الزهرة والأرض في الحجم والكثافة أظهر العديد مِنْ المقارناتِ التكتونية والظواهر البركانية التى تَحْدثِان على الكوكبين. وبشكل خاص، الصور التى ارسلها مسبارِ ماجلان والتي أُستَعملُت للبَحْث عن دلائلِ عن حركاتِ تكتونية. بَعْض التراكيبِ الدائريةِ المُميّزةِ، المعروفة بالهالةِ، تم رصدها على سطحِ الزهرةِ، بقياس عِدّة مئات من الكيلومترات عبر الكوكب. هذه التشكيلاتِ الغريبة جداً تفسير عام لإرتفاع الحمم البركانية الذائبةِ مِنْ العباءةِ. للحصول على بياناتَ أكثرَ تَتعلّقُ بهذه الفرضيةِ، وقد خفّضَت ناسا استطالة مدارِ ماجلان في نهايةِ مهمّتِها.

بالرغم من أن الزهرة لم تزل مبهمةً فى العديد من النواحِى، فلم تحدد وكالاتِ الفضاءِ المُخْتَلِفةِ مهماتَ قريبةُ بشكل واضح ، ما عَدا مهمّةِ مختبرِ



الشكل (4-6) مدار مسبار ماجلان حول الزهرةِ.

الزهرةِ ناسا، بين 2005-2010. على أية حال، هو يُؤكّدَ على أنّ مركبة بايونير الزهرةَ الأمريكيةِ ومركبة ماجلان حصلتا على حصاد كبير مِنْ

البياناتِ التي يَستغرقُ استغلالها بالكامل بَعْض الوقتِ. الخرائط المُفصّلة للزهرةِ الجاري تنفيذها حالياً في مركز المسح الجيولوجي الأمريكيِ سَيَتطلّبُ الكثير مِنْ التفسيرِ والمتوقع استغراق سَنَوات قادمة.

4-4 : استكشاف عطارد :

رصد مِسبار فضائي واحد فقط مارينر-10 كوكب عطارد، وأطلق هذا المسبار في إتّجاهِ الزهرةِ لإستخدام جاذبيتة للإنحرفَ نحو عطارد، لتُوفيّرَ الطاقةَ. بدون هذا المسارِ المبدعِ، كانت المركبة ستحتاج الكثيرَ من الوقود الدافعُ للرحلة، ولا توجد مركبةَ إطلاقِ أبداً قادرة على وَضْع المسبارِ في هذا المدارِ. استخدمت نافذة 1973ُ لإطْلاق مارينر-10، وادخل المسبار فى مدارِ شمسيِ بيضاوى بدورة ضعف دورةِ عطارد. وبهذه الطريقة، كان الكوكب يحلق عاليا كُلّ 176 يوم. حيث يُكملْ عطارد ثلاث دوراتَ حول محورِه مقابل كُلّ دوررة حول الشمسِ، لذَلك فإن المسبار يرصد دائماً نفس الموقعَ الشكل (4-7).

استمرت الإتصالات بالمسبارِ أثناء العبور القَريبِ في الثلاثة مرات الأولى. لكي يتم تَجْميعَ بياناتَ الحقلِ المغناطيسي، لابُدَّ أنْ يَطِيرَ المسبار قرب الجانبَ الليليَ، بينما كَانَ منَ الأسهلَ الطيران فوق الجانب المضىء لأَخْذ الصورِ. من الناحية الأخرى، من المهمُ لمقارنة الخواص الفيزيائية للكوكب رصد المجالات المغناطيسيةِ حول الأرضِ وعطارد، حيث انهم أقوياء جداً في هاتين الحالتين، بينما لاتوجد هذه المجالات في المريخِ والقمر. أتمت مارينر-10 أيضاً قياسات لدرجةِ الحرارة السطحيّةِ على عطارد التى أظهرت عدم وجود غلاف جوي، بالرغم من وجود بعض آثار لغاز الهليومِ.

على الرغم مِنْ القيودِ الكثيرة بسبب المسارِ، كَانَ المسبار قادر على جَمْع 5500 صورةً باستخدامُ كاميرا تصوير تلفزيونية عالية الدقة، استخدمت منها 1838 صورة للأغراضِ الطوبوغرافية (أفضل درجات الوضوح فى حدود 100 متر)، غطّت هذه الصور 57 % مِنْ سطحِ الكوكب المواجه للشمس.

رسمتَ الخرائط المجسمة الطوبوغرافية عطارد جزئياً بشىء من التفصيلِ. وكان من المطلوب تحديد اسماء مواقع سطح عطارد بالكامل حيث أنه لا شيءِ مُعروفَ مسبقاً عِنْ سطحِ عطارد. أعطىَ الفلكيون أسماء مشاهير فى مجالات عديدة ، عاشوا في فتراتَ زمنية وبلدان مختلفة للظواهر على سطح الكوكب، مثل جويا، وبيتهوفن و زولا، بل إن الفوالق والصدوع الرئيسية اطلق عليها أسماءَ شيبارلي وانطونيادس. المنحدرات الهامّة جداً على عطارد سمّيت على اسماء

الزوارق الشراعية لمستكشفين مشهورين (متحدر فيكتوريا أُخذُ اسم سفينةِ ماجلان) بينما تَحْملُ أسماء العديد مِنْ الأحواض نفس اسمَ كوكب عطارد، لكن بلغاتٍ مختلفةٍ.

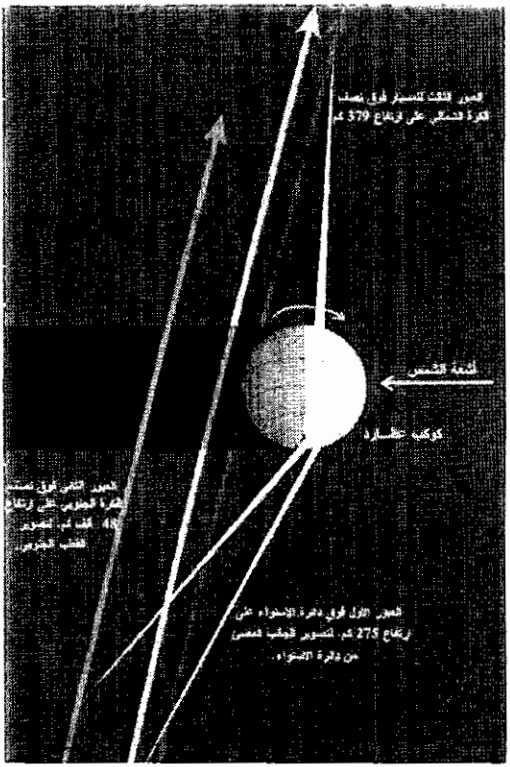
إنّ المنظر الطبيعي لعطارد مشابه على نحو مُدهش للمنظر على سطح القمرِ. فهو مُكَوّنُ من السهولِ المُظلمةِ الناعمةِ التي تَقَعُ بين هضبات مغطاه بالحفرَ. إنّ الحُفَرَ تصبح أكثر عددا كلما صغر حجمها، وهذا يُمثّلُ توزيعَ حجمَ الأجسامِ البين كوكبية التى صنعتها تلك الحفر. حيث وصل قطر بعضها إلى عِدّة مئات مَن الكيلومترات، أكبرها كُانَ حوض كالوريس Caloris، حيث قطره 1300 كيلومتراً.

أصل أسم كوكب عطارد الكلمةِ اللاتينيةِ 'ساخنة'، حيث أن الشمسَ تقع مباشرة فوقه أثناء مروره المتعاقب عند الحضيضِ، وتَرتفعُ درجةَ الحرارة بشدّة فى مثل هذه الأوقاتِ. واهم التضاريس للكوكب تلك الحفرةِ الهائلةِ التى كَانُ سببها سقوط نيزكِ كبيرِ جداً، ونتيجة لذلك تجعدت المنطقة المحيطة وُتصدّعُت. نفس الظواهر الفوضويةِ يُمْكِنُ رصدها على الجانبِ المقابل للكوكبِ ويُعتَقدُ أنّ الموجاتِ الزلزاليةِ تولّدتْ بتأثيرِ الإرتطام التى رُكّزَت بالضبط في هذه النقطةِ المقابلةِ عند عُبُورها خلال الكوكبِ. وبمقارنة الأقطارِ، نجد أن الحُفَر أكثر ضحالة مِنْ تلك التى على القمرِ، والحُفَر الثانوية في المتوسط أقربِ إلى الحُفَرِ الرئيسيةِ مقارنة بالتى على القمرِ. هذه الظاهرتان بطريقةٍ ما يَجِبُ أَنْ تَكُونا مرتبطتان بالجاذبيةِ الأقوى على عطارد. وتشكيل عطارد متميز بالمنحدراتِ التكتونية الهائلة، التى تُصُل إلى أكثر مِنْ 1000 متر فوق المناطق المنبسطة المحيطةِ وتُمدّدُ في خطوطِ مستقيمةِ لمِئاتِ الكيلومتراتِ.

يمكن تأريخ التضاريس المختلفة بالكثافةِ، درجة التداخلِ والمظهرِ البالي للحُفَرِ الواقعة عليهم. إن الدراسة الدقيقة تُؤدّي إلى تأريخ جيولوجي لعطارد، موضحا بأنة مَرّتَ أولاً فترة قصفِ حادّ بالنيازكِ، تَلاه فترة هدوءِ نسبي دامَ 3800 مليون سنةِ. يُقارنُ هذا التأريخ للأحداث بمثيلتها المعروفُه عن القمرِ، فنجد أنّ المراحلَ الرئيسيةَ للقصفِ النيزكي رُبَما حَدثتْ بشكل آني في كافة أنحاء النظام الشمسي.

كررت ناسا وإيسا (وكالة الفضاء الأوربية) الزيارة لعطاردِ. حيث مركبة الرسول كانت مشروع إستكتشافي انطلقت من الأرضِ فى مارسِ 2004 ووصلت في سبتمبرِ 2009، بعد التحليق بالقرب من الزهرةِ والأرضِ. ورحلة إيسا لعطارد، لم يحدد تاريخَ اطلاقها بعدَ.

إن مهمّةُ إسْتِكْشاف الأجسام السماوية الأكثرِ بُعداً في النظام الشمسي (ما بعد المريخِ) صعبةٌ. حيث التقنية المتقدّمة والتَمويل المادى الكبير ضروريان.



الشكل
(4-7).
التحليقات الثلاثة لمارينر-10 قرب عطارد. يتم رصد نفس نصف الكرة التي تضيئه الشمسِ أثناء فترة بعد الظهرِ لكوكب عطارد بينما يقترب المسبار مِنْ الكوكبِ وأثناء صباحِ عطارد ينسَحبَ المسبار بَعيداً.

أثناء الستّيناتِ ظهرت فرصة فلكية نادرة عَلى وَشَكِ الَحْدوثَ، ولا تتُكرّرُ إلا بعد 175 سنةً. وهى إصطفاف بعض الكواكب لفترة قصيرة مما يتيح للمركبة الانطلاقَ نحو المشتري ثم مُوَاصَلَة طريقِها نحو الخارج إلى زحلِ واورانوسِ ونبتونِ، قبل تَرْك النظام الشمسي. وخطط الإنطلاق في 1977 في مشروع طموح مِن قِبَل ناسا، بعنوان الجولةِ الكبيرةِ. وكان أصلِ المشروع، خاص بالذكاء الصطناعي وللحمايةِ من الإشعاعِ وتأثير الارتطاماتِ، وكَانَ مشروع متطوّر جداً ومكلف كِذلك. وتم برمجة المركَبتين بايونير 10 و 11 كمقدمة لمركبة الجولةِ الكبرى الشكل (4-8).

وفي عام 1972، أتخذ قرار بدء برنامجِ المكوك الفضائي، وبذلك أنتهي عصرِ برنامجِ أبولو لغزو الفضاءِ. وترك برنامج الجولة الكبيرى الطموحْ. واستبدل بمركبةً أقل تكلفة وأقل أهمية، مارينر المشتري- زحل، التي أصبحَت فوجيير 1

& 2. أطلق علي هذا المشروعِ لاحقاً الجولةَ الكبرى أيضاً. هكذا، وحتي 1990، فقط كان برنامجان، كُلّ واحد محدد بمِسبارينِ، كَانا سيَستكشفُان النظام الشمسي ما بعد المريخ. حمل المَسابر بايونير-10 وبايونير-11 حَمُولة وحيدة وهو مقياس استقطاب قَطبي. الأجهزة الأخرى، أرسلت بياناتَ دقيقةً عن الكثافةِ المنخفضةِ للغبارِ والحطام في حزامِ الكويكباتِ، وأيضاً عن الغلاف المغناطيسي للمشتري وزحل. وقد إكتشفَ أنّ المشتري له حقل مغناطيسي ضخم بالإضافة، لتحليل التركيب الكيميائي لجوّ المشتري الشكل (4-8). كلا المَسبارين أُطلقا في 1972 مِنْ قاعدة كيب كنفرال بصواريخ أطلس قنطورس، الأول في 3 مارس ، والثاني في 5 أبريل. مر بايونير 10 بالقرب من المشتري، حلق بايونير-11 بالقرب من المشتري وزحل. وخطط للمِسباران لَتْركِ النظام الشمسي في اتّجاهينِ متعاكسينِ، متعامدين على إتّجاهِ الإعتدالِ الربيعي -٧. بايونير-10 أخذت تَرْسل البياناتِ حتى قَطعَت ناسا الإستقبالَ في 31 مارس 1997. والأرقام التي بجوار النقاط التي على مسار المسبار ومدارات الكواكب في الشكل، تُشير إلى مواقع المسابر عند بِداية كُلّ سَنَة. والأرقام التي على المحورِ العمودي تشير للمسافة بالوحداتِ الفلكيةِ.

حَملْ المِسباران أيضاً طبق معدني نَقشَ عليه صورة ظليةِ لرجل وإمرأة، وإشارات رمزية لعلماءِ العالمِ الآخرِ، إذا وجِدواَ، كيف يستطيعوا تَحديد الموقع الأصلِي الجغرافيِ الذي أنطلقَ منه المسبار وتاريخَ الإطلاقِ.

أرسلت بايونير-10، 300 صورة لأقمار كاليستو وجانيميد ويوروبا والمشتري، بما فيها 40 صُوَر مقرّبةِ، وإكتشفَ ثلاث عشْر قمر طبيعي في مداراتِ حول المشتري. أرسلت بايونير-11 عدد 130 صورة لنفس الأقمار الثلاثة وأيضاً القطبِ الشمالي للمشتري، قبل ارسال صورِ لزحلِ، التي اكتَشفَت له حلقة جديدة وقمران مجهولان حتى الآن.

كانت مهمّة بايونير-11 التحقق من أنّه لا يوجد في الطريق إلى يورانوسِ ونبتونِ حلقاتَ مجهولةَ مكونةِ مِنْ جزيئاتِ، رُبَمَا تتلفْ مسبار الجولةِ الكبرى المستقبلِي، الذى كان يعد له أثناء تطويرِ بايونير، والذى أُدركَ أخيراً المسبار فوجيير-2.

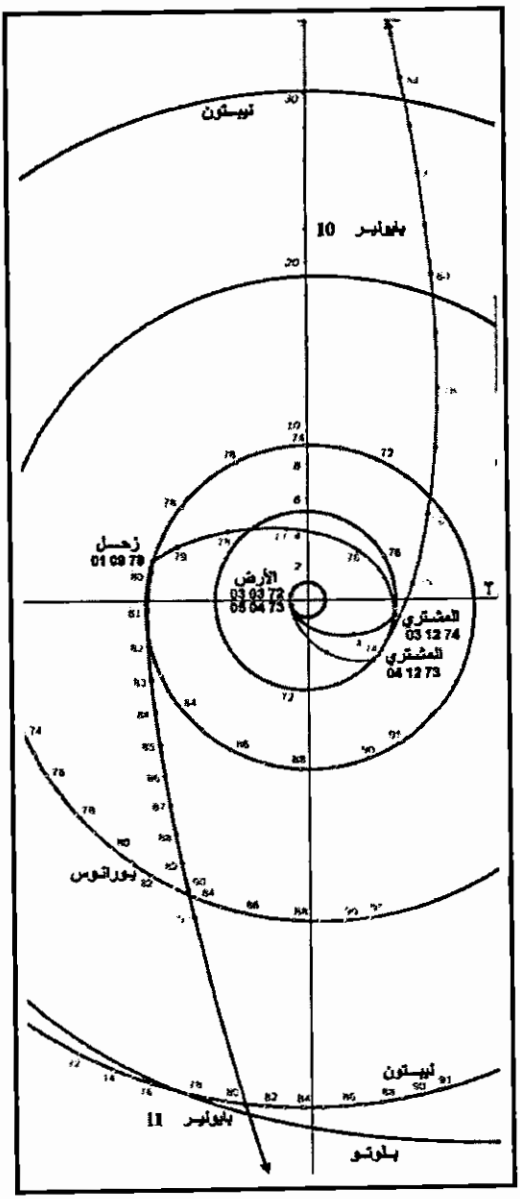
استقر المِسبارين فوجيير-1 & 2 حول محاورهما الثلاثة وفي كُلّ حالة شَملْ منصة توجيه تَحْملُ آلتي تصوير تلفزيونية (بمجال رؤية 3° و0.4°)، مطيافان للإشعة تحت الأحمر ومقياس استقطاب ضوئي. والأجهزة الست الأخرى كانت مقياس للمغناطيسية ، ثلاثة كاشفاتِ للأشعةِ الكونيةِ، والبلازما والجسيمات المشحونة ذات الطاقةَ المنخفضةَ، جهاز فلك راديوى كوكبي وجهاز موجات

بلازما و نظام فرعي لموجةِ البلازما. جهاز تصوير أرسل مجموعة مدهشة مِنْ الصورِ ذات درجة عالية الوضوح الشكل (4-9).

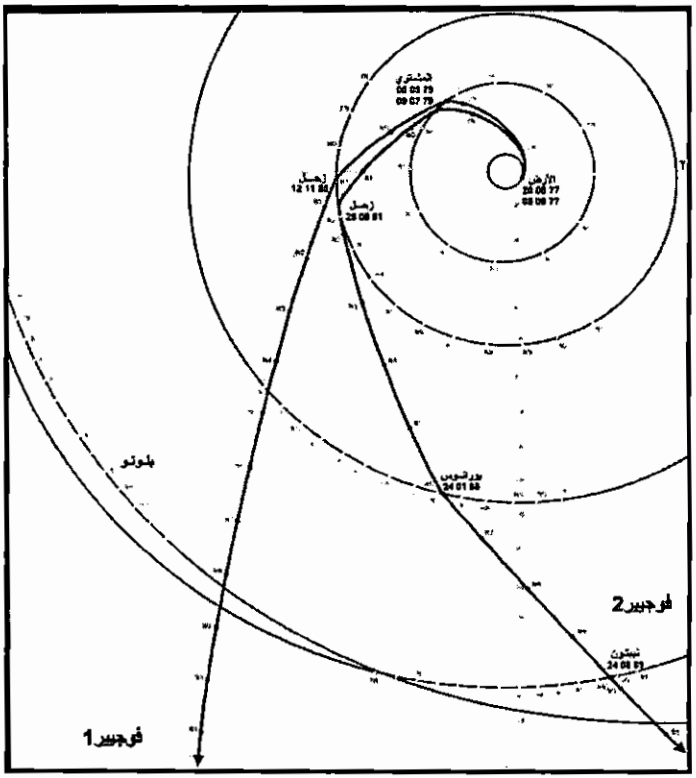
كلا المَسبارين أُطلقا في 1977 مِنْ كيب كنفرال بواسطة صواريخ تيتان-III قنطورس. أطلقت فوجيير-2 قبل فوجيير-1 فى 20 أغسطسِ، الذي أُطلقَ في 5 سبتمبر. وكان ترتيب الكواكبِ العملاقةِ الأربعة في 1977 فرصة نادرة لمِسبارِ واحد للطَيَرَأن بالقرب من كُلّ واحد منهم علي التوالي، وبمساعدُ جاذبية كل منها فى المناورة لتعديل المسار. هذه السلسلةِ مِنْ مقابلات الكواكب أُنجزتْ بنجاح مِن قِبل فوجيير-2، بينما فوجيير-1 حلق بالقرب من المشتري وزحل الشكل (4-9).

فوجيير-1 أرسلت 19000 صورة عن المشتري وأقماره أيو، يوروبا، جانيميد وكاليستو الشكل (4-10)، حَدثَ التحليقَ لأغلب الأقمار، عندما كَانَ المسبار يَبتعدُ عن المشتري، وقد اقترب المسبار كثيرا جدا من الاقمار أيو IO ، جانيميد وكاليستو. توضح النُقَاطُ في الشكل التي على المسارات الوقتِ بالساعاتِ، والصفر هوَ وقتَ مرورِ المسبار عند أقرب نقطة من الكوكبِ. والوقت الذي امامه اشاره سالبة يعني الوقت الذي يسبق المرور تلك النقطة. والأعداد السوداء تشير إلى أقل مسافةَ ممكنَه بآلافِ الكيلومتراتِ بين المسبار ومركزِ الكوكبِ أو القمرِ.فقد اقترب المسبار من المشتري إلي مسافة 349 ألف كم ، ومن أماثيا إلى 420 ألف كم، ومن أيو مسافة 20 ألف كم، ومن جانيميد إلى 115 ألف كم، ومنيوربا 734 ألف كم، ومن كاليستو 126 ألف كم. المسارات المُمَثّلة منسوبة للكوكبِ ومستواه الإستوائي.

ارسلت فوجيير-1 عدد 17000 صورة عن زحلِ، وتيتان ورهيا، ديون، تيسيس ، ميماس وإنكليادس الشكل (4-11). حيث اقترب من زحل إلى 124 ألف كم، ومن تسيس 416 ألف كم، ومن ميماس 88 ألف كم، ومن انكاليادس202 ألف كم، ومن أيون 502 ألف كم، ومن رهيا 74 ألف كم، ومن هيبريون 880 ألف كم، ومن تيتان 6 آلاف كم.



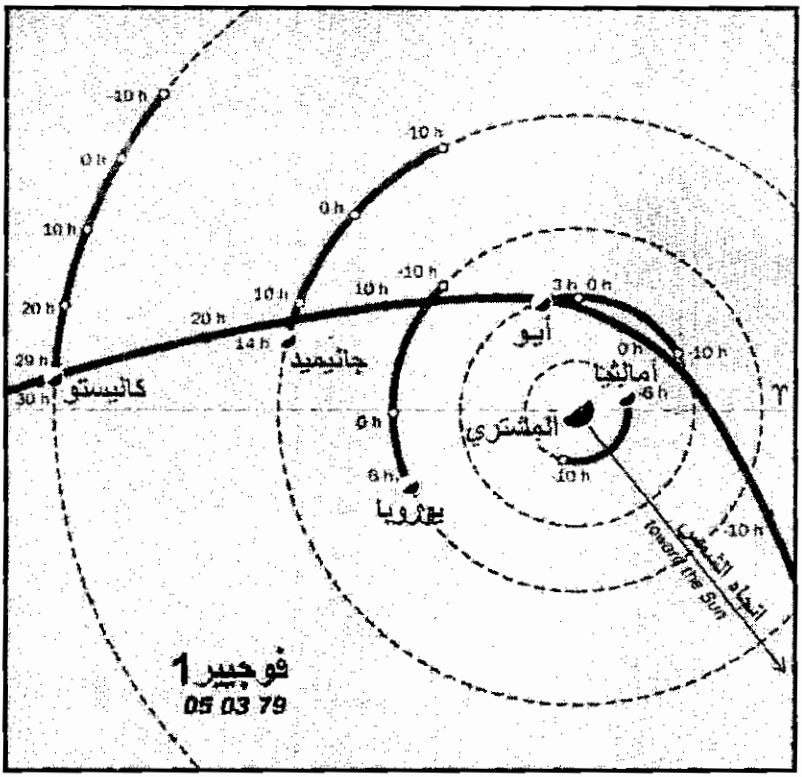
الشكل
(4-8).
مسارات بايونير-10 وبايونير-11.



الشكل (4-9). مسارات فوجيير-1 &2.

أرسلت فوجيير-2 عدد 15000 صورة للمشتري، والأقمار أمالثيا ، يوروبا، جانميد وكاليستو، وحدثت أكثر الإقترابات إلى الأقمارِ عندما كَانَ المسبار يَتحرّكُ نحو المشترى. حيث كانت الأقمارَ توجه نفس الوجهَ دائماً نحو الكوكبِ، فإن جوانبها المقابلة للشمس التى يرصدها هذا المسبار تكون فى الإتجاه المقابل لما ترصده فوجيير-1. وكانت أكثر الأقمار قربا كاليستو (215 ألف كم)، جانيميد (62 ألف كم) ويوربا (206 ألف كم) الشكل (4-12).

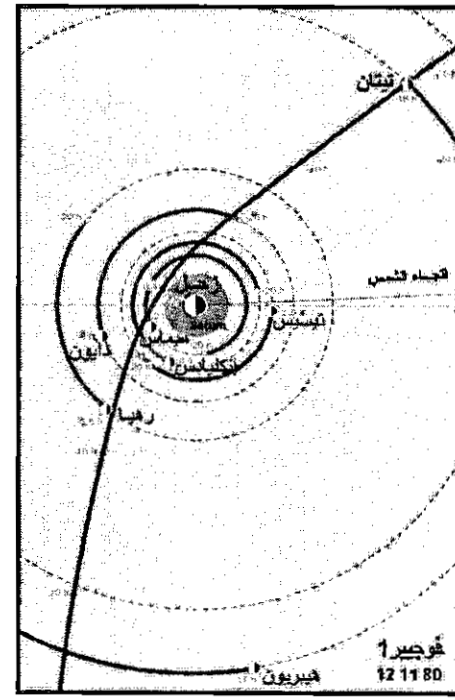
كما أرسلت فوجيير 2 عدد 17500 صورة لزحلِ، أقماره فويب وايبيتوس وهيبريون وتيسيس وانكلياداس الشكل (4-13). وعدد 6000 صورة ليورانوسِ وأقماره ميراندا، أريل، تيتانيا وأمبريل وأوبيرون الشكل (4-14). وتمثيلِ المدارات فى إطار إسناد الكوكبَ مسقطا علي مستوى مدار المسبار. يميل مستوي دائرةَ إستواء يورانوسِ بزاوية 98 ° علي مستوى مدارهِ، القريب جداً من دائرة البروجِ (0.46 °). تَتحرّكُ أقمارُها في المستويِ الإستوائي، ماعدا قمر ميراندا



الشكل (4-10). فوجيير-1 في دائرةِ تأثير جاذبيةِ المشتري.

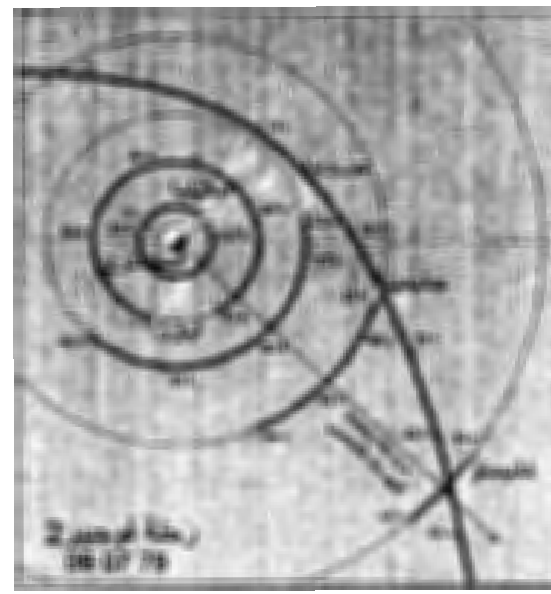
الذي له ميل صغير (4 °) بالنسبة لهذا المستوي. لِذلك، قطبِ الكوكبِ وأقماره تضاء بنور الشمسَ. واقرب مرور لفوجيير2 بيورانوس حَدثَ في 24 يناير 1986، علي بعد 71000 كيلومترِ، واقترب من القمر أريل علي بعد 120000 كيلومترِ ومن القمر ميراندا 28000 كيلومترِ..كَشفتْ هذه الصورِ حلقتين جديدتينِ وثلاثة أقمار جديدةِ حول المشتري. نفس المنطقةِ زارها المِسبارِ الأمريكيِ جاليليو، في ديسمبر1995.

تَتعلّقُ الثمار الأخرى لهذا البرنامج بالحركةِ، التركيب الكيميائي ودرجة حرارة الأجواءِ المُخْتَلِفةِ التى يصادفها، التركيب المادي للأقمارِ، وامتداد الغلاف المغناطيسي وتوزيعاتِ البلازما بينهم. وكَشفَت فوجيير بعض المعلومات عن أصلِ يورانوسِ، الذي يميل مجاله المغناطيسي بزاوية 60 ° على محورِ دوران الكوكبَ.

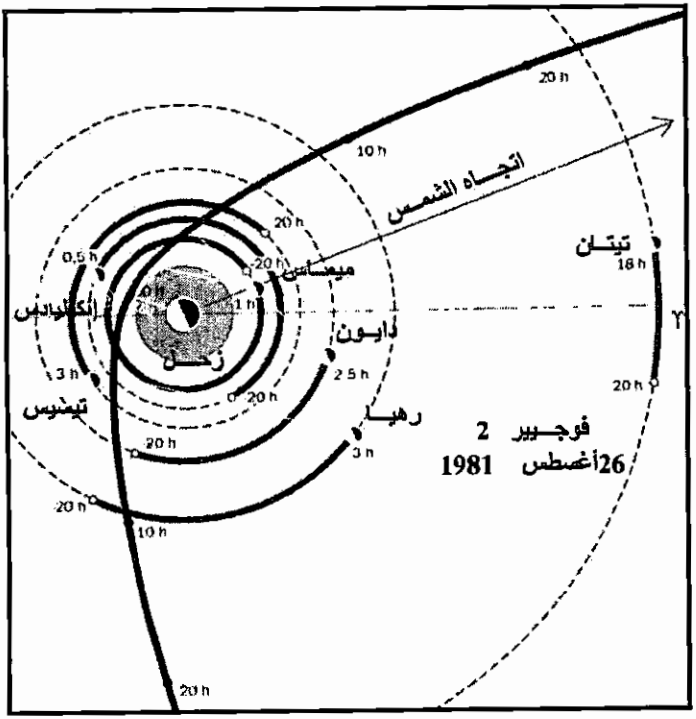


الشكل
(4-11)
فوجيير-1 تحت تأثير دائرةِ الجاذبيةِ لزحلِ.

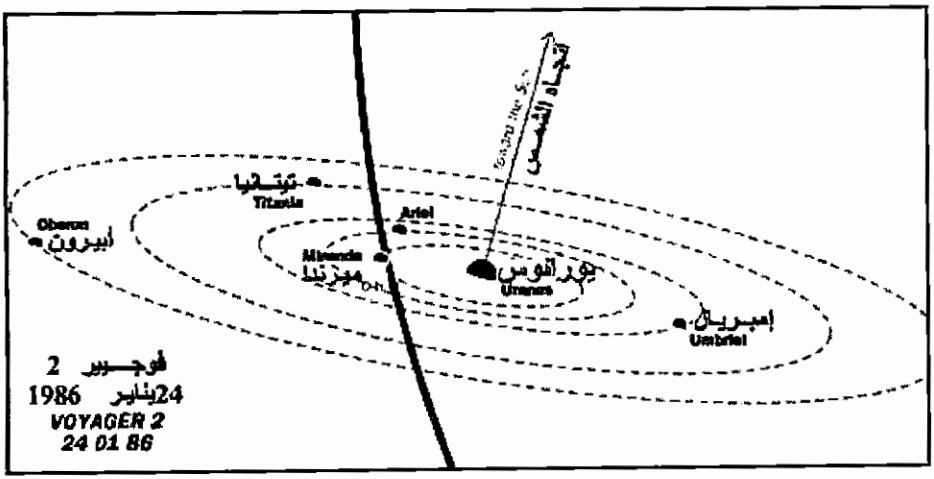
وصلت فوجيير-2 مرت علي بعد 1300 كيلومترِ مِنْ نبتونِ في 25 أغسطسِ 1989 وأيضاً علي بعد 6000 كيلومترِ مِنْ القمر تريتونِ. بعد الطيران



الشكل (4-12)
فوجيير- 2 في دائرةِ تأثير جاذبيةِ المشتري.



الشكل
(13-4)
فوجيير 2 في دائرةِ تأثير جاذبيةِ زحل.
ونرى القمر تيثى أقرب الأقمار لها.



الشكل (4-14). فوجيير-2 في دائرةِ تأثير جاذبيةِ يورانوسِ.

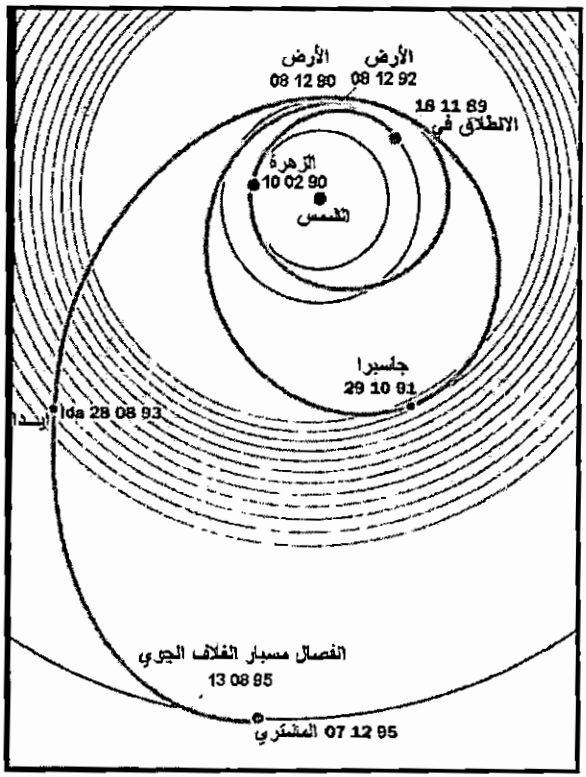
قربِ نبتونَ، كانُ كلا المَسبارين بحالة جيدة، وكانت ناسا قادرة على بَدْء مدَ برنامجِا، يسمّى برحلة فوجيير ما بين النجومَ. إنّ الهدفَ كانْ َدْراسَة الظروفَ في مناطقَ أكثر بُعداً عن المجموعة الشمسية. بذلك يتم الَحْصولُ على أول معلومات عن الوسطِ بين النجومِ. وحتي فبراير 2000، كانت المَسابر فيْ حدود مْجال المجموعة الشمسية، علي بعد 11499 (فوجيير 1) و9106 (فوجيير 2) بليون كيلومتر مِنْ الأرضِ، وكانتا تتحركان بسرعةِ 17.281 و 15.807 كيلومترِ /ث، على التوالي. ولتُوفّيرَ طاقةً، الآلات على منصة المَسْحَ، لايعمل منها فقطَ سوى مطياف الأشعة فوق البنفسجية، لم تعمل منذ 1998 في حالة فوجيير-2 ومنذ 2000 في حالة فوجيير-1. ولَنْ يعمل مقياس المغناطيسية بعد 2010 و2011، على التوالي، لكن الأجهزة الأخرى (الـ 5 الأخيرة المَذْكُورة فوق) سَتَكُونُ قادرة على العمل حتى 2020.

رصدت فوجيير-2 نشاطِ بركانيِ حادٌ على قمرِ المشتري أيو، حلقات أخرى مِنْ الثلجِ والغبارِ حول زحلِ، وعشْر أقمارِ وحلقَتين أخريتينِ حول يورانوسِ. وأظهر تَفرد ميراندا بنوع مِنْ تكتلِ كوكبيِ تكَوّنَ من حطام عِدّة أقمار، تحطّمَت في بَعْض الكوارثِ المَنْسيةِ. إن التركيب الجيولوجى لهذا الأقمار الصغيرة جداً معقد جدا، بخنادق منحدرةِ عملاقةِ، ووديان وفوالق، وحَفرَ منبسطةً ومناطق أخدودية.

5-4 : الكواكب العملاقة:

إستأنفَ إستكشافَ الكواكبِ العملاقةِ بإطلاقِ المِسبارِ الأمريكيِ جاليليو. ولقد تأخر البرنامج لفترة من الوقت بعد كارثةِ شالنجر. أُطلقَت جالَيليو بالمكوك الفضائي أطلانطس في أكتوبر 1989. وبعد تحليقها قرب الكويكبينِ،كاسبرا في اكتوبر 1991 وايدا في أغسطس 1993 ثم طارتَ إلى المشتري وأنزلت مرْكبة هبوطِ هبطَت على سطحه، قبل الدخول إلى مدار حول المشتريِ الشكل (4-15).

جليليو مُجَهَّزهُ عَلى نَحوٍ مماثل لفوجيير. أي منصة المَسْحِ ثابتةِ تَحْملُ آلة تصوير ذات درجة وضوح عالية مَع مجال رؤية 0.4 °، مقياس طيفي لخرائط قُرْب الأشعة تحت الأحمر، ومقياس طيفي للأشعة فوق البنفسجية، و استقطاب ضوئي إشعاعي. وأجهزة أخرى مثل مقياس مغناطيسية وكاشفات لجزيئاتِ الطاقةِ العاليةِ، والبلازما ، والغبار، ونظام فرعي لموجةِ البلازما، عدّاد للأيونِ الثقيلِ، آلة فلك راديوي و آلة ميكانيكا سماويةِ (لتَقْدير كتلةِ الأجرام السماويةَ والتركيبِ الجوّي).



الشكل
(4-15)
مسار مركبة جاليليو لكوكب المشتري.

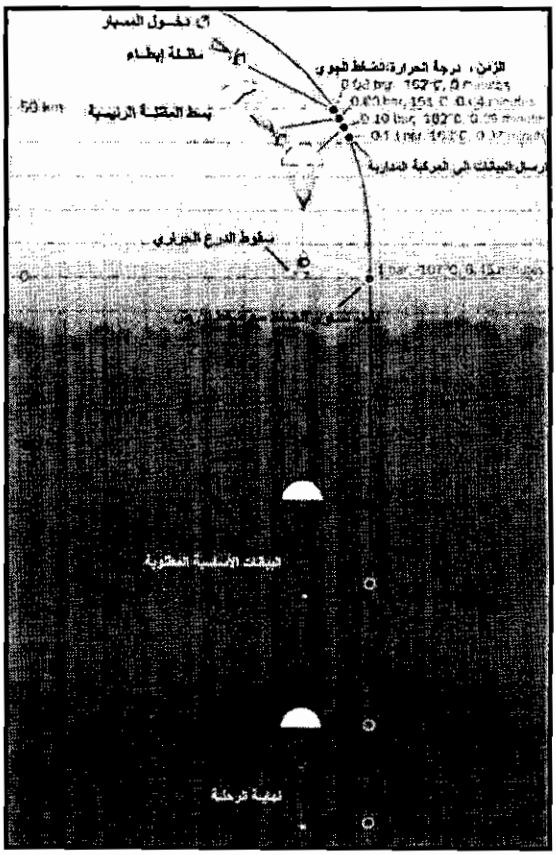
حَملَت مركبة الهبوطَ جهاز لدراسة تركيبِ الغلاف الجوّي تَعطي درجاتَ الحرارة والضغطَ والكثافةَ والوزن الجزيئي للطبقاتِ التي يعَبرهاَ، مقياس طيفي، كاشف عن وفرةِ الهليومِ، مقياس إشعاع الفيض الكلي وكاشف عن جزيئاتِ الطاقةِ الخفيفة والعاليةِ.

لقد وجهت مركبة الهبوط للكوكب في أغسطس 1995 وتوج هبوطِها بالنجاحِ، على الرغم مِنْ الصعوبةِ الكبيرةِ التي واجهته الشكل (4-16). أرسلت البياناتَ عن طريق جاليليو على مدى 57 دقائقِ امدتنأ بمعلومات كثيرةً عن تركيبِ وحركةِ جوِّ الكوكبَ. أظهرَ تباطء المركبة المقاسَ بأنّ الجوَّ كَانَ أكثفَ منْ المتوقّعِ، بينما تحليلات التركيبِ أثبتتْ بأنّها أقل وفرة في الهليوم والنيونِ مِما كَان مفترضا مسبقاً. أجبرتْ هذه الأرصاد العلماءَ علي إعادة النظَر في فرضية أن المشتري قَدْ تَكُونُ منَ سديمِ شمسى أولي.

دَخلَ مسبارُ جاليليو المدارى في مدار حول المشتري في 7 ديسمبر 1995. وقد دَرسَ الذيل المغناطيسي لكوكب المشتري وأَخذَ صورَ ممتازةَ للمشتري، بشكل خاص البقعةِ الحمراءِ العظيمةِ الغامضة، التي تقدر بأكثر مِنْ ضعف قطر

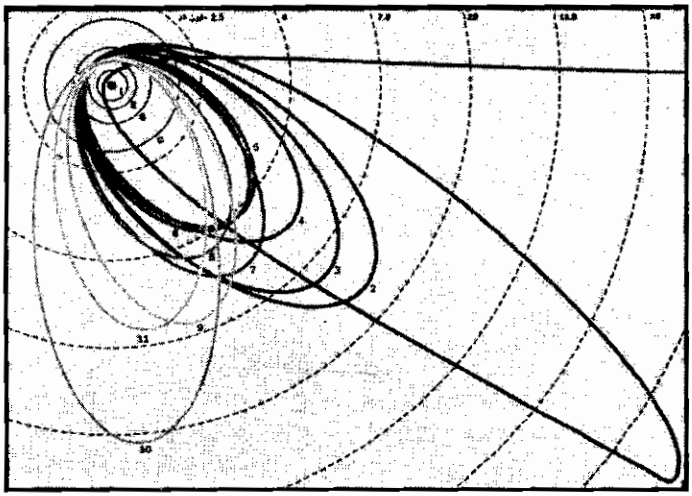
الأرضَ في اتجاه شرق- غرب. ورصدتَ دوران الرياحَ التي تَدُورُ بعكس اتجاه عقارب الساعة حول البقعةِ بسرعةِ 400 كيلومتر في الساعة. دخل المسبار المداري في مدار حول المشتري كبير الاستطالةِ، دورته 230 يوم. وبعد تحليقِه الأولِ قرب جانيميد، دَخلَ في سلسلة من المناوراتِ.

وكان هدف المناورات لتُعدّيلَ دورة مداره وميلَه ليحقق في النهاية 11 مدارَ رتَبتْ مثل أوراق تويجيةِ زهرة، كما كَانَ مُبَرمَجَا لها مسبقا. هذا يَسْمحُ بتحليق قَريب لكُلّ الأقمار الجاليلية الشكل (4-17)، تُمثّلُ المدارات الداكنة حول المشتري مدارات الأقمارِ الجاليليةِ: كاليستو (C)،جانيميد (G)، يوروبا (E) و أيو(I). هذا بالإضافة إلى الاقمار الداخلية الصغيرة الأكثر بُعداً، كما رصدت الحلقاتِ. المدارُ الثاني عشرُ حدد بِداية إمتدادِ برنامجِ الرحلة (رحلة جاليليو يوروبا) الشكل (4-18).



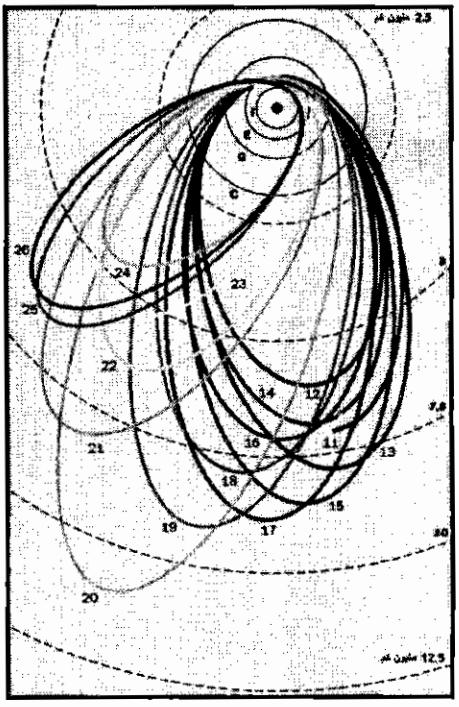
الشكل
(4-16)
مسبار الهبوطِ جاليليو: لدراسة جوِّ المشتري.

المدارات الثمانية الأولى مِنْ مداراتِ المهمّةِ الجديدةِ أدّت إلى تحليق منخفضِ ليوروبا، بينما المدارات الأربعة التالية إستعملتْ المساعدةَ الجذبيةَ لكاليستو، والإثنان الأخيران (المدار 24 و25) أصبحا قَريبان بما فيه الكفاية لرصد قمر أيو. وكَانَت هذه نهايةَ المهمّةِ، وكان من المتوقع أنَّ الإشعاع والتيارات الكهربائية في نتؤات أيو
ستُحطّمُ دوائرَ المسبار. لكن، نَجا المسبار من هذه التوقعات وامتدت الرحلةِ (المهمّة الألفية لجاليليو) حيث بَدأَت في 2000 بالتحليقِ قرب يوروبا و أيو الشكل (4-18).



االشكل (4-17). وصف لمدارات جاليليو حول المشتري أثناء المراحلِ الأوليةِ للرحلة.

القمر أيو كان أقرب الأقمارِ للمشترى وأثناء حركة القمر في مداره يقطع خطوطِ مجالِ الكوكبَ المغناطيسيةَ. هذا يَعْني بأنّه يولد شحنة كهربائية قوية، وهذا يصنعُ دائرةَ كهربائيةً مغَلقَة بين القمر والكوكبِ. عمل جاليليو أرصاد مثيرة عن تطورِ التركيب المورفولوجي لهذا القمر. أخذتْ سلسلةُ من الصورِ بمَسابرِ فوجيير سَمحتْ بتحليل حركيّ عِنْ منظر أيو الطبيعي. كان جاليليو قادرا على الشَهادَة على التغييراتِ السريعةِ التي حَدثتْ خلال فترة 17 سَنَةِ تَفْصلُ بين رحلة فوجيير ومهماتَ جاليليو. وكانت هذه السَنَواتِ شاهدَا علي التطورِ المكثف في علم تكون القمر.



الشكل
(4-18)
رحلة جاليليو أوروبا
ورحلة جاليليو الألفية.

المناظر الطبيعيةِ لبراكين أيو ، يغلب عليها ثاني أكسيدِ الكبريتِ. وغير الأرضِ، فإن أيو الكوكبُ الآخرُ الوحيدُ الذي عَرفَ بنشاطة البراكني، مثل الجبلِ بيليه أو البركان ماسوبي Masubi. العديد مِنْ هذه البراكينِ تنفث الكثير من المادّةِ خارج سطحها، ليصل إرتفاعاتِها أحياناً إلى عِدّة مئات الكيلومترات. لتغطّيَ سطحَ أيو بحطام مكونٌ أولياً مِنْ مركبات الكبريتِ المتُغيّرةُ في درجاتَ حرارتها مما يجعلها تُزَيّنُ سطح القمر بجميع الألوانِ، مِنْ أحمرِ، إلي البرتقالِي والأصفرِ إلى الأبيضِ.

إقتربَت جاليليو إلى بعد 201 كيلومترِ من يوروبا أثناء أحد مرات عبوره بالقرب منه. و يوروبا له نفس حجمِ قمرنا تقريباً ، وقد أكتَشفَ كعالم متجمّد. الحزوز والشقوق المتعددةُ متشابكة ومتقاطعة على سطح القمر، والتي إكتشفَتها فوجيير في 1979.

إنّ ندرةَ حُفَرِ الإرتطام تُوضّحُ عامةً بفرضية أنَّ هذه التضاريس إزيلت بعمليات مستمرة، كتجديد طبقات سطح ثلجِي. زُوّدُتنا أوروبا أيضاً بمجال مثير جداً عن الحياه البيولوجية الخارجية. إن وجود الماءِ ومصدرِ الحرارةِ الداخلي قَدْ يَعْني بأنّ هناك محيط سائل تحت الثلجِ السطحي. ووضح تحليقُ يناير 2000

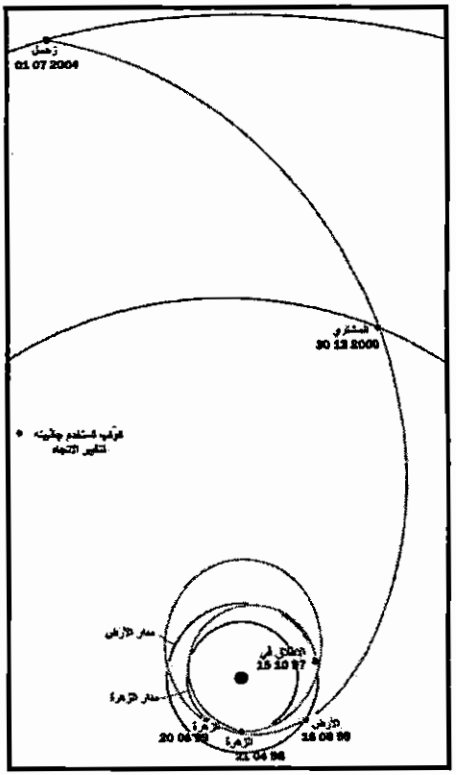
تغييرات إتجاهية في المجالِ المغناطيسي الذي يُمْكِنُ أَنْ يرتبط بحركاتِ وسطِ من سائلِ موصل مثل ماء مالحِ.

جانيميد هو القمرُ الأكبرُ في النظام الشمسي وله حقل مغناطيسي أمكن لجاليليو قيَأسه. كثافة جانيميد - فقط ثُلث كثافة الأرضِ - تُشيرُ إلى أنَّ هناك كمية كبيرة مِنْ الماءِ إشتركتْ في تركيبِ القمر. يُشكّلُ هذا الماءِ قشرةً ثلجيةً، تحتها عباءة صخرية، تحتوي علي قلب معدني. يَحتوي سطحُ جانيميد نوعان مختلفان مِنْ التضاريسِ. مناطق مُظلمة مَع حفر ارتطام ذات كثافة عاليةِ تفصلها مناطقِ ذات ألَونِ فاتحة متكوّنة من ثلوجِ أصغرِ عمرا.

أخيراً، القمر كاليستو له قشرةُ ثلجية مدمجُة مع سيليكاتٌ ومثقّبةُ بشكل منتظم بعدد كبير مِنْ حُفَرِ الارتطامِ. يَدْلُّ الأخير على إن سطح القمر أقدم كثير مِنْ الأقمارِ المشترى الأخرى، وبدون تجديدِ سطحيِ عن طريق حركاتِ الثلجِ.

البرنامج الآخر الطموح شاركُت فيه المركبة المدارية الأمريكية كاسيني مع مسبار الهبوط هايجنس التابع لوكالة الفضاء الأوربية . المهمّة إختيرْ لها عام 1985، لكنها تأخرَت لأسبابِ مالية واطلقت أخيراً في 15 أكتوبرِ 1997 بمساعدة صاروخ تيتان 4 قنطورس. استخدم مساعدة جاذبية كوكب الزهرة لتغير مداره، ثمّ مر قرب الأرض قبل اقترابه من المشتري في 2000 ثم أستمرُّ ليقترب منِ زحلَ في 2004. في 11 يوليو من تلك السَنَةِ حلق قرب أبعد أقماره فويب على مسافةِ 52000 كيلومتر الشكل (4-19).

المركبة المدارية كاسينى (سَمّيت على اسم الفلكي الفرنسيَ جين دومينيك كاسيني الذي دَرسْ زحلَ في القرن السابع عشرِ). حُملَت مقياس طيفي للخرائط للأشعة المرئية وتحت الحمراء، آلة تصوير لأطوالِ موجة مرئيةِ، بابعادِ بؤريةِ مِنْ 250 إلي 2000 مليمترِ ، رادار 13.8 جيجا هرتز، مقياس طيفى, ، مُحلّل غبارِ كوني ، مقياس طيفي لموجات البلازما / الراديوية، لتحقيقِ عِلْمِ البلازما (بي إس آي)، مطياف للصور فوق البنفسجي , آلة تصويرللكرة المغناطيسية، مقياس مغناطيسي ثنائي، نظام فرعي راديوي ومقياس طيفي مركب للأشعة تحت الحمراء. على مدي 4 سَنَواتِ مِنْ مهمّتِهاِ المحدد لها، سَيَدُورُ حول زحلِ 63 مرةَ. يطير فوق القمر تيتان في الدورة 33 مِنْ هذه المداراتِ علي ارتفاع 950 كم، ورسم خريطة راداريه له، والأرصاد القريبة كانت ايضا للقمر لابيتوس وانكلياداس، وديون ورهيا، بينما تيتس، ميماس و هيبريون رصدواِ مِنْ بعيدً.



الشكل

(19-4)

مسار كاسيني تجاه

كوكب زحل.

أثناء أول تحليقٍ قرب تيتان، كانت المركبة كاسيني تحرر المسبار هايجنس. اسم الفلكي الهولنديَ كرستيان هايجنس الذي إكتشفَ تيتان في 1655. بدأ المسبار بدِراسَة جوِّ تيتان أثناءهبوطه خلاله، ولقد أبطئ هبوطَه بواسطة نَشرَ مِظَلتَين علي التوالي. وبعد هبوطه، ظلْ يَعملُ لعِدّة دقائق. وعندئذ أُرسلُ معلوماتَ إلى الأرضِ عن طريق المركبة المدارية كاسيني.

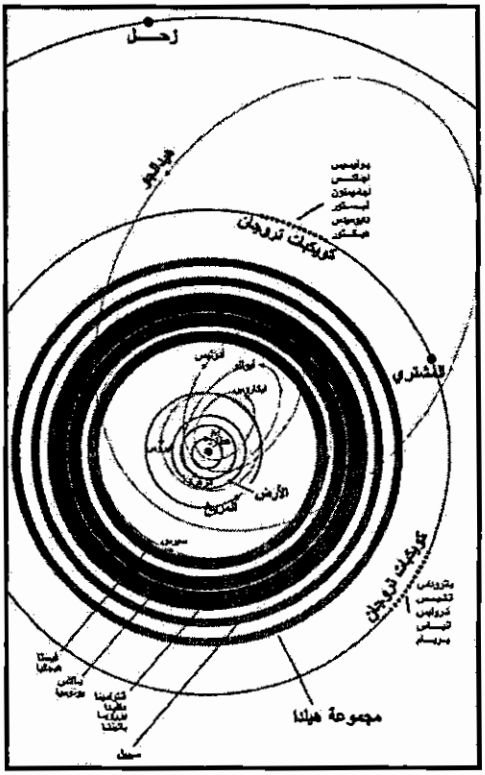
القمر تيتان ، أكبرُ مِنْ كوكب عطارد، كَانَ التحليق فوقه من قبل علي بعد 6500 كيلومترِ بمسبار فوجيير-1. الصور أظهرت كرة ضبابية منتظمة بلون برتقالي. يتكون جوّه الكثيف جدا منّ 80 % نتروجين وحوالي 6 % ميثان، بينما يَحتوي علي هيدروكربونَات آخريَ وجزينات الهيدروجينَ. ومن المحتملُ أن يكون لجوُّ وسطحُ تيتان تركيب مماثل للأرضِ في بِداية تكونها، مع كربون يحتوي مركّباتِ تؤدي إلي التفكير في ِحياة خارجية.

كان المسبارين جاليليو وكاسيني آخر المركبات الرئيسية لإستكشاف الكواكبِ الخارجيةِ. وتحتوي الرحلاتُ المستقبليةُ علي رحلتين تحت الدراسة ، أحدهما مسبار مداري للقمر أوروبا والآخر إلي بلوتو وحزام كيبر. و سَيَدْرسُ مسبار يوروبا القمر ومحيطَه المشهورَ باجهزةٍ لم تتوفرِ للمسبار جاليليو: رادار، مقياس إرتفاع ليزرِي ذو درجة تباين عاليةٍ ومسابر لوْضَعْها على سطحِ يوربا لعمل دراسة زلزالية.

يَبْدو أن نظام بلوتو وقمره شارون كُانَ عنصرَ في حزام من الأجسامِ الصغيرةِ (35 جسم صغير حتى الآن مسُجّلَة بأقطارِ بين 200 إلي 2000 كيلومترِ)، إنجذبت وراء الكواكبِ الخارجيةِ. وهم يُمثّلونَ رُبَّمَا بقيّةَ العمليةِ التي تكونت فيها الكواكبِ الخارجيةِ، مثل حزام الكويكبات الرئيسيِ للكواكبِ الداخليةِ. ويطلق عليه حزامَ كيبر Kuiper. ومشروع بلوتو - كيبر يُرسلُ مِسبارين مُصَغَّران نحو كوكب بلوتو. ثم توجه المَسابر نحو بعض أجسامِ حزامِ كيبر.

6-4 : الكويكبات والمُذّنبات :

رصدت الكويكبات أولاً في القرن التاسع عشرِ. وُجِد أنها تشغل حزام بين المريخِ والمشتري، في المسافة فقط التي حددها قانونِ بود Bode عند استخدامه لتحديد أبعادِ الكواكبِ في النظام الشمسي. على أية حال، بالإقتراب من الكويكبات بالمسابر مكنت من زيادة معرفتنا عنها. أكثر الكويكباتِ واقعة في الحزامِ الرئيسيِ حيث يُشكّلوا عِدّة حلقات يفْصل بينهاْ فجواتِ تسمى فجواتَ كيركوود. أهمّ هذه الفجواتِ تَفْصلُ الحزامَ الرئيسيَ عِنْ حلقة عائلةِ هيلدا Hilda family الشكل (4-20). الدورة المداريةِ التي تُقابلُ المواقعَ غير المشغولةَ لفجواتِ كيركوود كسورَ بسيطةً (1/3 ،2/5 ،3/7،1/2) من دورة المشتري، وهم يَسْتنتجونَ أنها ناتجة مِنْ اقلاقِ جاذبية المشتري. تتحرك كويكبات عائلةُ تروجان Trojan في نفس مدارِ المشتري، عند نقاطِ لاجرانج L4 و L5 في نظامْ الشمسِ -المشتري. مائة أو أكثر من الكويكبات الصغيرة جداً لَها مداراتُ شديدةالاستطالةُ جداً، وفي أغلب الأحيان تميل على دائرةِ البروجِ. إنّ عددَ الكويكباتِ التي قطرها أكبر مِنْ كيلومتر واحد تقدر بمئات الألاف. الأكبر منها هو كويكب سيرسُ، قطره 1025 كيلومتر.



الشكل
(4-20)
توزيع الكويكبات في النظام الشمسي.

تُرجعُ العديد مِنْ الأرصاد وعيّناتِ الكويكباتِ للرحلات التي تمت في الثمانيناتِ. رحلة فستا، التي كَانتْ مُشتركَة بين الإتحاد السوفيتي وأوروبا واحتوت أربعة مَسابرِ إلى حزامِ الكويكبات الرئيسيِ، وكاسيني. وألغيتْ في 1989 من جهة وكالةَ الفضاء الأوربيةِ، التي فضّلتْ دَعْم كلاستر وكاسيني. البرنامج الأمريكي (للتحليق قرب الكويكب ومقابلة المذنبِ) كَانَ من بين ما دُرسَ، بين أشياءِ أخرى، الكويكب هامبورجا من النوع سي (499) Hamburga ومذنب كوبف Kopff، لَكنَّه ألغىَ في بِداية 1992. في أول رحلة لكاسيني، أجرت أرصاد علي حزام الكويكباتِ الرئيسيِ.

في النهاية، كَانَ جاليليو، في طريقِه إلى المشتري، الذي أَخذَ أول صورَ عند تحليقِه قرب كويكبِ، في 29 أكتوبر 1991. كَانَ الكويكب جاسبرا (951) Gaspra، قطره 18 كيلومتر. ثم ذهب جاليليو نحو الكويكب إيدا Ida (243) وإكتشفَ قمره داكتيل Dactyl عند تحليقه بالقرب منه في أغسطس 1993.

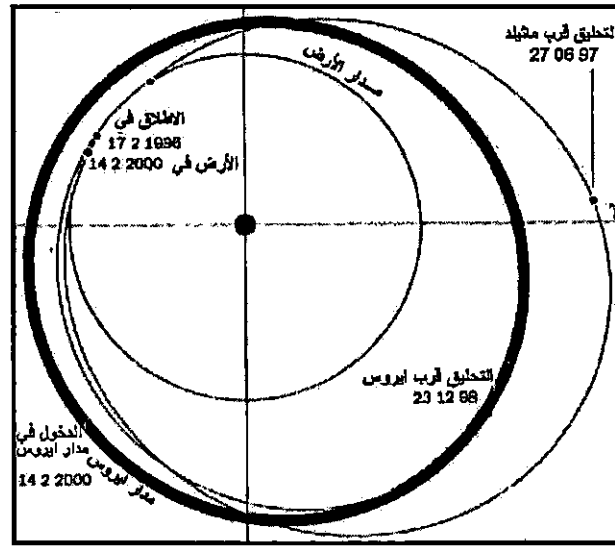
بعد نجاح جاليليو، بدأ برنامج الإكتشافِ الأمريكي الذي تميز بالرحلة القريبة (الإلتقاء بالكويكبات قُرْب الأرض). وقد أتمَ أول مدارَ له حول كويكبِ. إنطلقَ فى 17 فبراير 1996، واقترب أولا لمسافةً في 1212 كيلومترٍ مِنْ كويكب ماتيلد (يونيو 97)، ثمّ لمسافة 3828 كيلومتر مِنْ كويكب إيروس Eros (ديسمبر 98)، دون أنْ يستطيع اتخاذ مدارِ حوله. وأخيراً نجح في اتخاذ مدار حوله علي بعد 323 كيلومترٍ في 14 فبراير 2000. تقلصت المسافةِ بشكل تدريجي إلي حوالي 15 كيلومتر الشكل (4-21). أجهزته (آلة تصوير شحن مزدوج رقمية ، مقياس طيفي لأشعة جاما، واشعة سينية وقُرْب الأشعة تحت الحمراء، مقياس المغناطيسية ، ومقياس إرتفاع ليزري) تَسْمحَ بتسجيل تفاصيل فيزيائيةً، وكيمياوية ومعدنية للكويكبِ الشكل (4-22). تكونت الصورةُ مِنْ ستّ صورٍ أخذت في 29 فبراير 2000 بمركبة شوماكرَ.

ومسبار آخر، اسمه الفضاء البعيد-1، أول رحلة في الألفيةِ الجديدةِ، بَدأ في أكتوبر 1998 نحو كويكب مكاوليف ومذنب غرب – كوهوتيك-اكيمورا. هدفه الرئيسي يُؤهّلُ الفضاءُ لتقنياتَ مُصَغَّرةَ جديدةَ (وزن المسبار حوالي 365 كيلوجرام)، بشكل خاص لإختِبار محركات الدفعِ الآيونِية.

ورحلة المسبار موسيس س Muses C اعدت للعودةِ بعيّنةِ من الكويكبِ. إنطلقِت في 2002، لتَصلَ إلى كويكبِ 1998 FR36 في سبتمبر 2005. وعادت العينات في يونيو 2007. ويحمل المسبار آلة تصوير ذات شحن مزدوج، مقياس طيفى للاشعة السينية وقرب الأشعة تحت الحمراء ، وليدرا lidar، مركبة منفصلة صغيرة، مركبة متجولة صغيرة جدا للتجول لتُوْضَعَ على سطح الكويكب. حصل المسبار علي عيناتَ من مادة الكويكبِ بإطلاق قذيفة صغيرة وبعد ذلك تجمع الشظايا بواسطة حامل العيّناتِ. وأخيرا، تُجهّز بحمايةِ حراريةِ فعالة، ثم يَحْملُ المسبار إلى مدار العودةِ نحو الأرضِ عندما تحلقَ المركبة بالقرب منه. ويَجِبُ أَنْ يُقاومَ درجة حرارة أعلى 30 مرة مِنْ التي يقابلها المكوك الفضائي عند عودته.

على أية حال، الأرصاد، والتحاليل والعينات المحتمل عودتها مِنْ المُذَنّباتِ يقابلِ بحماسَ عظيمَ بين جمهور العلماء. فإذا كان النظام الشمسي نَشأَ، كما هو شائع ، مِنْ الإنهيارِ الجذبيِ لسديمِ شمسي أولي مكون من الثلج والغبارِ قبل حوالي 4 بليون سنة، وإذا كانت فعلا المُذَنّبات أكثر الأجرام السماوية قِدماً، والتي حدث

لها أقلّ تغيير، فمن الواضح أنّ الحبيبات قَبْلَ تكون الشمس وآثار التكثف الأولى يَجِبُ أَنْ يُوْجَدَ في مادّةِ المذنبات. بمُقَارَنَة هذه الحبيبات بمادّةِ الشمسِ، الكويكبات والكواكب المُخْتَلِفة ، سيتم فهم أفضل عن الظاهرةُ التي أدّت إلى تكوينِ النظام الشمسي.

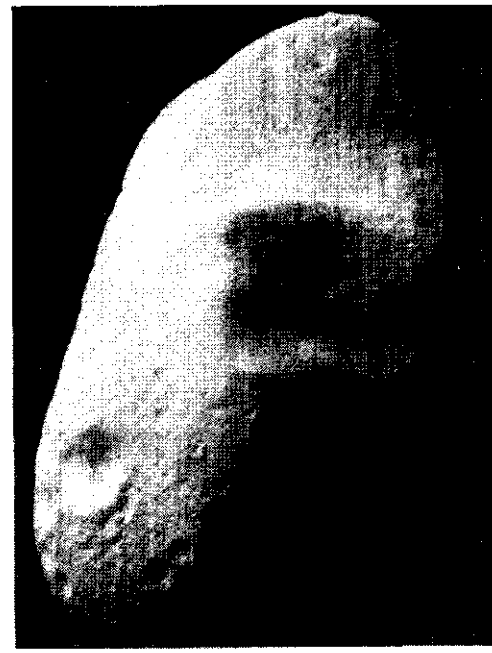


الشكل

(4-21).

مسار الرحلة القُرْبية

نحوكويكب ايروس Eros.



الشكل

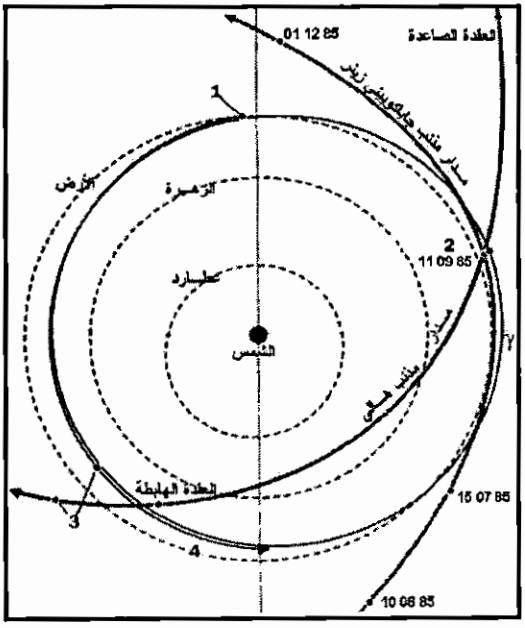
(4-22).

فسيفساء نصف الكرة الشمالي

لكويكب إيروس Eros.

العديد مِنْ الأقمار الصناعية التي تدورحول الأرضَ مثل IUE آي يو إي، هابلَ Hubble وآي إس أو ISO حصلت علي بيانات طيفية عن المُذَنّباتِ. على أية حال، يَعتقدُ العلماءَ أنّ الأرصاد يجب أنْ تجري عِنْ قربٍ، ولكي تؤخذ العينات وتُحلّلَ في موقعها الأصليَ. عِدّة رحلات مهمةُكرّسُت لإستكشافِ المذنبات الدورية في موقعها الأصلي بواسطة المَسابرِ. المُذَنّبات غير المتوقّعة (التي تكتشف بالصدفة) ، يمكن الوصول إليها بصعوبةٍ بالغة لإن أعداد الرحلة يتطلب وقتًا طويلا.

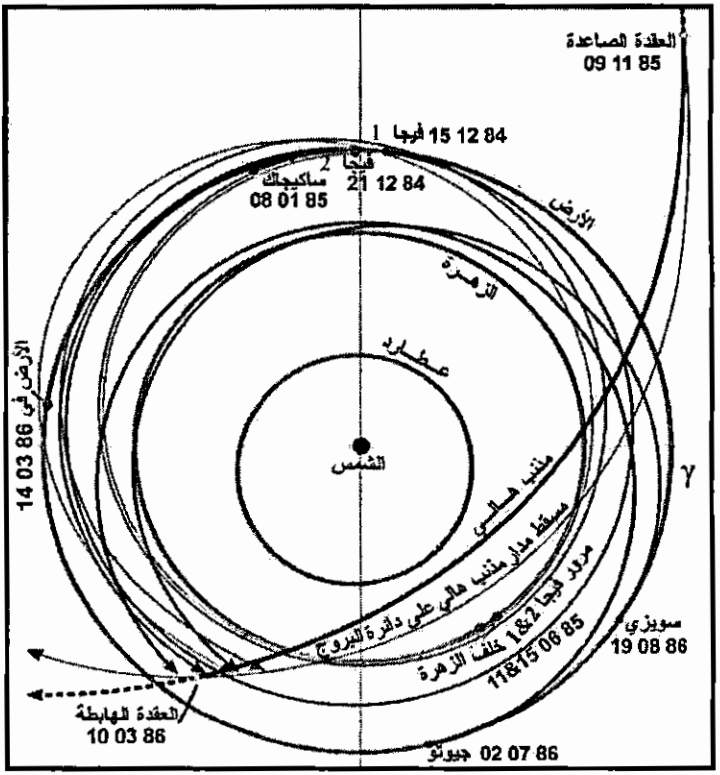
القمر الصناعي المشترك بين ناسا ووكالة الفضاء الأوربية إيسا ISEE 3 (مستكشف الأرضِ- الشمسِ الدولي) إشتغلَ بالإتصال مع ISEE 2 و ISEE 1 لقيَاس الريح الشمسيةِ. هذا القمر الصناعي بَقي في مدار هالةِ halo orbit لأربع سَنَواتٍ، لكن ما زالَ عِنْدَهُ إحتياطيات كافيةُ لأنْ يُصبحَ مِسبار فضائي. ولقد أبعد مِنْ مدارِه الأصلي بمساعدة جاذبية القمر وأرسلْ ليلتقى بمذنبِ قديمِ إكتشفَ في فرنسا جاكوبني Giacobini عام 1900 وفي ألمانيا زينر Zinner في 1931. في 8 سبتمبرِ 1985، حلق المسبار ICE وراء نواةَ المذنبِ جاكوبني- زينر Giacobini Zinner على مسافةِ 7800 كيلومتر. بالرغم من أنّه لم يَحْملُ آلة تصوير، رغم ذلك تمكن المسبار من إرْسال البياناتِ الجديدةِ جداً التي تَتعلّقُ



الشكل
(23-4)
رحلات مسبار ICE لرصد المذنبات.
باستعمال مساعدةِ جاذبيةِ القمر.

بالتأثيراتِ الكهربائيةِ والمغناطيسيةِ المصاحبةُ لمرورِ المذنبِ، وكان العبور على مسافة خمسون مرةً أكبرَ مما كان مُخَطَّطِ له في البدايةُ الشكل (4-23).

مذنب هالي، الذي رصد مروره المنتظم كُلّ 76 سنة منذ 240 قبل الميلاد، له مسار معروف بدقّة بما فيه الكفاية للفلكيين لتَنظيم عِدّة رحلات في إتّجاهِه عندما



الشكل (4-24) رحلات رصد المذنب هالي.

عَبرْ قريب من الشمسِ في 1986. ما مجموعه خمسة مَسابر فضائية أهدافِها متكاملهِ أُرسلتْ بهذه المناسبةِ الشكل (4-24). أطلقت فى تواريخُ مُخْتَلِفة بين ديسمبرِ 1984 ويوليو 1985، المَسابر الخمسة وَصِلوا على مقربة مِنْ مذنبِ هالي في نفس الوقتِ تقريبا، لأيام قليلة فقط قبل أو بعد 10 مارس 1986. في هذا التاريخِ المعيّنِ، المذنب كَانَ يَعْبرُ عقدةَ مداره الهابطة، اللحظة المفضلة للإلتقاء مَع مركبةَ تَتحرّكُ في مستوي دائرة البروج. والإلتقاء محتملَ أيضا عند العقدةِ الصُاعُدة، لكن فوائدَه أقلَ. على سبيل المثال، مسافة المسبار عن الأرضَ كَانتْ أكبر (تتطلب إتصالاتِ أبطأ)، ومسافة المذنبِ عن الشمسِ كَانتْ أكبر أيضاً (دلالة على أقل نشاط للمذنب ونحصل فقط على نِصْف الطاقة التي توفرها الخلايا

الشمسية للمسبار). النقاط البيضاء على مسار المسبارِ تُشيرُ إلى مواقعِهم في بِداية كُلّ شهر.

إشتركَ السوفييت مَع فرنسا وأمم أخرى لإطْلاق المَسابرِ فيجا-1 و فيجا-2 في 15 و 21 ديسمبر 1984، على التوالي. مقطعا الأسم فييجا يُبيّنُ الهدفَ المضاعفَ لهذا البرنامجِ، الذي كُرّسَ جزئياً للإستكشافِ كوكب الزهرة ، وجزئياً إلى دراسةِ جاليا Galleia، الاسم الروسي لهالي. بعد التحليق قرب الزهرةِ، حيث أنزل وحداتَ الهبوطِ (أنظر الشكل (4-4)) في يونيو 1985، واصلتْ المَسابرَ طريقِها نحو المذنبِ هالي، وأقتربُت إلى مدي 10000 كيلومترِ في مارس 1986. من جهته، أطلقتْ وكالة الفضاء الأوربيةَ مِسبارَ جيوتو، الذي سَمّى على اسم الرسّامَ الإيطاليَ الذي صَبغَ المذنبَ هالي في إحدى نماذجه الجصّية في 1304. وَصلَ جيوتو والتقي بالمذنبِ بعد ثمانية أشهر، في 13 و 14 مارس 1986. وكانت سرعة المذنب 8 كيلومتراتِ في الثّانية وتحتاج دقة طيرانِ عظيمةِ جداً لوَضْع جيوتو على مسافةِ 596 كيلومتر منْ نواةِ المذنب. مِنْ هذا الموقع الممتازِ، أرسل جيوتو 2000 صورةَ تظهر النواةَ كجسم صلب مغَطّى بغبارِ أسودِ. المِسباران الآخران، ساكيجاك و سويزي، كَانتْا يابانيتان. تَعْني أسمائُهم اليابانية 'إستطلاعاً' و 'مذنبَ'، على التوالي.

وفكرة رحلّة عودةِ عيّناتِ من نواةِ مذنبِ كَانتْ قَيْد النّظر بوكالاتِ الفضاءِ الرئيسيةِ منذ 1984. واقترحُ طريقتان للعمل هناك. الأبسط يَتضمّنُ عبور المسبار خلال هالة المذنبِ وجمع الغبارِ المنطلق مِنْ النواةِ. يَتضمّنُ الخيارُ الآخرُ إنزال مثقاب أَو أكثر على النواةِ، لأخذ عينات من السطحِ، أَو من الداخل. في الحالتين، العينات تُعادُ إلى الأرضِ في كبسولة مُغلفة مجهزة بحمايةِ حراريةِ لإعادةِ دخولها إلي الأرض.

الحَلّ الأول أتي بمشاريعِ سيزر CAESAR (يَختبرُ جوَّ مذنبِ والعودة بعينات للأرضِ) في ESA ، و سووكر SOCCER في ISAS قَبْلَ أَنْ تحتفظَ ناسا بالمسبار ستاردست Stardust. غادرَ ستاردست في فبراير 1999 على أمل جمع جزيئاتِ مذنبات كبيرة الحجم بما فيه الكفاية (أكبر مِنْ 15 ميكرونِ) للتحليلِ. وإلتقاء المسبار مع مذنبِ ويلد 2،Wild 2 في يناير 2004. سَتُجْمَعُ أيضا جزيئات غبارِ بين النجومِ. الكبسولة التي تَحتوي العيناتَ سَتَعود عند إقترابه التالي القَريبِ من الأرضِ في 2006.

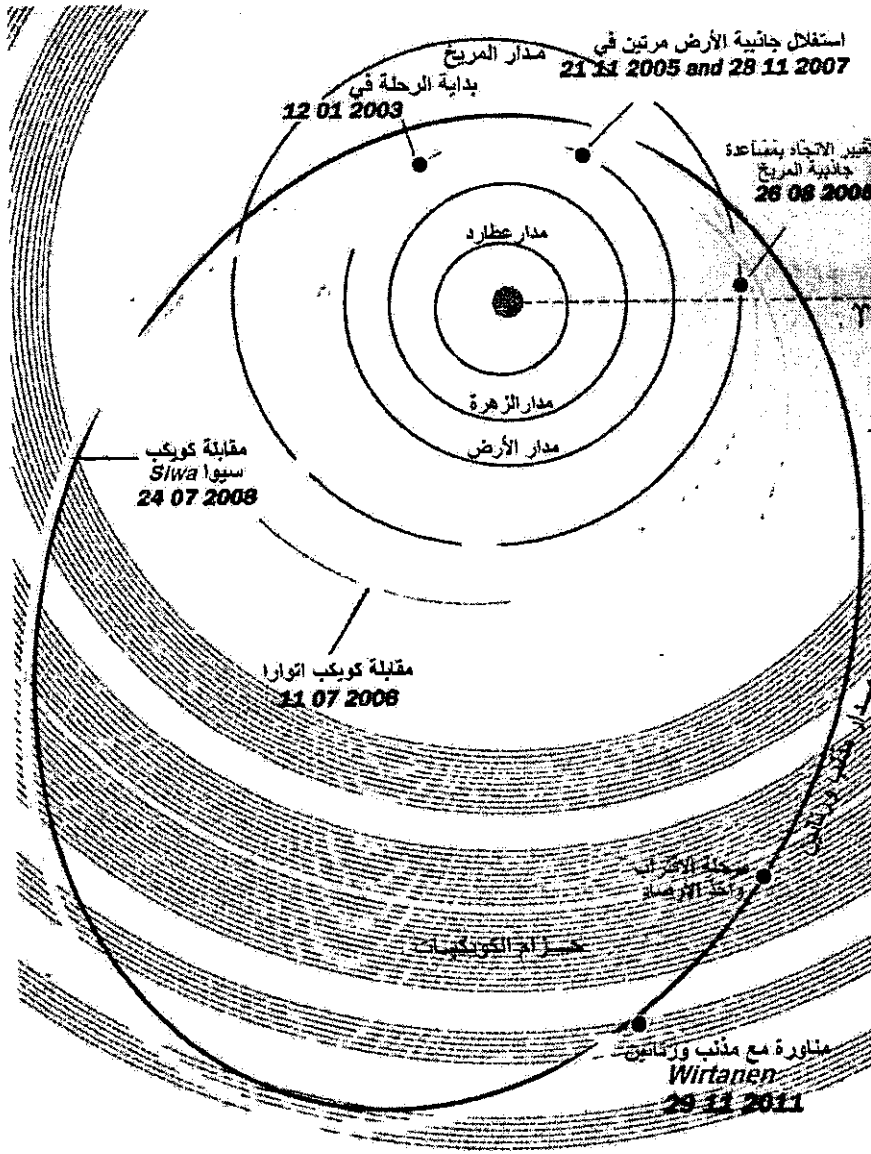
الحَلّ الثاني كَانَ أصلاً موضوعَ مشترك بين ناسا- وإيسا، في 1984. هذا المشروعِ عُمّدَ مسبار روزيتا في 1988، نسبة لحجر الرشيدِ الذي أدّى إلى حَلّ اللغة الهيروغلوفيةِ المصريةِ.

كانت ناسا تُزوّدَ أتوبيس مارينر مارك-2، و إيسا ، بمسبار الهبوط و كبسولةُ العودة. و المشروع لَمْ تُحتَفظْ به ناسا في 1996. وتبنت إيسا هذه الرحلةِ هو جزء مِنْ البرنامجِ ببَعْض التعديلاتِ، لكنه بَقي بنفس الاسمِ. الرحلّة إنطلاقتُ في يناير 2003. تضمّنُت مسبار مداري سَيَدْخلُ المدار حولَ المذنبِ ورتانين Wirtanen الشكل (4-25) ومسبار هبوط سَتتمُ تحليلاتَ في موقعها الأصليَ، منذ التخلي عن فكرةِ عَودة العيناتِ مُنْذُ ذلِك الحينِ. وهو يَستُغلُ بعد ذلك جاذبيةَ المريخ لعمل مناورات في أغسطس 2005 ثم جاذبية الأرض في نوفمبر 2005، قبل التحليق علي بعد 1000 كيلومترِ من الكويكب أوتوارا Wtawara في 2006، وعلى بعد 1000 كيلومترِ من سيوا Siwa في 2008. وبَعْدَ أنْ يَصلَ المسبار إلي نقطة الأوج في سبتمبر 2010، ستدخل روزيتا في مدار حول المذنبِ ورتانين في 2011، ليُرافقُه حتى 2013.

المسبار المداري سَيَحْملُ أربعة آلات تصوير: (آلتا تصوير في أطوالِ الموجة المرئيةِ بدقة عاليةِ ومتوسّطِة)، مقياس طيفي فوق بنفسجي ، مقياس طيفى للخرائط يعمل بالأشعة المرئية وتحت الحمراء، مقياس طيفي بالمايكروويفِ. وسَتُركّبُ أربعة أجهزة تحلّيلُ للغبار والغاز. بالإضافة إلي وجود تجارب عِلْمِ الراديو، بيئة بلازما المذنبات ودِراساتِ تفاعلِ الرياح الشمسيةِ ، دِراسات غبارِ ، ودراسة بالأشعة السينية للنواة.

المسبار المداري مُجهّزُ لإخذ عينات من عمقِ مترِ واحد وَعْملُ تحليل مُفصّل عن مادّةِ المذنب. ويَتضمّنُ تقنياتُ تحليلَ عناصرَ بالاشعة السينيةِ ، مطياف للجزيئات والبروتونات.

يَقِعُ مشروعِان آخران للمذنبات ضمن إطارِ برنامجِ الإكتشافَ. المسبار كونتور (جولة نواةِ مذنبِ) بَدأُ في 2002 لملاقاة ثلاثة مذنبات في 2003، 2006 و2008، ولَهُا مهمّة مشابهة لمسبار نير NEAR. ويمكن أعادة برمجة المسبار سريعا إذا تم أكتشاف مذنب جديد. ومن المفضل لقاء مذنب عند عبورة الأولِ خلال الكواكب الداخلية، حيث لم تعَانى مكوناته كثير من التعديلاتِ. أخيراً يحدث ارتطام عميق للمسبارِ، حدّدَ له عام 2004، حيث سَتُرتطم كتلة 500 كيلوغرام بسرعةِ عاليةِ بالمذنبِ P/Tempel 1. سترصد آلة تصوير درجة تباينه عالية ومقياس طيفي للأشعة تحت الحمراء وبعد ذلك سَيُرصد حفرةَ الأرتطام والحطامَ المتصاعد مِنْ النواةِ، عند مروره علي بعد 700 كيلومترِ.



الشكل (4-25). مدار روزيتا. المسبار روزيتا إنطلاقً في بداية 2003.