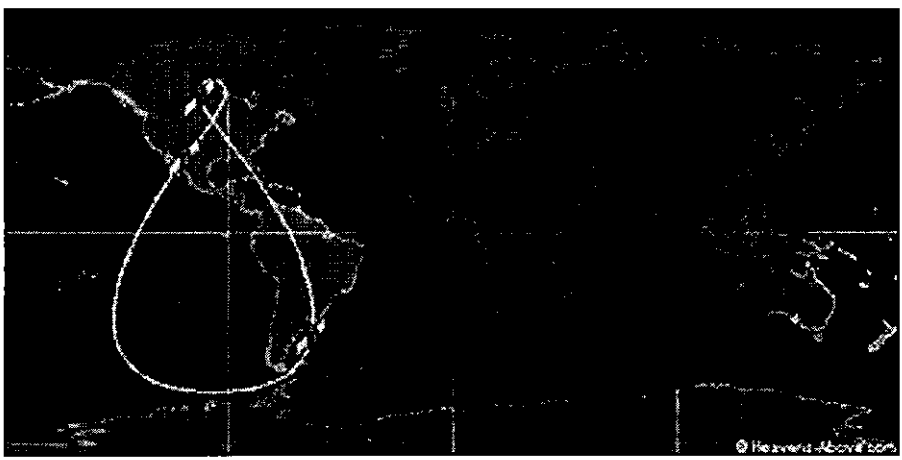
أمثلة علي المدارات الاهليجية HEO التي تتيح رؤيةُ على مناطقِ الأرضِ القطبيةِ، التي لا تغطيها أغلب الأقمار المتزامنة:

- مدار مولنيا **Molniya orbit** ، استعملته أقمار الاتصالات السوفيتيةِ.
- مدار تندرا **Tundra orbit**، طور أيضاً لاستخدام السوفيتِ، لكن استخدم فقط من قبل **Sirius Satellite Radio** الأمريكي.

أغلب روسيا علي خطوط عرض عاليةٍ ، لذا مدار القمر الثابت لا يُمدهاُ بتغطية كاملةً للمنطقةِ. لذلك فالمداراتِ الإهليجية السوفيتية تتيح أيضا تغطيةً قطبيةً.



الشكل (5-6). المسار الأرضي لمدار قمر Sirius Satellite Radio عالي الاستطالة.

6-5 : مـــــدارِ الانتظار[18] Parking orbit :

مدارِ الانتظَار مدار مؤقت يستعملَ أثناء انطلاق قمر صناعي أَو مِسبار فضائي. أي مركبة تنطلقِ إلى مدارِ انتظار حول الأرض تتحرك فيه لفترة، ثمّ تنُطلقُ ثانيةً لدُخُول المدار النهائي.

---

[18] الفقرات (5-6) حتى (5-6-3) من موقع "http://en.wikipedia.org/wiki/Parking_orbit"

إن بديل مدارَ الانتظار هو الانطلاق المباشرةُ للمدار النهائي، حيث يعمل الصاروخ بصفة مستمرّ (ماعدا صواريخ المراحل المتعددة) حتى ينتهي وقودِهُ، وتوضع الحمولةِ في المدار النهائيِ.

1-6-5 : أسباب استخدام مدارَ الانتظار:

أتخذ مدار الانتظار فى أحد المهماتِ المبكّرةِ لمركبة رانجر **Ranger** إلى القمرِ. هذا يُمْكِنُ مَنْ زيادَة زمن نافذةَ الإطلاق. لرحلات الهروبِ من الأرضِ، نافذةَ الإطلاقَ قصير جداً في أغلب الأحيان (ثواني إلى دقائقِ) إذا لم يستخدم مدار انتظار. ومَع مدار الانتظار، يُمْكِنُ زيادة نافذةَ الإطلاق في أغلب الأحيان إلى عِدّة ساعات.

- في الرحلاتِ إلى مدارات مرتفعة، فإن الموقع المطلوب للحرقِ النهائي قَدْ لا تَكُون في الموقع المناسب. بشكل خاص، لمهماتِ الهروبِ من الأرضِ التي تُتَطلب تغطيةَ شماليةَ جيدةَ مِنْ المسار، يكون المكان الصحيح للحرقِ النهائيِ (أو نقطة دخول المدار) فى أغلب الأحيان في نصف الكرة الأرضيةِ الجنوبيِ.
- فى رحلاتِ مدار القمر الثابت، الموقع النهائي الصحيح للإطْلاق عادة يكون على خطِ الإستواء. وفي مثل هذه الحالةِ، يطلق الصاروخ، ويتحرك في مدار الانتظار حتي يصبح على خطِ الإستواء، ثمّ يُطلقُ ثانيةً إلى المدار الانتقالي الثابت.
- في الرحلاتِ القمريةِ المأهولة، يسمح مدار الانتظار بِبَعْض المراجعات للمركبة وهي ما تزالَ قرب الأرضِ، قبل بداية رحلتها للقمر.
- نحتاج إلى مدار الانتظار إذا كان المدارَ المطلوبَ لَهُ حضيض عالي الارتفاع. في هذه الحالةِ، تنطلق الصواريخ في مدارَ انتظار إهليليجي، يتحرك فيه لفترة حتى يصل إلى أعلي نقطة في المدارِ، ثمّ تُطلقُ صواريخ الدفع ثانيةً لزيادة ارتَفاع الحضيضِ (أنظر مدارَ هومان الانتقالي). في هذه الحالةِ، يستعملِ مدارِ الانتظار ليُمْكِنُ منْ خفّضَ استعمال الوقودَ وأيضاً عند تغييرِ ميلِ المدار، حيث تحتاج إلى تغير في السرعة أقل عند أعلي ارتفاع في المدار.

2-6-5 : عيوب مداراتِ الانتظار :

إنّ العيب الأكثر بروزاً فى مدارات الإنتظار هو أن الصاروخ يَحتاجُ للحركة فيه لفترة، ثمّ يَبدأ الرحيل منه. علاوة على ذلك أن طول فترتي إشعال الصاروخِ (الاشتعال الابتدائي، والاشتعال النهائي) يَعتمدانِ على زمنِ الإطلاق في نافذة الإطلاقَ. لعَمَلُ هذا بدون فقدَ للوقودِ، فإن مرحلة الصاروخِ يجب أنْ يشتعل وقودهاَ، ثمّ يتوقّف، ثمّ يشتعل ثانيةً عند الطلبُ. وهذا يَتطلب محرّك وقودِ سائلِ حيث صواريخِ الوقودِ الصلبةِ لا يُمْكن أنْ تتحكم في إيقافَ أَو أُستَئنافَ إشعالها- حيث أنه بمجرد إشعالها فإنها تَحترقَ حتى

النهايةِ. لكن حتى في محركات الوقود السائل، فان قابلية تعدد إشعالها غيرُ مقبولة لعدد مِنْ الأسبابِ:

- أثناء الانحدار، فإن الوقود سوف يتحرك بعيدا عن قاعدة خزانات الوقود وفوهة مضخة الوقودَ. ويجب أنْ يُتعاملَ مع هذا بطريقةٍ ما. أمّا أن تجهز خزانات الوقود بحاجز مرن يمنع ابتعاد الوقود عن قاع الخزانِ. أو معادلة النقص فى الوقود لإعادته إلى قاعدة الخزانات.
- تحتاج إلى بطاريات عمرها أطولِ وكمية أكبر من المواد الأخرى المستهلكة.
- تَستعملُ بَعْض المحرّكاتِ مواد كيماوية خاصّةً للاشتعال؛ وكذلك لأنظمة متعددة لإعادة الإشعال.
- مطلوب عزل أفضلُ، خصوصاً في خزانات الوقود العالية التّبريد، لمَنْع وقود الوقود من الغليان أكثر من اللازم أثناء الانحدار coast في المدار.
- مطلوب نظام توجيهِ ثابت أفضل، لمُتَابَعَة حالةِ المركبة أثناء الانحدار.
- مطلوب نظام سيطرةِ تفاعلي، لتَوجيه مرحلةِ الصاروخ بشكل صحيح لاشتعال النهائي، وربما لتحقيق توجيه حراري مناسب أثناء الانحدار.
- إن عائلات صواريخ المراحلِ العليا قنطورس Centaur و أجينا Agena صُمّمتا لإعادة الاشتعالِ.

3-6-5 : أمثلة علي مدار الانتظار :

- استعملت مدارات الانتظار في برنامجَ أبوللو، لكُلّ الأسباب التي ذَكرتْ سابقا ماعدا تلك التي تَخْصُّ مداراتِ القمر الثابتة.
- رحلات المكوك الفضائي إلى المحطة الفضائيةِ الدوليةِ لم تَستعملُ مداراتِ انتظار، لعِدّة أسباب. إنّ المحطةَ في مدار أرضِي منخفض عالي الميل، حيث لا تفيد كثيراً مدارات الانتظار. المكوك ليس لديه خاصية تعدد الاشتعال؛ ونوافذ إطلاق القصيرة لَيستْ مشكلة حرجة (فيمكن تأجيل الإطلاق لليوم التالي، وذلك بسبب هندسةِ المدارِ).
- من الناحية الأخرى، عندما يطلقَ المكوكَ مَسابرَ إلى ما بين الكواكبَ مثل مسبار جاليليو، فيستعملَ مدارَ المكوك كمدار انتظار لوضع المسبار في الموقع الصحيح في مدارهِ.
- صاروخ آريان 5 (Ariane 5) لا يَستعملُ مداراتِ الانتظار. هذا ببسَاطُة لأن الصاروخ لايحتاج تعدد الاشتعال، والخطأ صغيرةُ في رحلات المدارات الانتقالية GTO ، حيث أن موقع إطلاقها قريب من خطِ الاستواء. وكتطوير

للمرحلةِ الثانيةِ من الصاروخ (ESC-B) سَتحتويُ على خاصية تعدّدَ الاشتعال، لذلك فالرحلات المستقبلية يمكنها استخدام مداراتِ الانتظار.

- كمثال لمدارِ الانتظار، فإن مركبة النقلِ الآليةِ Automated Transfer Vehicle(ATV) يُمْكِنُها أنْ تتحركَ لعِدّة شهور في مدارِ الانتظار لتنتظر الالتقاء بالمحطة الفضائيةِ الدوليةِ. لأسبابِ الأمانِ، فإن عربة النقلِ الآليةِ لا تَستطيعُ الاقتراب مِنْ المحطةَ بينما يستطيع مكوك الفضاء ذلك.

7-5 : مدارات الأقمار المتزامنة مع الشمس[19] :

إن المدارات المتزامنة مع الشمس Sun- Synchronous satellite orbits هي مدارات تقع في مستوى يصنع زاوية ثابتة A مع الخط الواصل بين الشمس والأرض مهما تغير وضع الأرض بالنسبة للشمس طوال العام الشكل (5-7). لاحظ ثبات الزاوية بين مستوى المدار والمستوى الفاصل بين الليل والنهار على الكرة الأرضية. وللاحتفاظ بهذه الخاصية يجب أن يكون للمدار سبق عقدي محدد Nodal precession، فيتحرك الخط العقدي للمدار بمعدل ° 360 في السنة أو ° 0.986 يوميًا. وهذه القيمة تمثل متوسط حركة الأرض اليومية في مدارها حول الشمس. وحتى تكون حركة الخط العقدي في نفس اتجاه حركة الأرض حول الشمس، يجب أن يكون مدار القمر مدار تقهقري Retrograde Orbit أي يكون ميل المدار أكبر من ° 90. وتعتمد قيمة الميل على ارتفاع القمر الصناعي الشكل (5-8). حيث نلاحظ من الشكل للوصول إلى قيمة السبق العقدي °0.986 على ارتفاع 200 كم يجب أن يكون ميل المدار حوالي ° 96. وكلما زاد ارتفاع القمر يمكن زيادة ميل المدار حتى يصل الميل إلى ° 105 لقمر على ارتفاع 2000 كم ويجب أن يتوفر للأقمار المتزامنة مع الشمس الشروط التالية:

- عبورها عند موقع ما على سطح الكرة الأرضية يكون عند زمن شمسي متوسط ثابت وبالتالي يكون لمعان تلك المنطقة أي أضاءتها بأشعة الشمس ثابتة في نفس اللحظة من اليوم ويتغير اللمعان فقط مع فصول السنة نتيجة لتغير ميل الشمس.
- يغطي القمر تقريبا كل سطح الكرة الأرضية حيث يكون المدار شبه قطبي (يمر بالقرب من قطبي الكرة الأرضية).
- يتحدد زمن عبور القمر لنقطة ما على سطح الأرض بزمن إطلاق القمر من الأرض.

---

[19] من الفقرة (5-7) وحتى نهاية الفصل من "Fernand Verger, et al; The Cambridge Encyclopedia of space of Space;2003"