الأقمار الصناعية وصواريخ إطلاقها

تأليف
أ.د عبدالعزيز بكري أحمد
استاذ بقسم الفلك والأرصاد الجوية
كلية العلوم- جامعة الأزهر
2018

أسم الكتاب : الأقمار الصناعية وصواريخ إطلاقها

تاليف : أ.د / عبد العزيز بكرى أحمد

رقم الايـــــداع 1926
الترقيم الدولى 7 - 008 - 822 - 977 - 978

لا يجوز نشر أى جزء من الكتاب أو إعادة طبعه أو إختصاره بقصد الطباعة أو إختزان مادته العلمية أو نقله باى طريقة سواء كانت اليكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو خلاف ذلك دون موافقة كتابية من الناشر مقدماً .

الطبعة الاولى
2018

الناشر : دار طيبة للنشر والتوزيع والتجهيزات العلمية

حقوق النشر والتوزيع محفوظة لدار طيبة للنشر والتوزيع والتجهيزات العلمية - 2016

23 شارع الفريق محمد إبراهيم منفرع من مكرم عبيد - مدينة نصر القاهرة ج.م.ع
تليفون : 22725312 - 22725376 - 26706912 (02)
فاكس : 26706912 (02)
email: dartlba2015@yahoo.com

الطباعة والتجليد: البدر للطباعة والتجليد للتكامل
ت: 01007830779 ،01224142709

مقدمة المؤلف

إن التقدم الهائل للعلوم الأساسية فى هذا العصر ، وما يترتب عليه من تقدم تكنولوجى، ومعلوماتى ساعد الحضارة الإنسانية على التقدم السريع لرفاهية البشر وحل مشكلاته. ومن أهم العوامل التى ساعدت على هذا التقدم هو أرتياد الفضاء الذى بدأ فجره فى الرابع من أكتوبر عام 1957 م عندما أطلق الإتحاد السوفيتى بنجاح سبوتنيك – 1. ولم يمضى سوى خمسون عاما فقط حتى وجدنا السماء تعج بالأقمار الصناعية والمحطات الفضائية، التى تخدم جميع المجالات من اتصالات واستشعار عن بعد وتجسس وأرصاد جوية وتلسكوبات فضائية. وفرت للبشرية سرعة الأتصال فى أى وقت بأى مكان فى العالم بضغطة زر الهاتف. أصبحنا نرى جميع المحطات الفضائية لجميع دول العالم التى أطلعتنا على ثقافات الشعوب المختلفة وأزالت الحواجز والحدود لتعرف جميع الأخبار الكرة الأرضية لحظة حدوثها. أصبحت صور الغلاف الجوى بما يحويه من سحب وعواصف وأعاصير تحت يدنا لذلك أصبحنا نتوقع الكوارث قبل حدوثها لتلافى الأخطار وتقليل الخسائر. تبعث لنا الأقمار الصناعية صور بالأشعة تحت الحمراء لثروات الأرض ولأماكن لايستطيع الإنسان الوصول إليها ورسم خرائط لتضاريس الأرض بدقة شديدة. كذلك أستطعنا التغلب على الصعوبات التى يواجهها الفلكيون عند الرصد من سطح الأرض فحملت المناظير الصغيرة إلى الفضاء لتسبر أعماق الكون وترسل لنا كل صباح أكتشاف كونى جديد لم نكن ندركه من سطح الأرض.

لذلك كان من الواجب على كل متخصص أن يبسط معرفة هذا التقدم العلمى والتكنولوجى ونقلها باللغة العربية للقاعدة العريضة من الشباب والكبار الذين يبحثون عن المعرفة بجميع الوسائل مهما كانت المشقة.

وكان هذا الجهد المتواضع منى لأضع نقطة فى بحر المعرفة لأبناء هذا الوطن حتى لايتخلفوا عن أقرانهم فى الدول المتقدمة. وأخترت موضوع الأقمار الصناعية لما له من أهمية فى حياتنا ويحتاج إلى نقل الكثير من جوانبه المجهولة بطريقة مبسطة بلغتنا العربية حتى تتضح المعلومة لنواكب هذا التقدم العلمى الهائل.

لذلك أحتوى الكتاب على تعريف مبسط للأقمار الصناعية وأنواعها وأنظمتها المساعدة التى تؤمن عملية إطلاق الصواريخ الحاملة للأقمار الصناعية ومتابعة القمر فى مداره وتصحيح أى خطاء يحدث. كذلك التعرف على أنظمة الطاقة التى تساعد على أستمرار عمل القمر. كما وضحنا بعض المشكلات التى تواجه القمر الصناعى فى

الفضاء، مثل الأشعة الضارة والجسيمات الصغيرة التى ترتطم بجسم القمر، ومقاومة الغلاف الجوى والجاذبية الأرضية.

كذلك وضحنا القوانين التى تحكم حركة القمر ومعرفة إحداثيات القمر فى المدار فى أى وقت حتى نتمكن من متابعته أثناء تحليقه.

وأستعرضنا خطوات إطلاق القمر وأنتقاله بين المدارات المختلفة وهو ما يعرف بالمناورة حتى يتم وضع القمر فى مداره النهائى. وأوضحنا طريقة حساب المسار الأرضى للقمر الصناعى أثناء تحليقه.

وتناولنا المسارات الأرضية المختلفة وكيفية تغير المسار مع ارتفاع القمر عن الأرض وزاوية ميل المدار. كذلك أوضحنا العوامل الأخرى التى تؤثر على شكل المسار ليوافق المهمة المنوطة للقمر، وأستعرضنا أمثلة على ذلك لبعض الأنواع المختلفة من الأقمار الصناعية.

واستكمال لهذا الكتاب تناولنا فى كتاب آخر كيفية تشييد المحطات الفضائية ومدارات مسابر اكتشاف اقمار وكواكب المجموعة الشمسية ووضعنا عنوان للكتاب "المحطات الفضائية واستكشاف المجموعة الشمسية".

وأتمنى من الله أن أكون وفقت لأن يكون هذا الكتاب خطوة إلى الأمام لرقى وتطور الثقافة العربية.

المؤلف

bakryastro@yahoo.com

محتويات الكتاب

مقدمة	**3**
المحتويات	**5**
قائمة أشكال الكتاب	**9**
قائمة جداول الكتاب	**12**
الفصل الأول : الأقمار الصناعية	13
القمر	15
منظومة القمر الصناعي	15
الأخطار التي تهدد القمر الصناعي	18
مكونات القمر الصناعي	22
المركبة الفضائية	23
التركيب	23
أنظمة التحكم	24
أنظمة الطاقة	25
أنظمة التحكم الحرارى	25
الأوامر والتحكم	26
شروط إطلاق المركبات الفضائية	28
الفصل الثاني : البيئة الفضائية	**31**
الفضاء البعيد	33
الفضاء القريب	37
الغلاف الجوي	37
الماجنيتوسفير	38
البلازما في الماجنيتوسفير	41
الشروط الحرارية	42
الغبار والحطام الفضائي	43

الفصل الثالث : عناصرالمدار **45**

هندسة المدارات 47
قانون نيوتن 48
قوانين كبلر 49
محاور الإحداثيات 50
عناصر المدار 52
حساب عناصر المدار 56
الإقلاق وتصحيح المدار 61
مدار هومان الانتقالي 65

الفصل الرابع : المسارات الأرضية للأقمار الصناعية **67**

المسار الأرضي 69
تأثير ارتفاع القمر وخط عرض المكان 71
بالنسبة للمدارات الدائرية 71
بالنسبة للمدارات الاهليجية 72
الخواص الأساسية للمسار الأرضي 73
أنواع المسارات الأرضية للقمر الصناعي 76
المدارات الدائرية 76
المدارات الإهليجية 79

الفصل الخامس : مدارات الأقمار الصناعية **83**

تصنيف المدارات 85
التصنيف المركزي 85
تصنيف المدارات الأرضية تبعا للارتفاع 85
تصنيف تبعا للميل 87
تصنيف تبعا لاستطالة المدار 87
تصنيف تبعا للتزامن 88
تصنيفات خاصة 90
تصنيف اخرى المدارات 91
نقاط لاجرانج 92
المدار الأرضي المنخفض 95

خواص المدارات الأرضية المنخفضة 95
المدار الأرضي المتوسط 96
المدارات الأهليجية عالية الاستطالة 97
مـــدارِ الانتظار 98
أسباب استخدام مدارَ الانتظار 99
عيوب مداراتِ الانتظار 99
أمثلة علي مدار الانتظار 100
مدارات الأقمار المتزامنة مع الشمس 101
حالات المدار المتزامن الخاصة 106
المدارات الثابتة 108
حساب موقع المدار الثابت 108
إطلاق القمر الصناعي الثابت 109
الإطلاق من قاعدة جوانا 111
الإطلاق من قاعدة كابكانفرال 112
الإطلاق من قاعدة بيكنور 113
خسوف القمر الصناعي 114
تتبع القمر 116

الفصل السادس : تصنيف المركبات الفضائية 119

المركبات الفضائية التي تحلق قرب جسم سماوى 121
مركبات فضائية مدارية 123
مركبات الغلاف الجوي 123
مركبات فضائية تهبط علي الكواكب 126
مركبات فضائية مخترقة 127
مركبة المتجول الفضائي 127
مركبة المرصد الفضائي 128
مركبات الملاحة الفضائية والاتصالات 130

الفصل السابع : صـواريخ الاطـلاق 133

القوى المؤثرة على الصاروخ 135
قوة دفع الصاروخ 138
وزن الصـاروخ 139

قوى الهواء الديناميكية على الصاروخ 141
الحركة الرئيسية للصاروخ 142
دوران الصاروخ 143
محاور الجسم 143
استقرار الصاروخ 145
أمثلة على التحكم فى الصاروخ 148

الفصل الثامن : دفع الصواريخ 151

قوة الدفع 153
العزم 154
الإشتعال وسرعة العادم 155
الدفع 156
المحركات وفوهاتها 157
تعدد مراحل الصواريخ 159

قائمة المراجع 161

دليل الكتاب 162

معجم المصطلحات 170

كتب للمؤلف 180

قائمة أشكال الكتاب

الشكل (1-1). منظومة إطلاق القمر وتتبعه. 16
الشكل (1-2). مدار قمر منخفض. 17
الشكل (1-3). الموجات الكهرومغنطيسية للإشعاع الشمسي. 21
الشكل (1-4).ارتطام شظية بنافذة مكوك الفضاء. 22
الشكل(1-5). الألواح الشمسية في القمر الصناعي. 25
الشكل (1-6). تنوع نافذة الإطلاق تبعا لخط عرض موقع الإطلاق. 19
الشكل (2-1). المجموعة الشمسية وابعاد كواكبها وأقمارها. 33
الشكل (2-2). حزام ومدارات الكويكبات. 36
الشكل (2-3). التقسيمات الرئيسية للفضاء القريب. 36
الشكل (2-4). شكل المجال المغناطيسي الأرضي في حالة عدم وجود رياح شمسية. 39
الشكل (2-5). المجال المغناطيسي في وجود الرياح الشمسية. 40
الشكل(2-6). مقطع في الكرة المغناطيسية للأرض. 41
الشكل (3-1). المدار الأهليجي. 41
الشكل (3-2). القانون الثانى لكبلر. 48
الشكل (3-3). قانون كبلر الثالث. 50
الشكل (3-4). الخط العقدي للمدار. 51
الشكل (3-5).اتجاه نقطة الإعتدال الربيعي. 51
الشكل (3-6). عناصر مدار القمر الصناعي. 52
الشكل (3-7). قياس الزاوية ω . 54
الشكل (3-8). قياس الحصة الحقيقية ν . 55
الشكل (3-9). تحديد اتجاه حركة القمر. 55
الشكل (3-10).تحديد ميل مدار القمر. 56
الشكل (3-11). خط طول نقطة الدخول للمدار. 58
الشكل (3-12). إزاحة النقطة M عن الحضيض والعقدة. 58
الشكل (3-13). إزاحة الحضيض عن العقدة. 59
الشكل (3-14). السرعات التي تحقق المدارات المختلفة. 60
الشكل (3-15). اتجاه دوران العقدة. 62
الشكل (3-16). طريقة تعديل ميل مدار القمر. 63
الشكل (3-17). اتجاه دوران الحضيض تبعالميل المدار. 64
الشكل (3-18).تعديل اتجاه نقطة الحضيض. 64
الشكل (3-19). تعديل ارتفاع الأوج. 65
الشكل (3-20). طريقة هومان للمدارات الإنتقالية. 66
الشكل (4-1). المسار الأرضي لقمر بفرض عدم دوران الأرض. 70
الشكل (4-2). المسار الأرضي باعتبار دوران الأرض. 71

الشكل (4-3).تأثير الارتفاع علي المسار الأرضي لقمر مداره دائري. 72
الشكل (4-4). تأثير الارتفاع على المسار الأرضي لقمر مداره بيضاوي. 73
الشكل (4-5). تأثير خط العرض على المسار الأرضي. 74
الشكل (4-6). خط عرض منطقة التغطية وميل المدار. 74
الشكل (4-7). مقارنة المسار الأرضي لمدار دائري ومدار بيضاوي. 75
الشكل (4-8). تغير أنواع المسارات الأرضية بتغير الارتفاع والميل. 77
الشكل (4-9). المسار الأرضي للمحطة الفضائية الدولية خلال 24 ساعة. 78
الشكل (4-10). المسار الأرضي للمركبة الفضائية HCMM خلال 24 ساعة. 79
الشكل (4-11). مسار أرضي للقمر Elektron 4في دورة كاملة. 80
الشكل (4-12). مسار قمر الاتصالاتMolniya. 81
الشكل (4-13). مثال آخر لمسار قمر الاتصالاتMolniya. 81
الشكل (4 -14). يمثل مسار قمر عسكري للتحذير المبكر. 81
الشكل (5-1). ارتفاعات المدارات المختلفة للمركبات والمحطات الفضائية. 86
الشكل (5-2). مدار اهليجي عالي الاستطالة. 90
الشكل (5- 3). منحنيات تساوي الجاذبية. 93
الشكل (5-4). نقاط لاجرانج في نظام الأرض-القمر. 94
الشكل (5-5). المدار الهالة حول النقطة L_1 . 94
الشكل (5-6). المسار الأرضي لمدار قمر عالي الاستطالة. 98
الشكل(5-7). لأقمار المتزامنةمع الشمس. 102
الشكل (5-8). العلاقة بين مقدار السبق وميل المدار. 102
الشكل (5-9). مدار قمر متزامن مع الشمس. 103
الشكل (5-10). زمن عبور قمر متزامن مع الشمس $SPOT3$ للعقدة الهابطة. 104
الشكل (5-11). إضاءة الشمس عند خطوط العرض المختلفة. 105
الشكل (5-12). عبور القمر للعقدتين عند نفس المكان. 107
الشكل (5-13). أقمار الفجر والغسق. 107
الشكل (5-14). مدار قمر متزامن مع الأرض. 109
الشكل (5-15). منطقة تغطية قمر متزامن. 110
الشكل (5-16). إطلاق الأقمار إلى مدار ثابت. 110
الشكل (5-17). أطلاق الأقمار من قاعدة كورو. 112
الشكل (5-18). إطلاق أقمار من قاعدة كاب كانفرال. 113
الشكل (5-19). إطلاق أقمار من قاعدة بيكنور. 114
الشكل (5-20).حدوث خسوف القمر عند مروره بظل الأرض. 115
الشكل (5-21). أطوال فترة خسوف القمر. 116
الشكل (5-22). تحديد دورات الخسوف للأقمار المتزامنة. 117
الشكل (5-23). موعد أقصى فترات الخسوف. 117
الشكل (5-24). مقدار الانحراف المسموح به للقمر. 118
الشكل (5-25). اتجاهات تصحيح وضع القمر. 118
الشكل (6-1). المركبة الفضائية فويجير. 122

الشكل (6-2). المركبة الفضائية جاليليو. 124
الشكل (6-3). مركبة الفضاء هيجينز. 125
الشكل (6-4). مركبة هبطت علي المريخ من مركبة الفضاء فايكنج. 126
الشكل (6-5). مركبة الفضاء المخترقة. 128
الشكل (6-6). المركبة المتجولة سوجورنير. 129
الشكل (6-7). منظار هابل الفضائى. 129
الشكل (6-8). منظار أشعة جاما. 129
الشكل (6-9). منظار شاندرا للأشعة السينية. 130
الشكل (6-10). منظار الأشعة تحت الحمراء سبيتزر. 130
الشكل (6-11). مجموعة أقمار الملاحة والاتصالاتGPS. 131
الشكل (6-12). نظام الملاحة والاتصالات TDRSS. 132
الشكل (7-1). القوى المؤثرة على الصاروخ. 136
الشكل (7-2). حركة الصاروخ الانتقالية والدورانية. 142
الشكل (7-3). حركة الصاروخ حول محاوره. 144
الشكل (7-4). استقرار وعدم استقرار الصاروخ فى أوضاع مختلفة. 146
الشكل (7-5). مقارنة بين الحركة فى وضعين مختلفين لمركزى الضغط والثقل. 146
الشكل (7-6). مكونات الصاروخ الأساسية. 147
الشكل (7-7). الطرق المختلفة للتحكم فى توجيه الصاروخ. 148
الشكل (8-1). شكل تخطيطي مبسط لمحرك الصاروخ. 152
الشكل (8-2). حركة الصاروخ في زمن Δt. 153
الشكل (8-3). وصف غرفة الإحتراق وفوهة العادم. 155
الشكل (8-4). الأشكال المختلفة لفوهة العادم. 156

قائمة جـداول الكتاب

الجدول (2-1). الخواص الفيزيائية للكواكب. 35
الجدول (3-1). العمر الافتراضي للقمر. 65

الفصل الأول

الأقمار الصناعية

1-1 : القمر

2-1 : منظومة القمر الصناعي

3-1 : الأخطار التي تهدد القمر الصناعي

4-1 : مكونات القمر الصناعي

1-4-1 : المركبة الفضائية

2-4-1 : التركيب

3-4-1 : أنظمة التحكم

4-4-1 : أنظمة الطاقة

5-4-1 : أنظمة التحكم الحراري

5-1 : الأوامر والتحكم

6-1 : شروط إطلاق المركبات الفضائية

الأقمار الصناعية[1]
Artificial Satellite

1-1 : القمر :

القمر Satellite هو أي جسم صغير يدور حول جسم سماوي أكبر منه حجما. وتنقسم الأقمار إلى أقمار طبيعية Natural satellites تكونت مع الكواكب وأقمار صناعية Artificial satellites من صنع الإنسان. وتوضع الأقمار الصناعية في مداراتها بعد إطلاقها من سطح الأرض بمساعدة صواريخ دافعة، تدور هذه الأقمار في مدارات مغلقة (دائرية أو بيضاوية) حول الأرض، أو في مدارات مفتوحة لتنتقل إلى أي كوكب آخر، أو في رحلات استكشافيه في المجموعة الشمسية. والقمر الصناعي هو الحمولة النهائية التي يحملها صاروخ الإطلاق Launcher إلى الفضاء ويضعها في مدارها المخطط له.

2-1 : منظومة القمر الصناعي :

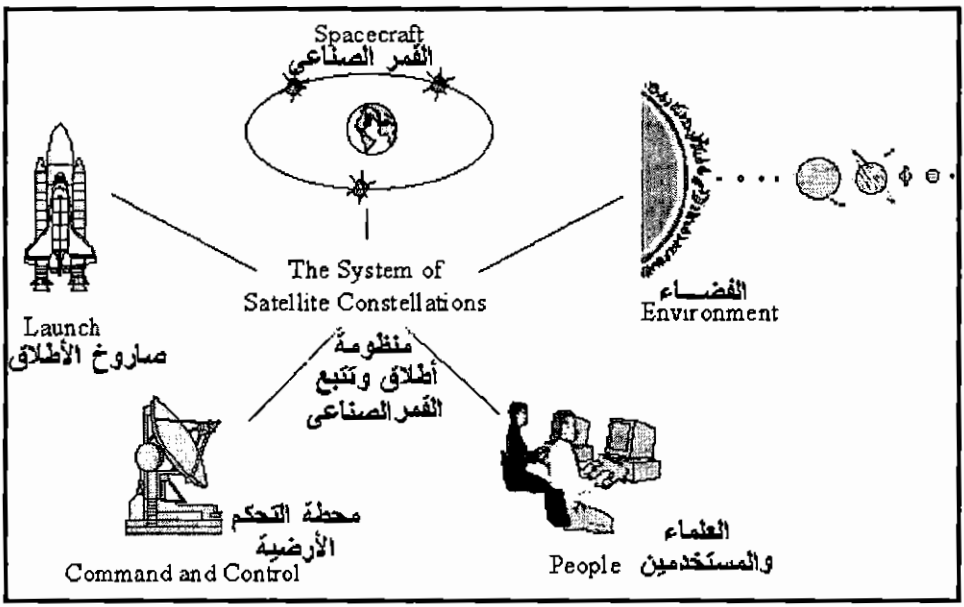
سوف نقصر هنا لفظ قمر على القمر الصناعي. ولإطلاق قمر صناعي إلى الفضاء الخارجي يجب أن يتكون نظام خاص لإطلاق هذا القمر.
النظام يتكون من الإنسان الذي يخطط لمهمة القمر ويقوم بإعداد التصميمات الخاصة لنجاح هذه المهمة، ثم الفضاء الذي سوف يرسل إليه هذا القمر، ثم الأنظمة المساعدة التي تدعم رحلة مركبه الفضاء في رحلتها حيث نظام التحكم الذي يربط المحطات الأرضية بالقمر الصناعي أو مركبة الفضاء الشكل (1-1).

يعمل العديد من الأشخاص لنجاح الرحلة، بعضهم يقوم بتصميم القمر، وآخرون يشرفون على تصنيعه، وآخرون يصممون ويصنعون صاروخ الاطلاق تبعا لنوعية الرحلة. وهناك العديد يباشرون إطلاقه، بالإضافة إلى كثير من الأشخاص المسئولون عن القمر أثناء مهمته مثل رواد الفضاء على متنه أو من يتابع حركة القمر وتصحيحها إذا لزم الأمر في محطات المراقبة والتحكم الأرضية. ولا يمكن نسيان الأشخاص الذين يستخدمون المعلومات التي تمدهم بها الأقمار الصناعية، وهؤلاء المستخدمون هم

الشكل (1-1). منظومة إطلاق القمر وتتبعه.

---

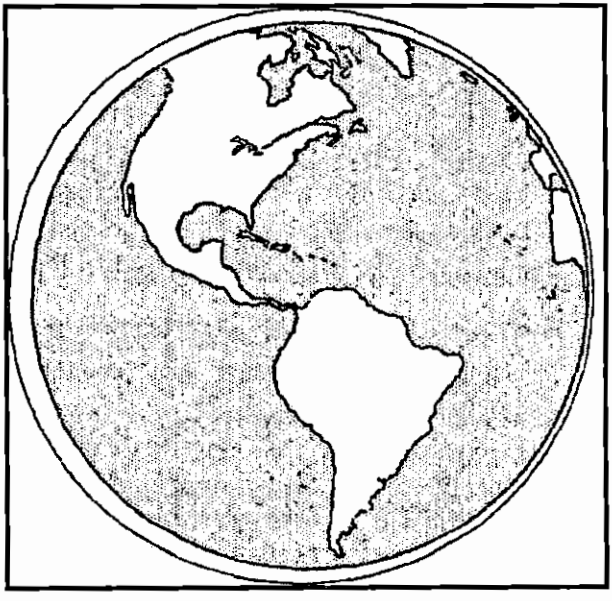
[1] http://www.jpl.nasa.gov/basics/bsf.htm/Big



العلماء الذين يحاولون كشف أسرار الكون، وعلماء الآثار الذين يبحثون عن المدن والآثار المدفونة تحت سطح الأرض باستخدام معلومات الأقمار الصناعية. وعلماء الجيولوجيا الذين يحللون صور الأقمار الصناعية للتعرف على ثروات الأرض من معادن ومياه جوفية وبترول. أو أي شخص عادي يريد معرفة الطقس أو الأحوال المناخية أو يتصل بشخص آخر هاتفيًا عبر المحيط. وكل هذه المتطلبات للبشر تحدد الأهداف من إطلاق الأقمار والأجهزة التي يستخدمها لتحقيق هذه الأهداف.

والجزء الثاني الذي يكون نظام القمر الصناعي هو الفضاء وهو وسط لا يستطيع الإنسان التحكم فيه. فالمعلوم بالنسبة للعامة أن الفضاء هو فراغ خالي من المادة، لكن الحقيقة أن الفضاء محفوف بالمخاطر الجمة لكل من الإنسان والأقمار. فمحيط الفضاء مميت للإنسان الذي لا يحمي نفسه بالوسائل الخاصة، كذلك يمكن أن تحدث كوارث تؤثر على القمر. لهذا يجب أن نحدد بداية الفضاء الخطرة للإنسان والقمر. إن أول هذه الحدود تقول إن 50 ميل بحري (57.5 ميل = 92.6 كم) فوق الأرض هو الحد الآمن فالطيار أو رائد الفضاء الذي يطير فوق هذا الارتفاع يجب ارتداء بدله رائد الفضاء لتجنب مخاطر الفضاء. ولتحديد أكثر فإن أقل ارتفاع لمدارات الأقمار تمكنها من البقاء في مدارها هو 150 كيلومتر. وعند هذا الارتفاع فإن مركبات الفضاء سوف تتأثر بمقاومة الغلاف الجوي Drag لها، الذي يؤثر بشكل كبير على مدار القمر مما يؤدي

إلى اضمحلال المدار وانكماشه خلال يوم أو يومين ويتضح من الشكل (1-2) مدى قرب القمر الصناعي من الأرض رغم أن ارتفاعه 483 كم. فلو تم تشبيه الأرض بحجم برتقالة فإن المدارات المنخفضة للأقمار الصناعية ستكون داخل قشره هذه البرتقالة. والمدارات المنخفضة زمن دورتها حول الأرض أقل من زمن دورة الأرض حول نفسها. ويعتمد زمن دورة القمر على بعد القمر عن مركز الأرض تبعا لقانون كبلر الثالث (أنظر الفصل الثالث). ويرمز لهذا النوع من الأقمار بالرمز LEO وهو اختصار لكلمة مدارات منخفضة حول الأرض Low Earth Orbits وسوف نطلق عليها المدارات المنخفضة فقط.



الشكل (1-2).
مدار قمر صناعى منخفض.

تعاني الأقمار ذات الارتفاعات المنخفضة من مقاومة الغلاف الجوي الذي يؤثر على ثبات مدارها. وبدون تصحيح مدار هذه الأقمار فإنها ستقترب مع مرور الوقت من الأرض، أي تدخل الأقمار في غلاف جوي أكثر كثافة، مما يجعلها تحترق أثناء سقوطها في الغلاف الجوى، مثل ما حدث لمعمل الفضاء Skylab في 11 يوليو 1979 م، الذي أطلق في 1973 م، واتخذ مدارًا على ارتفاع 435 كم، وكانت آخر رحلة فضاء مأهولة لهذه المحطة في 1974 م. وبذلك فان المحطة استغرقت خمس سنوات أثرت الجاذبية ومقاومة الغلاف الجوى، على تقلص مدار المحطة (التي وزنها 100 طن) حتى سقطت (حيث لم يتم عمل تصحيح لمسار المحطة خلال تلك الفترة حيث أنها حققت الأهداف التي من اجلها أرسلت إلى الفضاء).

ومثال الأقمار ذات المدارات المرتفعة، الأقمار التي تتزامن حركتها مع حركة الأرض التى يصل ارتفاعها 37497.72 كم. وتتم هذه الأقمار دورة واحدة حول الأرض في نفس الزمن التي تدور فيه الأرض دورة واحدة حول محورها في 23

ساعة 56 دقيقة (أي يدور القمر حول الأرض بنفس سرعة دوران الأرض حول محورها). لهذا يكون القمر ثابت فوق بقعة معينة من سطح الأرض خلال فترة صلاحية القمر للعمل، ويرمز لهذا النوع من الأقمار بالرمز GEO وهو اختصار للمدارات المتزامنة مع الأرض Geostationary Earth Orbits. والغلاف الجوي ليس له تأثير قوى على الأقمار الصناعية ذات المدارات العالية. وبهذا التوضيح لبداية الفضاء، يكون الغلاف الجوي أحد العناصر المرتبطة بالقمر الصناعي.

والجزء الثاني المؤثر في محيط الفضاء هو الجاذبية Gravity. ومن الواضح أن الجاذبية ليست موجودة فقط على سطح الأرض ولكن أيضا في الفضاء وهي مثل الغلاف الجوي حيث يصبح أقل كثافة وتأثيرا عند الارتفاعات العالية، وهو ما يحدث لتأثير الجاذبية. فتأثير الجاذبية يتناقص بمعدل يتناسب مع مربع البعد عن الأرض. وبمعني آخر إذا كان القمر (أ) بعده عن الأرض ضعف بعد القمر (ب)، فإن (أ) يتأثر بالجاذبية بمقدار أقل أربعة أضعاف من القمر (ب).

3-1 : الأخطـار التي تهدد القمر الصناعي :

أ- الفضاء ليس فارغًا تماما، ولكن يعتبر كذلك إذا ما قورن بالغلاف الجوي الأرضى. فإن ضغط الغلاف الجوي على سطح الأرض يحفظ بعض الغازات داخل مسام المواد الصلبة، وهذه الفكرة تستخدم لبناء المركبة الفضائية. ولإيضاح هذه الفكرة نتصور ما يحدث داخل علبة مياه غازية فثاني أكسيد الكربون يؤثر على السائل بضغط أعلى من الضغط الخارجى. وعند فتح علبه المياه الغازية فان ثاني أكسيد الكربون سيندفع للخروج حيث الضغط أقل. ومركبة الفضاء في مدارها تعاني نفس الشيء فبدون ضغط جوي في الفضاء ستهرب الغازات إلى الفضاء التي تحتويها المواد التي تم تصنيعها على سطح الأرض. وهذه العملية مدمره لأجهزة الاستشعار الدقيقة في مركبة الفضاء مثل العدسات، حيث تصبح المسام التي خرجت منها الغازات فارغة وتصبح المادة هشة. لهذا يتم اختيار المواد التي تصنع منها أجزاء مركبة الفضاء تبعا لفحص دقيق، وعند تصنعيها يتم ذلك في أفران مفرغه للتأكد من عدم حدوث تدمير لها في الفراغ نتيجة لهروب الغازات منها.

ب- والأخطار الأخرى في الفضاء هي الإشعاع والجسيمات المشحونة. فالإشعاع معروف وحولنا في كل لحظة. فالموجات الراديويه نستقبلها من مجسمات الصوت Stereo، وإشعاعات الميكروويف من الأجهزة التي نستخدمها في طهي الطعام، ومن الضوء الذي نستقبله من الشمس، أو من مصابيح الإضاءة التي نتعرض لإشعاعاتها في كل لحظة طوال اليوم. وسوف نستعرض إشعاعات الطيف المختلفة، وكيف نستخدمها

ويجب أن نعلم أن الشمس تشع جميع أنواع الإشعاع التي تشمل النافع منها والضار على الأقمار الصناعية. فالجانب النافع من الإشعاع الشمسي هو الضوء المرئي الذي يتم تحويله إلى طاقة كهربائية من خلال الخلايا الشمسية. وأيضا الإشعاع الشمسي ينتج حرارة غير مطلوبة، التي يمكن أن تؤدي إلى إتلاف العديد من طبقات الطلاء الخارجية التي تحمي المركبة مع مرور الوقت. فطلاء سيارتك يبهت مع مرور الوقت بتأثير أشعة الشمس، رغم أن الغلاف الجوي يعطي بعض الحماية بترشيح الإشعاعات الشمسية الخطرة، لكن الأقمار الصناعية تتعرض للإشعاعات الشمسية مباشرة دون ترشيح بعضها. لهذا يجب عند تصميم الأقمار تركيب طبقة خارجية واقية لحماية المكونات الدقيقة للمركبة من تأثير الإشعاع والحرارة. والإشعاع الشمسي مع الجسيمات المشحونة المنبعثة من الشمس لها ضغط، لهذا تعرف بالرياح الشمسية Solar Wind. ومع مرور الوقت فإن ضغط الجسيمات المشحونة يؤثر على مدار الأقمار الصناعية أيضا.

ج- والجسيمات المشحونة هي جزء آخر من بيئة الفضاء والمقصود بالجسيمات المشحونة هي الأجزاء الموجبة والأجزاء السالبة من الذرة (البروتونات + والإليكترونات -). ففي الشمس توجد الإلكترونات والبروتونات حره وغير مرتبطة بالذرة. فدرجة الحرارة العالية جدا والمجال المغناطيسي للشمس يساعدان على اندفاع هذه الجسيمات المشحونة بعيدا عن الشمس بسرعات عالية جدا تصل إلى 251227.83 كم / ساعة. وهذه الجسيمات المشحونة يمكن أن تؤثر على الأقمار الصناعية بعدة طرق. فمع مرور الوقت تتجمع تلك الجسيمات على أجزاء من جسم القمر الصناعي وعندما يحدث تفريغ لهذه الشحنة فإنها تشبه الصاعقة التي تحدث لك عندما تلمس مفتاح المصباح الكهربائي بعد أن تكون مشيت على سجاده بجورب. ويصل الجهد الكهربائي على سطح القمر الصناعي إلى 10 آلاف ڤولت مما يتسبب في تلف المكونات الإلكترونية الحساسة للقمر. والتأثير الآخر للجسيمات المشحونة هو تأثير الجسيمات المشحونة عالية الشحنة على عمل أجزاء من ذاكرة الحاسب للقمر الصناعي. وهذا يبدو شيء صغير أو تافه إلا إنه يحدث تغيرا ضخما، إذا نتج عنه في دائرة الاتصالات بين القمر والمحطة الأرضية تغيير أمر من غلق إلى فتح أو العكس. بهذا لا يستطيع نظام الاتصال بالقمر استقبال أوامر أو رسائل التحكم وذلك لإغلاق نظام الاتصال نتيجة لتأثير هذه الجسيمات المشحونة عليه. وهذه التأثيرات تكون عالية أثناء انبعاث الوهج الشمسي Solar Flare. فمثلا إذا كانت الشمس عبارة عن قدر ماء يغلي مفتوح الفوهة فإن البخار المتصاعد يمثل الرياح الشمسية وأثناء التوهج الشمسي يحدث ما يشبه باندفاع سدادة كانت تسد فوهة إبريق شاي يغلي نتيجة الضغط المرتفع داخل الإبريق الذي دفع تلك السدادة وخرج البخار المضغوط داخل القدر بسرعة أكبر من البخار

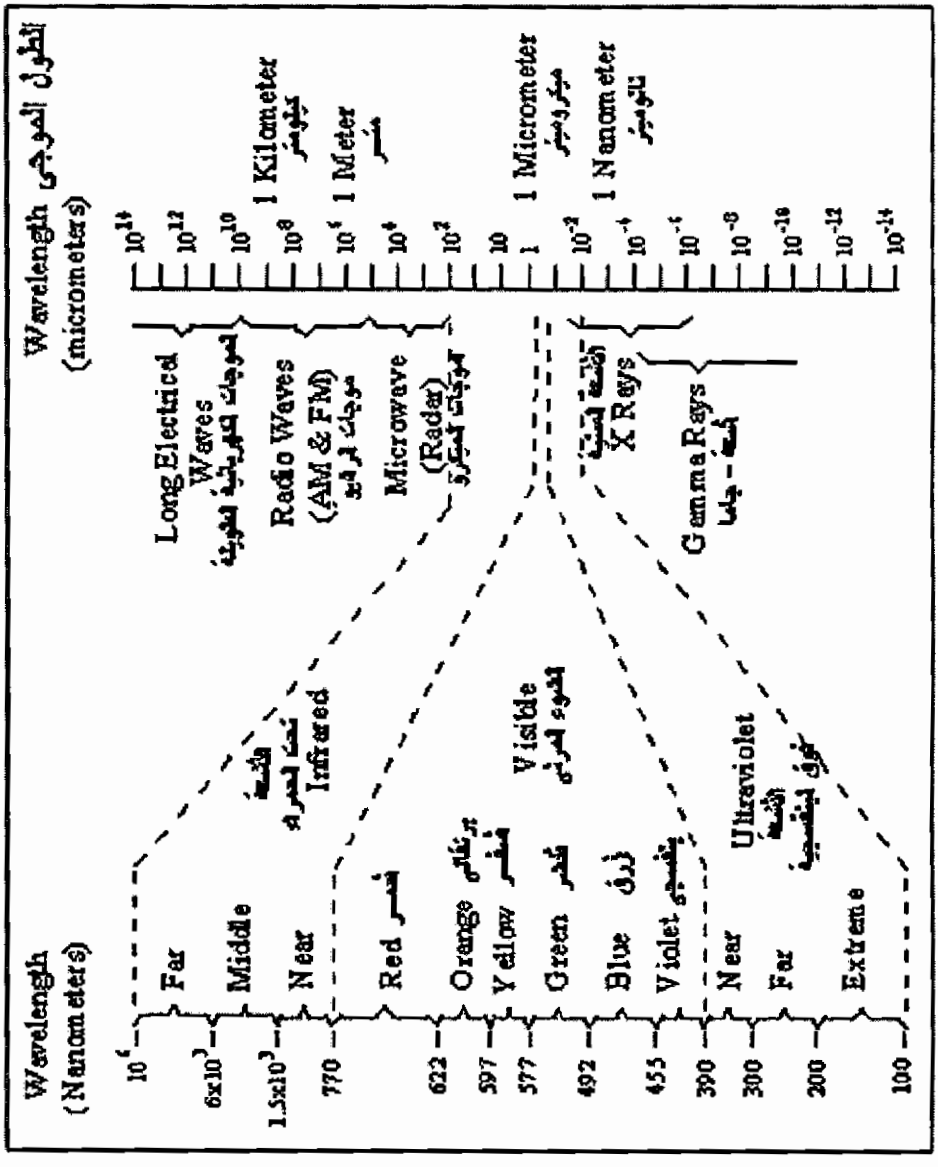
المتصاعد من قدر الماء المغلي المفتوح. ونفس الشيء يحدث أثناء الوهج الشمسي فإن الجسيمات المشحونة المنطلقة تكون أسرع وأكثر عددًا وشحنه، لهذا يجب حماية القمر الصناعي من تلك الجسيمات. والرياح الشمسية تكون عبارة عن اندفاع سيل من الإشعاع. وجميع الإشعاعات سواء كانت إشعاعات الراديو أو الميكروويف أو الأشعة السينية في الفضاء هي موجات كهرومغناطيسية والفرق الوحيد بين كل منها هو الطول الموجى. فهي تنتشر بسرعة الضوء وكل منها له جزء كهربي وجزء مغناطيسي ومن هنا يأتي اسمها وجميعها تنتشر حولنا.

المهم ليست الخواص الفيزيائية للإشعاعات، ولكن الشمس تشع جميع طاقتها على شكل موجات تحت الحمراء وأشعة مرئية وفوق البنفسجية. وهذه الأطوال الموجية تمتد من 10^{-2} إلى 10 ميكروميتر حيث تستطيع العين البشرية رؤيتها. وأجهزة الاستشعار للقمر الصناعي تستطيع تحويل هذه الإشعاعات إلى طاقة بواسطة الخلايا الشمسية. وفي الشكل (1-3) نري الإشعاع الشمسي يتكون من جزء صغير من الطيف الكلي الذي يمتد من أشعة جاما (طولها الموجي 10^{-14} نانوميتر) إلى الموجات الكهرومغناطيسية الطويلة (طولها الموجي 10 ^{14} كم).

د- التهديد الآخر للقمر الصناعي في مداره هو اصطدامه بالنيازك الصغيرة Micro-meteorites وبقايا الأجسام السماوية المحطمة في الفضاء.

فمثلا حوالي 20 ألف طن من تلك البقايا من المواد الطبيعية تضرب الكرة الأرضية كل سنة. ونرى ليلاً الأجسام الكبيرة منها عند دخولها الغلاف الجوي مكونة الشهب. وحديثًا أصبحت بقايا الأجسام التي صنعها الإنسان وأرسلها للفضاء (الأقمار الصناعية التي انتهت مهمتها أو فشلت في اتخاذ مدارها الصحيح) أكثر تهديدا من البقايا الطبيعية.

وقدرت كتلة تلك النفايات في الفضاء بحوالي 2200 طن، تدور في مدارات بالقرب من الكرة الأرضية. ولقد تم رصد مسار 7000 قطعة تقريبا من هذه النفايات في حجم الكرة الصغيرة أو أكبر. وقدر أيضا عدد القطع بالغة الصغر مثل الشظايا بأكثر من بليون قطعة. ففي عام 1983م ارتطمت أحد هذه النفايات الصغيرة بمركبة الفضاء Challenger وكان حجمها 0.008 من البوصة وتسببت في حدوث تشويه حجمه 20 مره (0.16 بوصة) قدر حجم الشظية في نافذة مكوك الفضاء شكل (1-4). فهذه القطع الصغيرة تتحرك في الفضاء وتصطدم بالمركبات بسرعات تصل إلى 2415.65 كم/ساعة لذلك تكون هذه القطع بالغة الخطورة ويحاول العلماء التقليل من هذه النفايات التي تتخلف بعد كل رحلة.



الشكل (1-3). الموجات الكهرومغنطيسية للإشعاع الشمسي.

الشكل (1-4). ارتطام شظية بنافذة مكوك الفضاء.

4-1 : مكونات القمر الصناعي :

لتحديد مكونات أي قمر صناعي يجب أولا معرفة الإطار الذي يحدد مهمة هذا القمر قبل تصميمه. إن هدف الرحلة أو لماذا سنصنع هذا القمر؟ سيحدد الغرض من الرحلة وما هي الخدمات التي سيقدمها للمستخدمين. وعند معرفة ذلك يبدأ تصميم القمر وتحديد أجزائه.

إن أول خطوة في تصميم القمر الصناعي هي تحديد حجم الشحنةPayload التي سيحملها ونوعيتها ووزنها. والمقصود بالشحنة أو الحمولة هي مجموعة المستشعرات Sensors (أجهزة الاستشعار)، والأجهزة الأخرى التي ستخدم الرحلة. على سبيل المثال القمر الذي يصور الأرض سيستخدم آلات تصوير تحول
الصورة إلى أرقام تخزن على أشرطه، وطبق للاتصالات يمكنه من إرسال تلك الصور إلى الأرض والتقاط الأوامر من المحطة الأرضية. وقمر الاتصالات تحتوي شحنته على طبق اتصالات وجهاز المتلقي Transponder لتكبير وتعديل ترددات الإشارات المرسلة أو المستقبلة. وحمولة القمر هي التي ستتحكم في تصميم المكونات الأخرى للقمر ومتطلباتها مثل حجم القمر، ونوع المدار الذي سيتخذه، ونوع الصاروخ الذي سيتم استخدامه لإطلاق هذا القمر. والحمولة هي أعقد جزء في القمر وأكثرها تكلفة وكل قمر عامة يحتوي على حموله واحدة. ولكن إذا وجد مكان متسع يمكن حمل حمولة أساسيه وأخرى أو أكثر ثانوية.

1-4-1 : المركبة الفضائية :

هي المركبة التي تنقل شحنات أو أجهزة إلى الفضاء وهي تشبه الأتوبيس المدرسي الذي ينقل التلاميذ من وإلى المدرسة، والمركبة الفضائية تنقل الحمولة إلى مدار حول الأرض. وفي الحقيقة هناك تشابه كبير بين أتوبيس المدرسة والمركبة الفضائية فهي تتكون من جسم القمر (شاسية الأتوبيس)، ونظام الدفع (محرك الأتوبيس)، وأجهزة التحكم (صندوق التروس)، والمولد والقوة الكهربائية (البطارية)، أجهزة تحكم حرارية (أجهزة التكييف والتدفئة)، وأجهزة الاتصال المساعدة (الراديو).

2-4-1 : التركيب :

تركيب القمر يشبه الهيكل الخرساني لعمارة فالمبني يحتوي على فتحات للنوافذ وأسلاك للكهرباء والهاتف ممتدة داخل المبني و ألواح خارجية لحماية المبني من الطقس الخارجي. والقمر يحتوي على فتحات لوضع أجهزة الاستشعار وأسلاك للطاقة وأخرى للاتصالات، وعزل يساعد على التحكم في درجة الحرارة. أيضا يحتوي على دعامات وأجهزة توجيه لتثبيت الحمولة والأجهزة المساعدة الأخرى أثناء التصنيع، ويجب أن تكون قوية بدرجة كافية لحمايتها عند الانطلاق حتى دخولها في المدار. وعند دوران المركبة أو القمر في المدار يجب إطلاق صواريخ القوة الدافعة مرات متعددة للاستقرار في المدار المرسوم له، ثم فرد وتثبيت الألواح الشمسية وطبق الاستقبال، والأجهزة الأخرى المساعدة التي يجب فردها خارج جسم المركبة.

ونظام الدفع يعطي القمر الدفعات الصغيرة التي يحتاجها لوضعه في مداره الصحيح أو تصحيح مداره. والقمر عند إطلاقه يوضع في مدار ابتدائي يعرف بمدار الانتظار Parking Orbit. ويصل القمر لهذا المدار بواسطة الصواريخ الدافعة العملاقة أو المكوك الفضائي Shuttle. وتستخدم هذه الأجهزة للمساعدة على التخلص والهروب من الجاذبية الأرضية عند الإطلاق. وعند الدخول في مدار الانتظار يتخلص القمر من صواريخ الإطلاق الضخمة لإنتهاء مهمتها وتقليل الحمولة. ويستخدم في توجيه حركة القمر بعد ذلك أجهزة دافعة صغيرة تنقل القمر إلى المدار النهائي. وفي المدار النهائي للقمر نجد أن هناك بعض القوى التي تؤثر على هذا المدار وتجعله ينحرف بمرور الزمن، وهي قوى جذب الشمس والقمر، وعدم كروية الأرض، وأيضا ضغط الإشعاع الشمسي، وكذلك قوة مقاومة الغلاف الجوي للأقمار القريبة من سطح الأرض. وهذه القوى تجعل مدار القمر يقترب من الأرض حيث أن جاذبيتها أقوى. وفي هذه الحالة تستخدم أنظمة الدفع لدفع القمر إلى مداره الصحيح مرة أخرى. وبعض

الأقمار يمكنها أن تغير ميل مستوى المدار التي تتخذه ولكن هذا النوع يحتاج إلى طاقة عالية جدًا وهي نادرة. وأغلب الأقمار تحتفظ بمدار واحد أثناء رحلتها بالكامل.

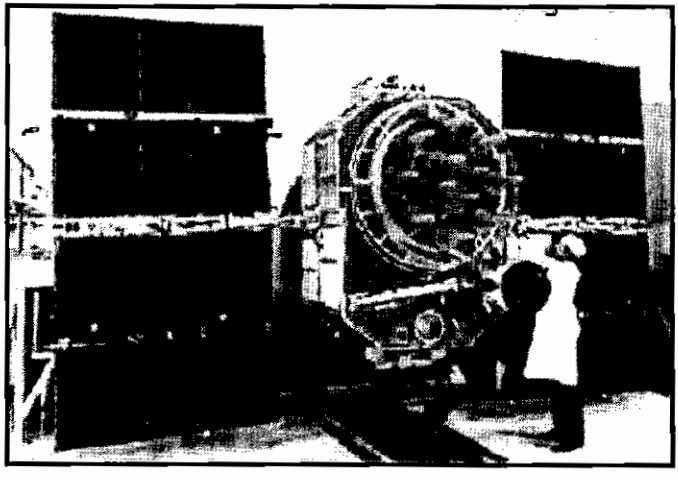
3-4-1 : أنظمة التحكم :

هذه الأنظمة هي التي تتحكم في حركة القمر الصناعي. بينما تستخدم أنظمة الدفع طاقة عالية لتتمكن من المناورة والتنقل بين المدارات للوصول إلى المدار النهائي. إلا أن أنظمة التحكم تستخدم طاقة أقل لتصحيح وضع القمر في مداره النهائي. وأنظمة التحكم تشبه التحكم في حركة الطائرة باستخدام أجزاء متحركة من سطحها مثل الأجنحة والذيل. وأنظمة الدفع تشبه محركات الطائرة التي تستخدم في الإقلاع والحركة بينما توجيه الطائرة يحتاج فقط إلى حركة بعض أجزاء الجناح أو الذيل فقط، مثل دفه الطائرة والجنيح. فأنظمة التحكم في القمر تتحكم في درجة إنحدار أو ميل القمر Pitch أو انحرافه Yaw أو دورا نه Roll. وبمعني آخر هي التحكم في توجيه القمر. إلا أن القمر لا يستطيع استخدام أجزاء سطحه في التوجيه حيث لا يوجد غلاف جوي في الوسط الذي يتحرك فيه القمر الصناعي. لذلك يستخدم القمر أجهزة حركة دافعة صغيرة أو جيروسكوبات لتغير وضع واتجاه القمر في الفضاء. واستخدام المحركات الدافعة للتوجيه هي طريقة تعطي قوة كبيرة وعالية الدقة وسريعة. إلا أن هذه المحركات تحتاج إلى وقود وهو محدود الكمية في خزانات القمر. لهذا توجد طرق أخرى تستخدم للتحكم في القمر بدون استخدام أي وقود. وهذه الطرق تستخدم جاذبية الكواكب وطبقة الغلاف الجوي المغناطيسي وعزم أجهزة التحكم. والنوع الأخير يستخدم في تغير سرعة واتجاه الأجسام التي تدور حول نفسها داخل القمر مثل (الجيروسكوب) والتي تسبب دوران القمر حول نفسه. وللتحكم في وضع القمر يمكن ضبط هذه الأجهزة في أي اتجاه حيث توضع جيروسكوبات في ثلاث محاور متعامدة ويمكن التحكم في السرعة والاتجاه كهربائيا وهذه الطريقة يمكن استخدامها طوال عمر القمر الصناعي ولا تحتاج إلى وقود.

والاقلاقات التي تتسبب في اضمحلال مدار القمر تتسبب أيضا في انحراف وضع القمر. ويمكن استشعار التغير في وضع القمر في مداره بواسطة أجهزة استشعار تحديد اتجاه الأرض والشمس والنجوم كمرجع لها في تحديد موضع القمر. ويمكن إتمام التصحيح بطريقة أتوماتيكية (ذاتية) مثل ما يحدث في الطائرة عند استخدام الطيار الآلي أو ترسل البيانات التي تجمعها المستشعرات إلى الأرض حيث ترسل الأوامر المناسبة للقمر الصناعي لتصحيح وضعه في الفضاء.

4-4-1 : أنظمة الطاقة :

إن الطاقة الكهربية هي العنصر الأساسي المستخدم في عمل معظم الأجهزة المساعدة للقمر، والمصدر الرئيسي للكهرباء في القمر في مداره هي الشمس. فالطاقة الشمسية تُجمع بواسطة عدد كبير من الخلايا الشمسية المركبة على جناحين متصلين بالقمر. والصورة (1-5) هي للقمر GPS في المعمل قبل إطلاقه، ويظهر الجناحان المتقابلان على جانبي القمر المركب بهما الخلايا الشمسية. وتجمع هذه الخلايا الشمسية الإشعاع الشمسي وتحوله إلى طاقة تستخدم أثناء الرحلة في الفضاء. وإذا وقعت الأرض بين القمر الصناعي والشمس فإن ظل الأرض يحجب الشمس عن الخلايا الشمسية وتسمي هذه الحالة بالخسوف وهي تستمر فترة زمنية طولها ثلث دورة القمر تقريبا إذا كان مدار القمر قريبا من الأرض (مدار منخفض) وتقل هذه الفترة كلما زاد ارتفاع القمر عن الأرض، وأثناء الخسوف يزود القمر بالطاقة من بطاريات تشحن أثناء مرور القمر أمام الشمس لإستخدامها أثناء الخسوف.



الشكل (1-5). الألواح الشمسية على جانبى القمر الصناعي.

5-4-1 : أنظمة التحكم الحراري :

إن شحن وتفريغ البطاريات، كذلك أشعة الشمس المباشرة تمثل السبب الأكبر في ارتفاع درجة حرارة القمر الصناعي. وعندما يكون القمر في حالة الخسوف فإن درجة حرارته تنخفض إلى درجة من البرودة تكفي لتجميد الوقود. وحيث أن مدى التغير في درجات الحرارة كبير جدا من التجمد إلى الحرارة المرتفعة، لذلك يلزم تزويد القمر بنظام تحكم حراري بحيث يحفظ الحرارة للحمولة والأنظمة المساعدة في حدود دقيقة

آمنة. ويستخدم مصممو الأقمار الصناعية أجهزة تحكم حرارية متنوعة. فيستخدم الطلاء والطبقة العازلة الخارجية للقمر لعكس أو امتصاص الطاقة. والعزل هو إحدي الطرق لحماية الأنظمة الداخلية من ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة. وأكثر أنواع العزل المستخدمة تسمي كابتون Kapton وهي تشبه الرقائق الذهبية. وأكثر أجهزة الحماية الحرارية فعالية هي السخانات.

5-1 : الأوامر والتحكم :

رغم أن بعض الوظائف في القمر يمكن تشغيلها أتوماتيكيا إلا انها تظهر على أجهزة المراقبة الأرضية ليتحقق من صحة عملها. ولعمل ذلك يجب تزويد بعض الأجهزة المساعدة أو رواد الفضاء بالتعليمات، ويجب أن يكون هناك نظام اتصال، وهو نظام يرسل الأوامر ويستقبل البيانات التي تفيد في نجاح تنفيذ تلك الأوامر. إن اتصال المحطة الأرضية بالقمر الصناعي أو إرسال الأوامر هو عبارة عن إشارات ترسل من المحطة الأرضية إلى القمر الصناعي. وتحل الأجهزة المساعدة بالقمر شفرة تلك الأوامر ثم تنفيذها أو تخزينها لاستخدامها في وقت لاحق. والأوامر ترسل في الواقع إلى القمر الصناعي على شكل برنامج حاسب إلى كل سطر فيه يغلق أو يفتح أجهزة التحكم المساعدة في القمر حسب الحالة المطلوب أن يكون فيها.

بعض وظائف أجهزة الاتصال هو معالجة البيانات. وأجهزة معالجة البيانات في القمر الصناعي تجمع البيانات من الأجهزة المساعدة الأخرى على القمر (مثل درجة الحرارة – حالة تشغيل أو إغلاق كل جهاز على القمر – مستوى الوقود – مستوى شحن البطاريات ..... الخ). أو ربما يقوم رواد الفضاء بتشفير البيانات وإرسالها إلى المحطة الأرضية وتسمي هذه العملية بالربط الأرضي وسيل البيانات المرسل للأرض يعرف باسم القياس من بعد أو التليمتري Telemetry.

والتليمتري هي البيانات التي تصف حالة تشغيل القمر الصناعي. وهو يشبه جهاز الراديو في الطائرة الذي يرسل لبرج المراقبة وضع الطائرة أثناء رحلتها، مثل سرعة الرياح والارتفاع والاتجاه وحالة الوقود. وبعد تحليل البيانات يمكن تحديد الأوامر التي يمكن أن ترسل للطائرة لتصحيح اتجاهها، أو معالجة أي مشاكل بها. وهذا تماما ما يشبه أجهزة التحكم والاتصال بالقمر الصناعي. فإن تحليل بياناته يتبعه قائمة بأوامر توضع فيها ما يسمي بخطة التحرك.

والمحطة الأرضية تتكون من طبق استقبال عرضه أكبر من 18.28 متر، وجهاز إرسال واستقبال، وسلسلة من أجهزة الحاسب لتحليل البيانات، وأرشيف لتسجيل البيانات التليمترية. وعدد المحللين للبيانات بالمحطة الأرضية يعتمد على طبيعة القمر

الصناعي، فالأقمار الصناعية المتزامنة مع دوران الأرض تتطلب عددا أقل من المراقبين حيث أن الأقمار تكون مراقبة بصريا أو في مجال رؤية المحطة الأرضية. أما الأقمار ذات المدار المنخفض وقريبة لسطح الأرض تكون على اتصال بالمحطة لفترات قصيرة لدورانها السريع حول الأرض، لذلك تحتاج إلى محللين أكثر ليتعاملوا بسرعة مع المشاكل التي تطرأ.

ويعتمد الوقت الذي تكون فيه الأقمار في مستوى رؤية المحطات الأرضية على ارتفاعها ونوع مدارها. فالأقمار منخفضة المدار (LEO) يكون زمن رؤيتها ما بين 5 إلى 10 دقائق ويزداد الزمن تدريجيا بزيادة الارتفاع حتى تصل إلى ارتفاع يكون القمر متزامنا مع دوران الأرض وذلك على ارتفاع 37497.72 كم (يدور القمر في مداره بنفس سرعة دوران الأرض حول محورها في 23 ساعة 56 دقيقة). وهذه الأقمار تكون دائمة الرؤية بالنسبة للمحطة الأرضية خلال 24 ساعة. وبالنسبة للأقمار منخفضة الارتفاع فإن محطة أرضية واحدة لا تكفي لتتبعها، فالأقمار التي مداراتها قطبية ومع دوران الأرض تحت القمر (أي مستوى مداره يمر أو قريبا من قطبي الأرض)، فإن القمر سيمر فوق أي نقطة على الأرض مباشرة مرتين مره والقمر هابط إلى دائرة الاستواء في أحدي دوراته، ومرة والقمر صاعد إلى دائرة الاستواء في دورة أخرى خلال 24 ساعة. لذلك حتى لو وقعت المحطة الأرضية مباشرة تحت مدار القمر فربما لن يمر القمر مرة ثانية فوق المحطة مباشرة. وهذا سببه الوقت الذي يأخذه القمر لزيارة نفس الموقع على الأرض مرة أخرى. وعلى آيه حال لإرسال الأوامر والتحكم في القمر فإن القمر يكون على اتصال بمحطات أخرى ليست تحت مداره مباشرة، ولكن بزوايا مختلفة، ولكن هذه الزوايا محدودة لانحناء سطح الأرض. وهذا يعني أن بعض الأقمار يمكن رؤيتها من المحطات الأرضية لوقت محدود كل يوم. ويمكن أن يكون وقت الرؤية أقل إذا كانت تلك المحطات تستخدم لأقمار مختلفة ومعقدة ويكون هناك تعارض في متطلبات وقت الرصد المتاح.

ويمكن التغلب على تلك المشكلة إذا كان القمر مزودا بشرائط تسجيل للبيانات في الفترة الغير متاح فيها الاتصال بالمحطة الأرضية، ثم إعادة بثها إلى المحطة الأرضية في وقت لاحق. وهذا سبب تعدد المحطات الأرضية حول العالم لتدعيم عمل الأقمار منخفضة المدارات. وتستخدم حديثا مجموعة أقمار تكون ما يسمي بالكوكبة أو المجموعة Constellation ترتبط بنظام اتصال واحد حيث يتم إرسال بيانات من أو إلى القمر الذي يكون وضعه مناسبا للمحطة الأرضية. وهذا النظام يستخدمه مكوك الفضاء Space shuttle حيث يرسل الصوت والبيانات إلى نظام أقمار صناعية للإتصالات يسمي تيدرس (TDRSS) Tracking and data relay satellite system. وقبل استخدام هذا النظام ذو الأقمار الثلاثية، فإن مكوك الفضاء وطقم القيادة لم يستطع

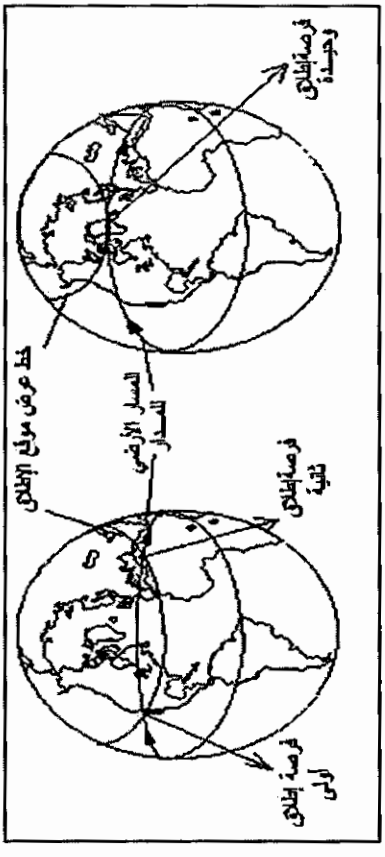
التحدث إلى المحطة الأرضية عندما يقع تحت أفق المحطة الأرضية أي لا يقع في مجال رؤيتها.

6-1 : شروط إطلاق المركبات الفضائية :

إن متطلبات المهمة الفضائية للقمر تحدد المدار المطلوب لإتمام المهمة ، على سبيل المثال أقمار الاتصالات عموما تكون في أوضاع ثابتة بالنسبة لنقطة على سطح الأرض Geostationary ، وتدور أقمار الأرصاد الجوية في مدارات قطبية orbits Polar. ولإطلاق أي قمر يجب أن يتم ذلك من موقع خاص على سطح الأرض وفي أوقات محدودة تسمي بنافذة الإطلاق Launch Window. ونافذة الإطلاق هي الفترة الزمنية التي يمكن فيها إطلاق القمر في الظروف المناسبة إلى المدار المحدد له. وبالطبع يمكن وضع القمر في أي ميل بعمل مناورة لمداره تسمى تغيير المستوى Plane Change. ولكن هذه النوعية من تغير ميل المدار تكون مكلفة جدا في استهلاك الوقود. وهذه التكلفة ناتجة من مقدار التغير في السرعة المطلوبة لتغير ميل المستوى. لذلك يفضل إطلاق القمر مباشرة إلى المدار ذو الميل المطلوب باطلاق القمر من خط عرض مناسب على سطح الأرض.

إن خط عرض موقع الإطلاق وميل المدار المطلوب سوف يحددان نافذة الإطلاق وهناك نافذة أو نافذتين للإطلاق كل يوم. فإذا كان ميل المدار المطلوب أقل من خط عرض موقع الإطلاق فلا توجد أي فرصة لإطلاق القمر مباشرة إلى ميل المدار المطلوب (يلزم أن يكون خط عرض موقع الإطلاع مساويا أو أقل من ميل المدار المطلوب). و يوضح الشكل (1-6) أن دوران الأرض سوف ينتج نافذة واحدة وذلك لتلامس المسار الأرضي للقمر مع دائرة خط عرض موقع الاطلاق عند نقطة واحدة (الحالة اليمنى) أو نافذتين للإطلاق كل يوم وذلك لتقاطع المسار الأرضي للقمر مع دائرة خط عرض موقع الاطلاق في نقطتين (الحالة اليسرى). ومن السهل ملاحظة أن في حالة مدار ميله أقل من خط عرض موقع الإطلاق فإن مستوى المدار وخط عرض موقع الإطلاق لن يتقاطعا ولن توجد أي إمكانية للتقاطع. وكل الأقمار الاستوائية المتزامنة مع الأرض (مدارها منطبق مع دائرة الاستواء للأرض وتدور بنفس سرعة دوران الأرض حول محورها) يكون ميلها صفرًا تقريبا. لذلك تحتاج هذه الأقمار وقودا إضافيا لإنتاج تغير في السرعة ولتحويل ميل مدار القمر من الميل الذي أطلق به تبعا لخط عرض (أكبر من الصفر) موقع الإطلاق إلى مدار ميله صفر أي استوائي. وهذا يوضح سبب إطلاق الأقمار من مركز كنيدي الفضائي Kennedy Space Center (الذي خط عرضه 28.5 درجة شمالا) والتي يمكن تغير ميلها إلى الصفر لتصبح مدارات استوائية متزامنة. وهذه التكلفة في تغير السرعة أحد الأسباب التي

دعت وكالة الفضاء الأوربية European Space Agency (ESA) لتتخذ موقع إطلاق أقمارها من كورو بجوانا الفرنسية القريبة من الاستواء Kourou French Guyana رغم إنها ليست على خط الاستواء تماما إلا إن خط عرضها 4 درجات شمالا. وهناك سبب آخر لاختيار مواقع الإطلاق قرب خط الاستواء ، فمواقع الإطلاق عند خط الاستواء تتحرك بسرعة أكثر من آلف ميل في الساعة تبعا لدوران الأرض حول محورها في اتجاه الشرق. وكلما بعدت مواقع الإطلاق عن دائرة الاستواء أي زاد خط عرضها كلما قلت سرعة دورانها نحو الشرق. فعند موقع كورو تكون السرعة 1670.5 كم/ الساعة. وفي قاعدة كنيدي تكون السرعة 1472.55 كم/الساعة. وهذه الزيادة في سرعة موقع الإطلاق يعني أنه إذا استخدم صاروخ ما للإطلاق فإن موقع كورو يتيح إطلاق أقمار أكبر بالمقارنة بنفس الصاروخ الذي سيستخدم في قاعدة كنيدي وهذا ناتج من الاستفادة من سرعة موقع الإطلاق قرب خط الاستواء.



الشكل (1-6). تنوع نافذة الإطلاق تبعا لخط عرض موقع الإطلاق .

الفصل الثانى
البيئـة الفضائيـة

2-1 : الفضـاء البعيد

2-2 : الفضاء القريب

2-2-1 : الغلاف الجوي

2-2-2 : الماجنيتوسفير

2-2-3 :البلازما

2-3 : الشروط الحرارية

2-4 : الغبار والحطام الفضائي

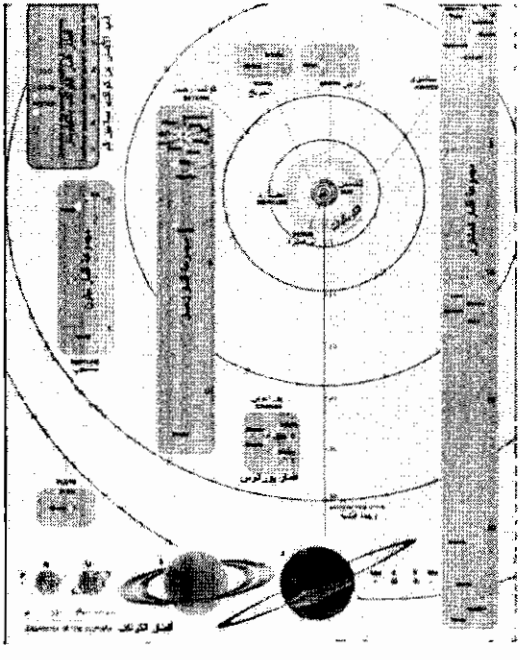
البيئـة الفضائيـة[2]

The Environment of Outer Space

يتكون الفضاء الخارجي من جزئين أحدهما فضاء قريب Near space والآخر الفضاء البعيد Deep space .

1-2 : الفضـاء البعيـد Deep space :

تقاس المسافات عادة في المجموعة الشمسيه بالوحدات الفلكية (AU) Units Astronomical. والوحدة الفلكية هي متوسط بعد الأرض عن الشمس، وتساوي 149.5978 مليون كم. وتقاس المسافات خارج المجموعة الشمسية بالسنوات الضوئية (LY) Light years (السنة الضوئية = 9.461 x 10 ^{12} كم) أو بالبارسك Parsec (PC) (البارسك = 3.26 سنة ضوئية).



الشكل (2-1) المجموعة الشمسية وابعاد كواكبها وأقمارها.

[2] "Fernand Verger, et al; The Cambridge Encyclopedia of space of Space;2003"

الفضاء البعيد هو الجزء المركزي من المجموعة الشمسية الشكل (2-1) وهذا الجزء يحتوي على :

- نجم واحد وهو الشمس نصف قطرها 696 ألف كم. –
- الكواكب التسع التي تتراوح أبعادها المتوسطة من الشمس بين 0.39 وحدة فلكية لكوكب عطارد إلى 39.44 وحدة فلكية لكوكب بلوتو Pluto الذى تم استبعادة أخيرا من تصنيف الكواكب بمعرفة الاتحاد الدولى الفلكى الجدول (2-1).

تم رصد حركة الكواكب على الكرة السماوية Celestial Sphere التي ترصعها النجوم من قديم الزمان.

تقسم الكواكب إلى مجموعتين تبعا لخواصها الفيزيائية. أحدهما الكواكب الأرضية Terrestrial Planets وهي عطارد والزهرة والأرض والمريخ وهي كواكب صغيرة نسبيا سطحها صلب ولها أغلفة جوية. والأخري كواكب شبيهات المشترى Jovian Planets أو الكواكب العملاقة وهي المشترى وزحل ويورانوس ونبتون وهي أكبر حجما وأقل كثافة من الكواكب الأرضية. وفي النهاية كوكب بلوتو الذي يمكن تصنيفه مع الكواكب الأرضية إذا أعتبرنا حجمه الصغير أو يتبع الكواكب شبيهات المشترى إذا أعتبرنا كثافته المنخفضة.

هناك تقسيم آخر للكواكب تبعا لموقع مداراتها بالنسبة لمدار الأرض. فالكواكب السفلية (عطارد والزهرة) تقع مداراتها داخل مدار الأرض، والكواكب العلوية (المريخ، المشترى، زحل .....بلوتو) مداراتها خارج مدار الأرض.

وتحتوي المجموعة الشمسية أيضا على:

- الأقمار الطبيعية Moons وحلقات تدور حول بعض الكواكب العملاقة جدول (2-1).
- **الكويكبات Asteroids وعددها يصل لعدة ألاف تتجمع في مجموعات تدور في** مدارات بيضاوية مختلفة الاستطالة والحجم، ويختلف ميل هذه المدارات على دائرة البروج. وأغلب هذه الكويكبات تتحرك في مدارات شبه دائرية حول الشمس وأنصاف أقطار هذه المدارات يتراوح بين 2 إلى 3.5 وحدة فلكية، حيث تكون حزام رئيسي من الكويكبات الشكل (2-2). ويوجد حزام مجموعة كويكبات هيلدا Helda asteroids على بعد 4 وحدات فلكية من الشمس ومجموعة كويكبات تروجان على بعد 5 وحدات فلكية.

الأسم	الكواكب الأرضية				الكواكب العملاقة				بلوتو
	عطارد	الزهرة	الأرض	المريخ	المشترى	زحل	يورانوس	نبتون	
القطر الأستوائى	4878	12104	12756	6794	142800	120660	50800	48600	3000
الكثافة المتوسطة	5.44	5.25	5.52	3.94	1.31	0.69	1.21	1.67	؟ 1
سرعة الهروب	4.25	10.36	11.18	5.02	59.64	35.41	21.41	23.52	؟
الدورة الإقترانية	115.9 يوم	218.7 سنة 1 يوم		49.5 سنة 2 يوم	33.6 سنة 1 يوم	12.8 سنة 1 يوم	4.4 سنة 1 يوم	2.2 سنة 1 يوم	1.5 سنة 1 يوم
بعده عن الشمس	0.387	0.723	1	1.524	5.203	9.555	19.218	30.11	39.439
ميل مداره على البروج	7° 00′	3° 24′	0° 00′	1° 51′	1° 19′	2° 30′	0° 46′	1° 47′	17° 10′

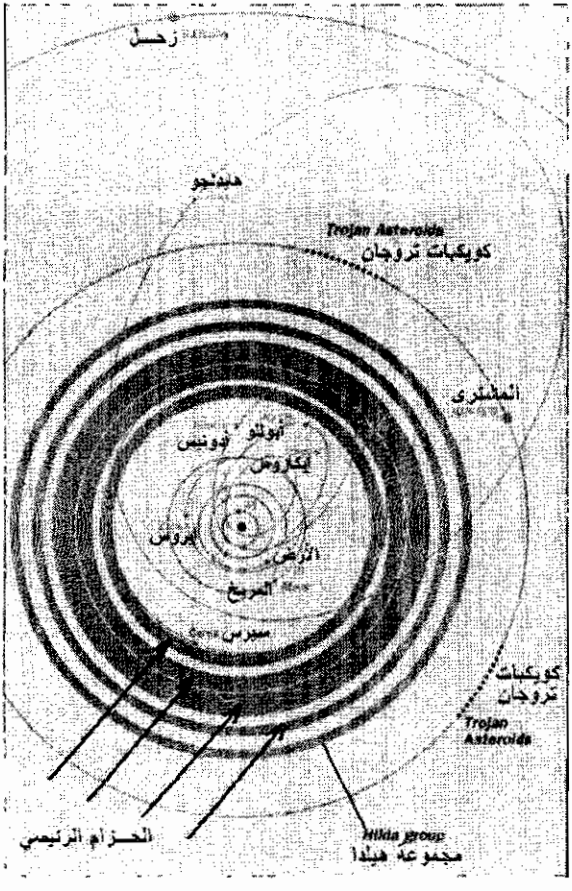
الجدول (2-1) الخواص الفيزيائية للكواكب.

- كما توجد عدة مئات من الأجسام الأخري تشبه الكويكبات تتحرك في مدارات ابعد من مدار كوكب نبتون. وهذه الأجسام تمثل حزام كيبر Kuiper Belt. وكوكب بلوتو وقمره شارون يعتبران الآن أعضاء في هذه المجموعة.
- المذنبات التي لها مدارات شديدة الاستطالة ومداراتها الأولية أنصاف أقطارها العظمي تقاس بعشرات الألاف من الوحدات الفلكية.

بالإضافة إلى أنه مثل باقي وسط مابين الكواكب interplanetary medium فإن الفضاء البعيد يشغله التالى:

- جسيمات مشحونة تتدفق من الشمس تعرف بالرياح الشمسية Solar Wind.
- غبار ما بين الكواكب interplanetary dust .

تستخدم بعض العناصر المحددة لتحديد مواقع الأجسام السماوية أو الكواكب في المجموعة الشمسية بالنسبة للكرة الأرضية .



الشكل (2-2).
حزام ومدارات الكويكبات.

- بعد الكوكب عن مركز الكرة الأرضية Geocentric distance ويعتمد على كلا من مدار الكوكب ومدار الأرض حول الشمس، وكذلك على موقع هذه الأجسام في مداراتها في الوقت الذي يتم فيه تحديد المسافة، مع أهمال ميل هذه المدارات بالنسبة لدائرة البروج Ecliptic. وتعتمد المسافة على زاوية الطور Phase angle أي الزاوية بين الكوكب والشمس والأرض. وتكون هذه المسافة أو البعد بين الكوكب والأرض أقصاه عندما يكون هذا البعد حاصل جمع وحدة فلكية واحدة (نصف قطر مدار الأرض حول الشمس) ونصف قطر مدار الكوكب المراد حساب بعده عن الأرض. وهذا يحدث عند الاتصال Conjunction أي تقع الشمس بين الأرض والكوكب. أما أقل قيمة لبعد الكوكب عن الأرض يحدث عندما يكون حاصل طرح وحدة فلكية واحدة من نصف قطر مدار الكوكب وهذا يحدث عندما يقع الكوكب والأرض في أتجاه واحد من الشمس أي في الاستقبال Opposition للكواكب العلوية أو الاتصال الداخلي للكواكب السفلية Interior conjunct.

- الدورة الشمسية Synodic Period هي الفترة اللازمة لنظام الكوكب- الشمس- الأرض ليعود لنفس الوضع بالنسبة لبعضهما البعض عندما يشاهدان من الأرض. وهذه الدورة تتراوح بين 115.9 يوم في حالة كوكب عطارد وعامين و 49.5 يوم لكوكب المريخ والفترة الشمسية تعني الفترة بين تحقق شروط محددة لإرسال مسبار فضائي لكوكب ما.

2-2 : الفضاء القريب Near Space :

الفضاء القريب المتوسط يغلب عليه وجود غلاف جوي غازى، تحتفظ به جاذبية الأرض، ووجود المجال المغناطيسى، والماجنيتوسفيرmagnetosphere المتولد من الجزء الخارجي من قلب الأرض.

فوق الغلاف الجوي توجد البلازما Plasma (غاز متأين يتكون من جسيمات مشحونة موجبة أو سالبة بالإضافة للأيونات) التي تقتنصها خطوط قوي الكرة المغناطيسية. وهذه البلازما تشكل الكرة المتأنية والمناطق البلازمية المختلفة في الماجنيتوسفير.

1-2-2 : الغلاف الجوي The atmosphere :

الغلاف الجوي يمكن تقسيمه إلى أجزاء بعده طرق الشكل (2-3).

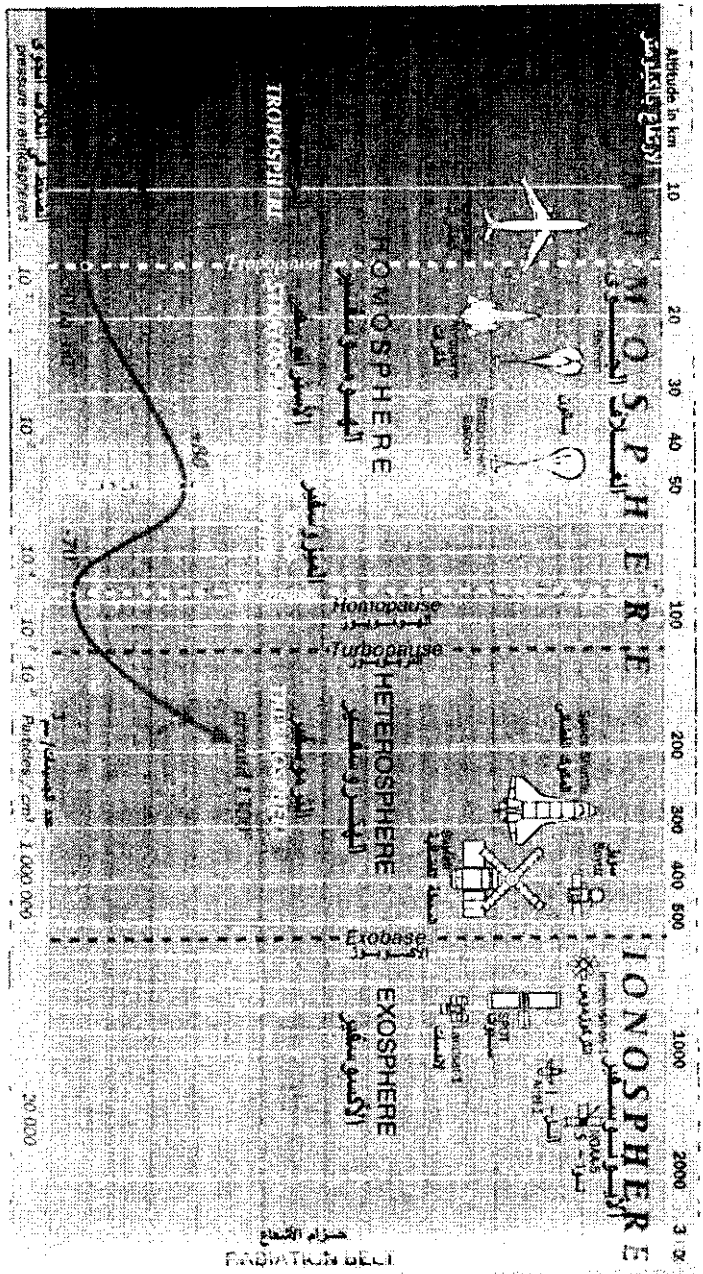
يقسم تبعا للتركيب الذي يظل ثابت في مناطق الحمل السفلي أو الهوموسفير Homosphere، حتي الهوبوبوز على بعد 90 كم. الأوزون المتوفر بكثره بين 40 إلى 50 كم. وتسود العناصر الخفيفة أكثر وأكثر في طبقة الهتروسفير والفوتوايونيز Photoionised بواسطة الأشعة الشمسية فوق البنفسجية، التي تزيد بلازما الأيونوسفير. وبعد الإكسوبوز Exobose (500 إلى 600 كم)، تسود فقط مركبات الغلاف الجوي الأخف (الهليوم والهيدروجين). وهي تكون معرضه للهروب ببطء من جاذبية الأرض وهذه المنطقة تسمي الأكسوسفير Exosphere .

ونتيجة الضغط والكثافة اللذان يتناقصان ببطء مع الأرتفاع، 50 % من كتلة الغلاف الجوي تقع تحت ارتفاع 5 كم، 90 % تقع تحت 16 كم و99.9 % تقع تحت 60 كم. حتي أكثر مناطق الغلاف الجوي أقل كثافة تؤثر على حركة الأقمار الصناعية، حتي ارتفاع 600 كم، مما يقلل من عمرها الافتراضى.

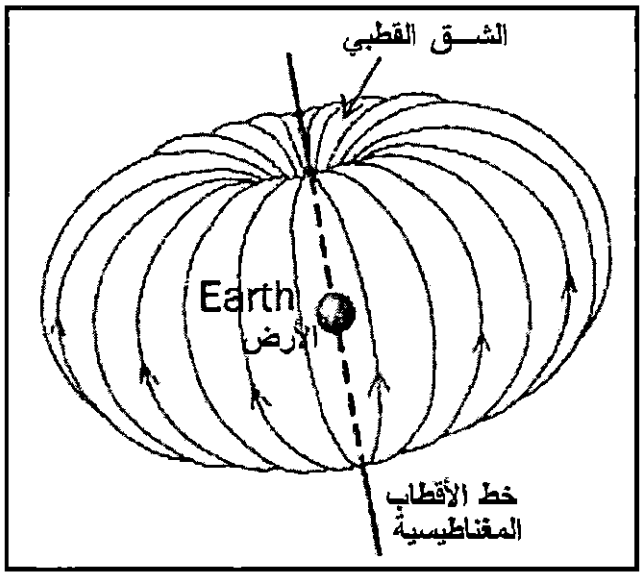
ودرجة حرارة الغلاف الجوي التي تتناقص مع الارتفاع من 5 ° إلى 10 ° مئوية كل كيلو متر في طبقة التروبوسفير Troposphere حتى تصل أقل قيمة لها في طبقة التروبوبوز Tropopause، عند ارتفاع 9 كم قرب القطبيين و 18 كم قرب دائرة الاستواء. وتطير الطائرات فقط في طبقة التروبوسفير. وفوق طبقة التروبوبوز تزيد درجة الحرارة مع الارتفاع تحت تأثير وجود طبقة الأوزون الذي يمتص أشعة الشمس فوق البنفسجية، والتي تصل إلى 80 ° مئوية على ارتفاع 50 كم عند قمة طبقة الستراتوسفير Stratosphere. وتسمي هذه المنطقة بالستراتوبوز Stratopause. وبعد ذلك تتناقص درجة الحرارة لتصل إلى – 70 ° مئوية في طبقة الميزوسفير mesosphere. وفي النهاية بعد طبقة الميزوبوز Mesopause (90 كم) تزيد الحرارة بسرعة في طبقة الثرموسفير Thermosphere (التي تتطابق مع طبقة الهتروسفير) لتصل إلى درجة حرارة الإكسوسفير Exosphere التي تتراوح بين 1200 ° حتي 1300 ° مئوية وتنتج من امتصاص أشعة الشمس فوق البنفسجية الشديدة بواسطة التأين الضوئي photoionization.

2-2-2 : الماجنيتوسفير The magnetosphere :

الماجنيتوسفير هي الفجوة المغناطيسية في الرياح الشمسية، الناتجة من التفاعل بين المجال المغناطيسي لأقطاب الأرض الشكل (2-4) والمجال المغناطيسي بين الكوكبي في الرياح الشمسية الشكل (2-5). والسطح الذي يحدث



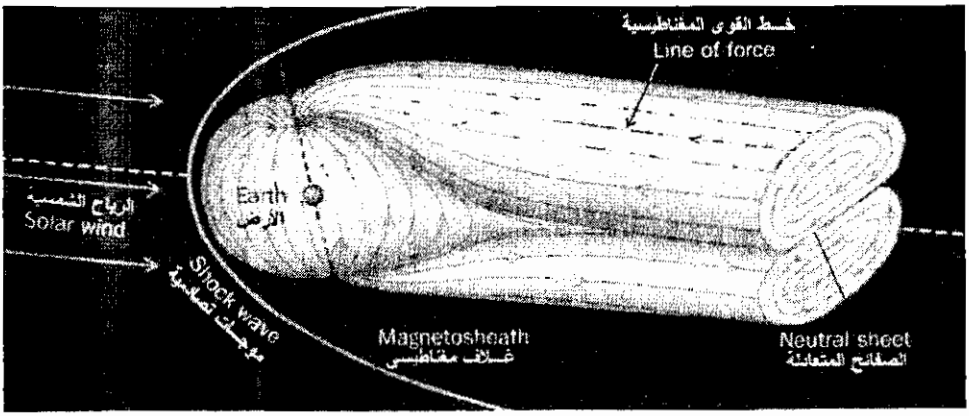
الشكل (2-3) التقسيمات الرئيسية للفضاء القريب.



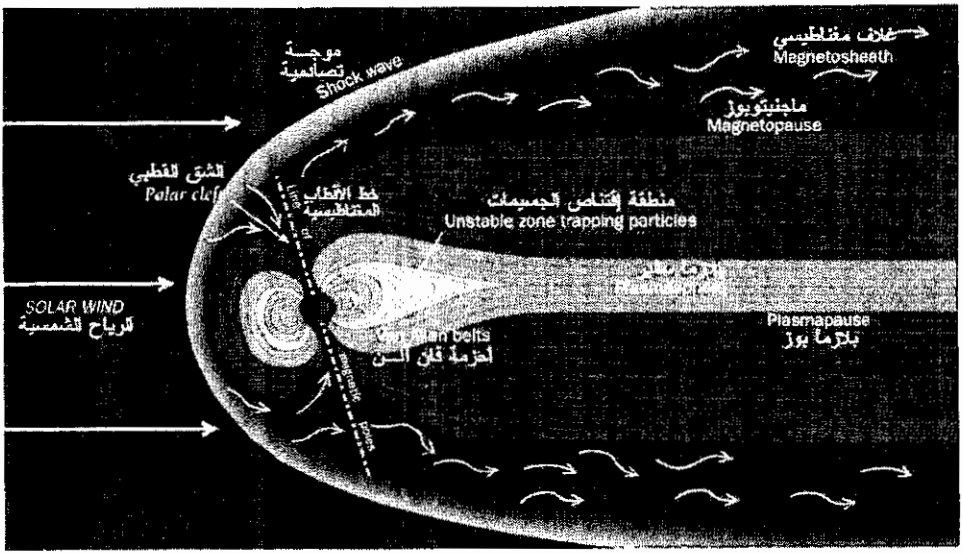
الشكل (2-4). شكل المجال المغناطيسي الأرضي في حالة عدم وجود رياح شمسية.

عنده اتزان للمجالين يسمي المجنيتوبوز magnetopause. وبعد المجنيتوبوز توجد الموجات التصادمية Shock wave الناتجة من تدفق الرياح الشمسية بسرعة أكبر من سرعة الصوت. وبين المنطقتين يوجد الغلاف المغناطيسي magnetosheath حيث يتغير المجال المغناطيسي بدرجة كبيره في الشدة والاتجاه. وهذا ينتج من الجسيمات القادمة من بلازما ما بين الكواكب الشكل (2-6) حيث تحتوي أحزمة فان آلن على مناطق خطرة بالنسبة للأقمار الصناعية. ولحسن الحظ فإن العديد من الأقمار الصناعية منخفضة الارتفاع LEO تقع مداراته تحت هذه المناطق، بينما مدارات الأقمار الثابتة GEO تقع فوق تلك المناطق الخطرة.

تبدأ طبقة الأيونوسفير ionosphere خارج طبقة الثرموسفير نتيجة لتأين مركبات الغلاف الجوي التي تصل إلى ارتفاعات عالية. وهذا التأين ينتج من أشعة الشمس فوق البنفسجية والأشعة السينية والأشعة الكونية Cosmic radiation. كما توجد جسيمات من بلازما ما بين الكواكب والأجزاء الصغيره الناتجة من المذنبات وحبيبات المذنبات في الطبقة العليا من الغلاف الجوي (وهي مصدر الأيونات المعدنية) .



الشكل (2-5) المجال المغناطيسي في وجود الرياح الشمسية.



الشكل(2-6) مقطع في الكرة المغناطيسية للأرض.

2-2-3 :البلازما في الماجنيتوسفير :

إن خطوط القوي التي في الماجنيتوسفير فوق الأيونوسفير الأرضي تؤين الجزئيات في اتجاه المجال المغناطيسى، لذلك تنظم توزيعها وتمثل الشقوق القطبية polar clefts طريقا سهلا أقل مقاومة لدخول الجزئيات المشحونة في الغلاف

الجوي الأرضى. وفي فترات زيادة النشاط الشمسي نجد أن الجزئيات ذات السرعات العالية قادرة نوعا ما على اختراق الطبقات العليا من الغلاف الجوى. لذلك تثير جزئيات الغلاف الجوي مما ينتج عنه ظاهرة الشفق القطبي auroras الشمالي والجنوبي australis & borealis .

يمكن تمييز المناطق المختلفة في بلازما الماجنيتوسفير بشكل خاص :

ففي المناطق المستقرة في أحزمة فان آلن Van allen belts التي فيها الجزئيات (ذات الطاقة العالية مثل البروتونات والالكترونات الموجودة في الأشعة الكونية وكذلك الالكترونات ذات الطاقة الأقل) تجبر على الانحراف على طول خطوط القوي (حيث تأخذ بين 0.01 إلى 2 ثانية لتتحرك من أحد أقطاب الكرة الأرضية إلى القطب الآخر تبعا لنوع الجسيم) لتدور حول الأرض. والالكترونات تكمل هذه الدورة من ساعة واحدة إلى عشر ساعات في اتجاه دوران الأرض. بينما البروتونات تتحرك في اتجاه معاكس لدوران الأرض في فترة زمنية قدرها 5 ثواني إلى 30 دقيقة. والبروتونات ذات الطاقة العالية تكون على ارتفاع ما بين 2000 إلى 6000 كم، ويمكن تواجدها على ارتفاعات أقل بكثير (تحت 400 كم) بمساعدة الأختلاف المغناطيسي في المناطق التي تقع بين البرازيل وجنوب أفريقيا. واحزمة الإشعاع مملؤة بالجسيمات ذات الطاقة العالية التي تدمر خلايا السيليكون التي تستخدم في الأقمار الصناعية لتوليد الطاقة من أشعة الشمس. وكرة البلازما تتكون من بلازما ذات طاقة منخفضة بنفس التركيب والأصل الظاهري كبلازما الأيونوسفير ولكن بكثافة أقل (50 جزىء /سم^3).

3-2 : الشروط الحرارية Thermal conditions :

تخضع الأجسام في الفضاء لدرجات حرارة مختلفة تعتمد بقدر أقل على درجة حرارة الهواء الذي يصبح أكثر ندرة. ففي طبقة الميزوسفير وما بعدها يتم تبادل الحرارة بواسطة الإشعاع، فالمصادر الرئيسية للحرارة قرب الفضاء هي الشمس (1200 h/m^2/kcal (كيلو كالورى/ م^2/ ساعة)) والأرض (187 h/m^2/kcal) بواسطة اشعاعها الذاتى، 430 h/ m$_2$ / kcal نتيجة انعكاس أشعة الشمس عليها).

تمد الأشعة الشمسية التي تعمل في الفضاء القريب أغلب الأقمار الصناعية بالطاقة. وفي الفضاء البعيد عندما تكون الأقمار بعيدة عن الشمس بدرجة كبيرة تقل طاقة الشمس وتصبح مصادر أخري للطاقة ضروية مثل الطاقة النووية. وفي التحليل الحراري للمركبات الفضائية وجد أنه عندما يكون الإشعاع الشمسي هو المسيطر وفي عدم وجود غلاف جوي يكون سطح المركبة المواجه للشمس ذو درجة حرارة عالية بينما السطح المضاد للشمس من المركبة يكون أبرد. ولكي تتمكن الأقمار الصناعية من

العمل بشكل صحيح يجب توفير تجانس في درجة حرارة القمر الصناعى. وأحد طرق ايجاد هذا التجانس هو استعمال طلاء وألواح تعكس الحرارة على الأجزاء المعرضة للشمس وألواح تمتص الحرارة على الأجزاء التى تحتاج للتدفئة. وأثناء خسوف القمر الصناعي (وهي الفترة التي يمر فيها القمر داخل ظل الأرض حيث لايستقبل القمر الإشعاع الشمسى) تظهر مشاكل كلا من انخفاض الإشعاع الذي يستقبله القمر والصدمة الحرارية thermal shock التي تتعرض لها مكونات القمر الصناعي المختلفة.

4-2 : الغبار والحطام الفضائي Dust and debris :

مثل بقية الفضاء بين الكوكبي، والفضاء القريب حيث يكون مملوء بالغبار الناتج من بقايا المذنبات أو من مصادر أخرى. حيث يصل بعض هذا الغبار إلى سطح الأرض على شكل نيازك meteorites (الأجزاء الكبيرة من الغبار) أو نيازك متناهية الصغر micrometeorites (أجزاء صغيرة جدا قطرها أقل من 10 ميكروميتر). والأجزاء ذات الأبعاد المتوسطة تتحلل وتتبخر في الغلاف الجوي الأرضي مكونة الشهب meteors. والفضاء القريب أيضا يتبعثر فيه حطام أكثر وأكثر من بقايا صواريخ الاطلاق وأقمار صناعية لم تعد تستعمل وتركت لمصيرها بدون تحكم، أو أقمار صناعية قد تحطمت بالفعل نتيجة اصطدامها بحطام فضائي آخر. إن تفكك قمر صناعي واحد مثل كوزموس 1275 نتج عنه 242 قطعة حطام أمكن رصدها، وملايين من الجسيمات الصغيرة تتحرك الآن حول الأرض. إن ارتطام غبار بين الكواكب أو الحطام بإحد الأقمار الصناعية يمثلان تهديدا حقيقيا لها. إن آثار ارتطام الجسيمات الصغيرة التي صنعت حفر يمكن رصدها على سطح المكوك الفضائي Space Shuttle.

الفصـل الثالث

عنـاصر المـدار

3-1 : هندسة المدارات

3-2 : قانون نيوتن

3-3 : قوانين كبلـر

3-4 : محاور الإحداثيات

3-5 : عناصر المدار

3-6 : حساب عناصر المدار

3-7 : الإقلاق وتصحيح المدار

3-8 : مـدار هومان الانتقالي

عناصر المدار[3]

3-1 : هندسة المدارات :

المدار هو مسار جسم ثانوي حول جسم آخر رئيسي أكبر منه كتلة. تنقسم المدارات إلي قسمين هما:

1- مدارات مغلقة. 2- مدارات مفتوحة.

المدارات المغلقة يدور فيها الجسم الثانوي دورة كاملة في فترة زمنية محدودة حول الجسم الرئيسي. المدار المغلق هو المدار الدائري والمدار البيضاوي أو يطلق عليه القطع الناقص أو الاهليجي.

المدارات المفتوحة هي مدارات يقترب فيها الجسم الثانوي مرة واحدة فقط من الجسم الرئيسي ثم يذهب إلى غير رجعة. ويحتوي هذا النوع على مدارات مكافئة Parabola و مدارات زائدية hyperbola.

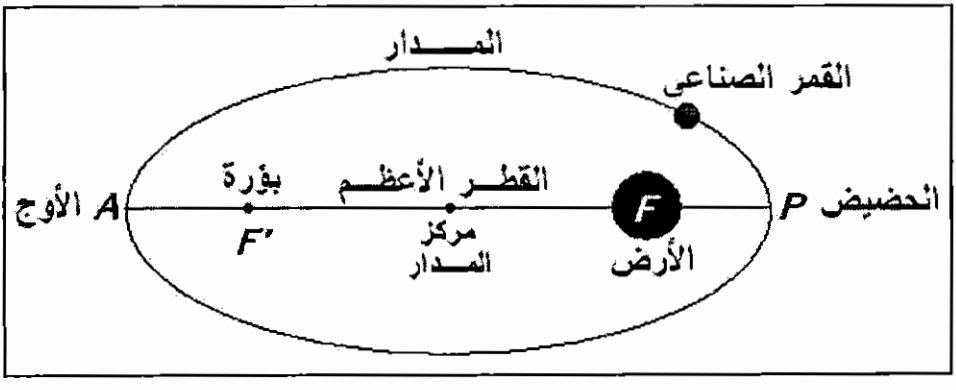
كيف نميز بين هذه الأنواع المختلفة ؟

لو نظرنا إلى المدار البيضاوي الشكل (3-1) نجد أنه يتميز بمحور أو قطر أعظم أفقي تقع عليه ثلاث نقاط أحدهما مركز المدار وهى تنصف القطر الأعظم، والنقطتان الأخرتان تقعان على جانبي المركز وعلى بعد متساو منه، وتسمى كل منهما بالبؤرة Focus. ويشغل الجسم الرئيسي أحد هذه البؤر F وتظل البؤرة الأخرى F' شاغرة. تسمى النسبة بين المسافة FF' إلى القطر الأعظم باستطالة المدار (e) Eccentricity وهذه الاستطالة تحدد نوع المدار. فإذا اقتربت البؤرتان من المركز كان المدار بيضاوي صغير الاستطالة (e > صفرا) ، وإذا ابتعدت البؤرتان عن المركز أصبح المدار بيضاوي شديد الاستطالة (e > 1)، وإذا انطبقت البؤرتان على المركز أصبحت الاستطالة صفرا، وأصبح المدار دائريا (e = صفرا) . والنقطة P الأقرب للبؤرة تسمى نقطة الحضيض Perigee، والنقطة A الأبعد عن البؤرة تسمى الأوج

[3] "Fernand Verger, et al; The Cambridge Encyclopedia of space of Space; 2003"

Apogee. ويوجد قطر آخر أصغر للمدار البيضاوي يكون متعامدا على القطر الأعظم عند المركز، ويكون طوله أصغر من القطر الأعظم تبعا لمقدار استطالة المدار. ومن هنا نجد أن مقدار الاستطالة يحدد نوع المدار إذا كان دائريا أو بيضاوي. أما إذا أصبحت الاستطالة $e = 1$ فيكون المدار مدار مكافئ مفتوح، وفي هذه الحالة يكون بعد مركز المدار لانهائى ∞ وكذلك نصف قطره الأعظم يساوي لانهائى ∞. أما المدار الزائدي المفتوح تكون استطالته $e > 1$.

وفي حالة المدار الدائري تكون سرعة الجسم الثانوي في المدار بالنسبة للجسم الرئيسي ثابتة أثناء الدورة، لأن البعد بين الجسمين ثابت. أما في المدار البيضاوي نجد أن بعد الجسمين يتغير ليصبح أقل ما يمكن عند نقطة الحضيض وتكون سرعة الجسم الثانوي عندها أعلى ما يمكن بالنسبة للجسم المركزي، ويصبح الجسم أبعد ما يمكن عند نقطة الأوج وبالتالي تكون سرعته عندها أقل ما يمكن. أما في باقي أجزاء المدار فتكون المسافة والسرعة محصورة بين تلك القيم محتفظة بالعلاقة العكسية بينهما.



الشكل (3-1) المدار الأهليجي.

لذلك نجد أن القوانين التي تربط الحركة في المدار الأهليجي تختلف عن القوانين التي تربط الحركة في المدار الدائري. ففي كل لحظة في المدار الأهليجي نجد قيم جديدة لبعد الجسمين وسرعة الجسم الثانوي بالنسبة للجسم الرئيسي وقوة الجذب بينهما. لذلك نلخص قوانين الحركة في المدار الأهليجي بما يأتي :

2-3 : قانون نيوتن :

يتحكم قانون الجذب العام لنيوتن في حركة الأقمار الطبيعية والصناعية. وينص قانون نيوتن على أن أى جسمين يجذب كل منهما الآخر بقوة تتناسب مع كتلتيهما وعكسيا مع مربع البعد بينهما.

$$F = G\ M_1 M_2 / r^2$$

حيث G ثابت الجذب العام و M_1 ، M_2 كتلة الجسمين . والقوة التي تؤثر على القمر الصناعي في مداره حول الأرض تساوى حاصل ضرب كتلة القمر في GM/r^2 حيث M كتلة الأرض . وحاصل ضرب G M قيمة ثابتة لأى جسم يدور حول الارض وقيمته هى μ = 398603 كم3 / ث2. ويعرف " بثابت الجذب الأرضى Geocentric Gravitational Constant.

3-3 : قوانين كبلر :

وقوانين كبلر تحدد خصائص مدارات الأقمار الصناعية وتنص قوانين كبلر على الآتى :

1- مدار القمر الصناعي Satellite أو القمر الطبيعى Moon حول الأرض أو الكواكب حول الشمس هو مدار أهليجي (بيضاوي) Ellipse تقع الأرض في إحدى بؤرتيه شكل (3- 1) .

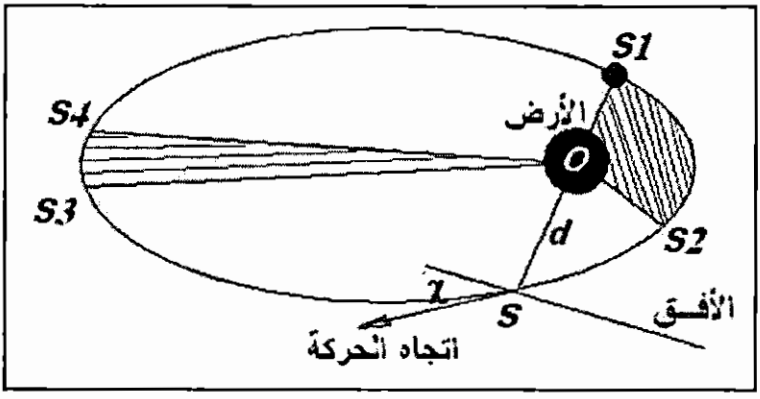
2- يمسح نصف القطر الاتجاهى للمدار (الذى يصل بين القمر ومركز الأرض أثناء حركته) مساحات متساوية في أزمنة متساوية شكل (3 – 2). ففي الدائرة يمسح الجسم أقواس ومساحات متساوية في ازمنة متساوية لثبات نصف قطر الدائرة. أما في المدار الأهليجي فنصف القطر الاتجاهي OS متغير الطول فيعوض قصره قرب الحضيض بزيادة طول القوس S1S2 وتقابل الزيادة في نصف القطر الاتجاهي قرب الأوج بنقص في طول القوس S3S4 وينتج في النهاية تساوي المساحات الممسوحة في الأزمنة المتساوية.

عند كل نقطة في مدار القمر حول الأرض توجد علاقة ثابتة بين سرعة القمر V وبعده عن مركز الأرض d والزاوية χ المحصورة بين اتجاه حركة القمر والمستوى الافقى العمودي على نصف القطر الإتجاهي وهذه العلاقة هي.

$$d\ V\ Cos\ \chi = \text{ثابت}$$

وحاصل ضرب $d_p\ V_p$ عند نقطة الحضيض Perigee تساوى $d_A\ V_A$ عند نقطة الأوج Apogee.

$$d_p\ V_p = d_A\ V_A$$



الشكل (3-2) القانون الثانى لكبلر.

حيث χ = صفر عند الحضيض والأوج وبالتالي تكون Cos χ = 1. فعند الحضيض تكون d أقصر و Vp أسرع وعند الأوج تكون d أطول و V_A أقل.
حيث يرمز الرمز P السفلى لنقطة الحضيض perigee ، ويرمز A لنقطة الأوج Apogee .

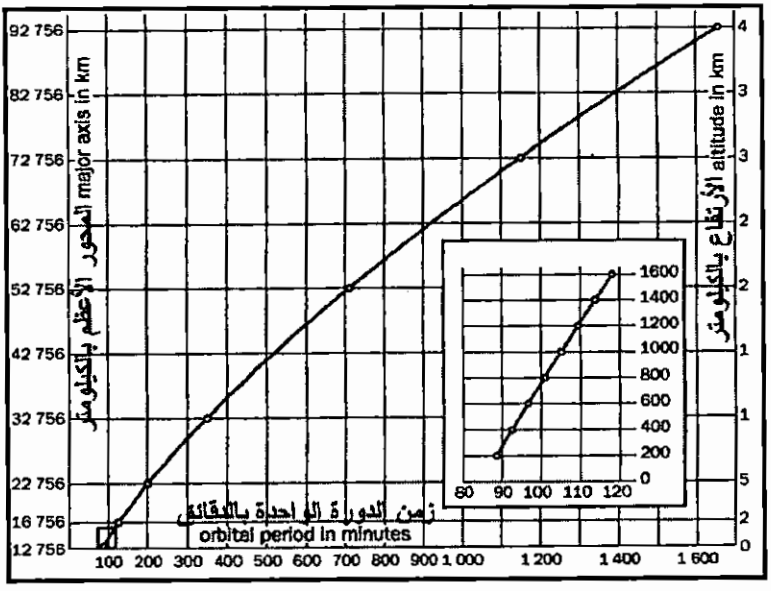
3- مربع زمن الدورة في المدار يتناسب مع مكعب طول القطر الأعظم Major axis الشكل (3-3) . حيث يمثل المحور الأفقي زمن الدورة بالدقائق ويمثل المحور الرأسي طول المحور الأعظم بالكيلومترات. و يمثل الشكل الداخلي الأيمن عن علاقة خطية في المدارات التي لاتزيد دورتها عن 120 دقيقة وارتفاعها عن 1600 كم.

$$T^2 = (2\ a)^3(\pi^2 / 2\ \mu\ )$$

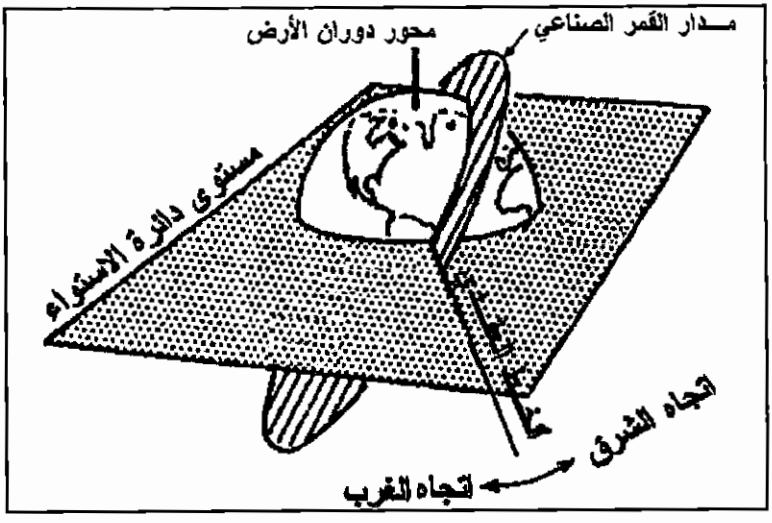
حيث $\pi^2 / 2\ \mu$ ثابت لجميع الأقمار التي تدور حول الأرض.

4-3 : محاور الإحداثيات Coordinate axes:

يقطع مدار القمر الصناعي حول الأرض مستوى دائرة الاستواء للأرض في نقطتين. تسمى النقطة التي يعبر عندها القمر من النصف الشمالى للأرض إلى النصف الجنوبى بالعقدة الهابطة Descending node وتسمى النقطة التي يعبر عندها القمر من النصف الجنوبى إلى النصف الشمالى للأرض بالعقدة الصاعدة Ascending node. وخط تقاطع مستوى مدار القمر الصناعي مع مستوى دائرة الاستواء والذى يمر بالعقدتين ومركز الارض يسمى بالخط العقدي Line of nodes الشكل (3-4).



الشكل (3-3). قانون كبلر الثالث[4].

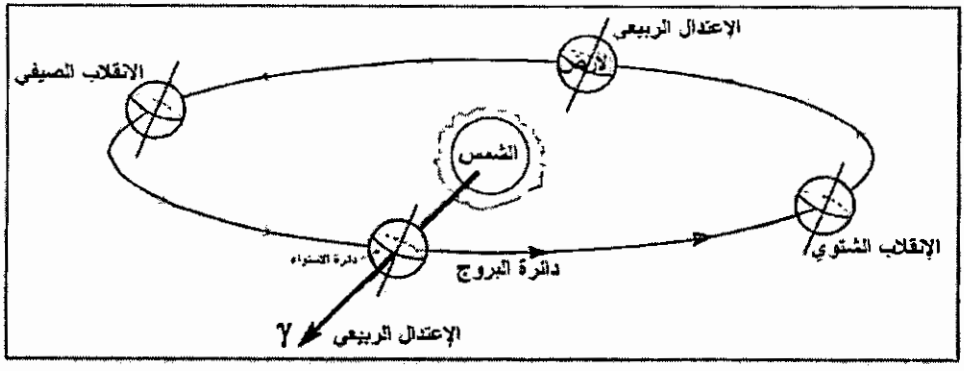


الشكل (3-4) حركة الخط العقدي للمدار شرقا وغربا.

[4] Roger R. B.;Fundamental of astrodynamic; 1971 الشكلين من

ومستوى دائرة الاستواء الأرضي يقطع مستوى مدار الأرض حول الشمس (البروج) Ecliptic في خط يمر بمركز الأرض ويسمى هذا الخط بخط الأعتدالين Line of equinoxes .

يكون هذا الخط في اتجاه الشمس يوم 21 مارس، وهو يحدد نقطة في السماء تعرف بنقطة الاعتدال الربيعي Vernal equinox (γ). وهذا الاتجاه ثابت في السماء مهما تحركت الأرض حول الشمس وهى تعتبر أهم النقاط التي تنسب إليها الإحداثيات الفلكية الشكل (3-5). ولكن هذا الاتجاه يتغير على مدى آلاف السنين. حيث يدور محور الارض حول العمودى على مستوى دائرة البروج حركة بطيئة تسمى السبق Precession مما يسبب حركة هذه النقطة (γ) بين النجوم لتكمل دورة في 27800 سنة. أى بمقدار 50 ثانية قوسية فى السنة. وهذا نتيجة تأثير اقلاق كواكب المجموعة الشمسية على الأرض.



الشكل (3-5). اتجاه نقطة الإعتدال الربيعي[5].

5-3 : عناصر المدار Orbital Elements :

يحدد مدار القمر حول الأرض بستة عناصر وهي:

1- Ω خط طول العقدة الصاعدة :

كل قمر صناعي يتحرك في مدار يقع في مستوى ثابت بالنسبة للإحداثيات الفلكية. وزاوية Ω (أوميجا) هي الزاوية بين الخط العقدي للمدار واتجاه نقطة الاعتدال الربيعي γ . تقاس الزاوية Ω على مستوى دائرة الاستواء الشكل (3-6)، وهذا العنصر يحدد اتجاه الخط العقدي في الفضاء. وهذه الزاوية هي خط طول العقدة

---

[5] Fundamental of astrodynamic; 1971 Roger R. B.;

الصاعدة Longitude of ascending node، وتقاس من صفر عند انطباق العقدة الصاعدة على نقطة الاعتدال الربيعي وتزيد في اتجاه الشرق (اتجاه دوران الأرض حول نفسها) ، حتى تصل إلى 360 ° عندما تنطبق العقدة الصاعدة مرة أخرى مع نقطة الاعتدال.

2- i الميـل :

يقسم الخط العقدي مستوى دائرة الاستواء ومستوى مدار القمر إلى نصفين وتسمى الزاوية بين مستوى المدار ومستوى دائرة الاستواء بزاوية الميل Inclination. أو هي الزاوية المحصورة بين العمود المقام على دائرة الإستواء (محور دوران الأرض) والعمود المقام على مستوى المدار الشكل (3-6). وتتراوح قيمة الميل بين صفر عندما ينطبق مستوى المدار على مستوى الاستواء ويسمى المدار فى هذه الحالة بالمدار الاستوائى Equatorial Orbit ويزيد الميل حتى يصل إلى 180°. ويسمى المدار الذى يكون ميله i أقل من 90° بالمدار المباشر Direct or Prograde Orbit ، ويسمى المدار الذى ميله i أكبر من 90° بالمدار التقهقري Retrograde Orbit.

3- ω زاوية إزاحة نقطة الحضيض :

تحدد هذه الزاوية ازاحة نصف القطر الأعظم في مستوى المدار عن العقدة الصاعدة. أو هى الزاوية المحصورة بين الخط الواصل من مركز الأرض ونقطة الحضيض (خط القطر الأعظم) وبين الخط العقدي. وهذه الزاوية تسمى بإزاحة نقطة الحضيض Argument of Perigee الشكل (3-6) & (3-7). وهذه الإزاحة تتغير قيمتها من الصفر عندما تكون نقطة الحضيض على الخط العقدي ثم تزداد إلى 360 ° في نفس اتجاه حركة القمر في مداره .

4- a نصف القطر الأعظم :

المدار الإهليجي له قطر أعظم major axis a يمر بمركز المدار وبؤرتيه. ونهايتي القطر الأعظم هما نقطة حضيض المدار (أقرب نقطة للبؤرة الرئيسية) ونقطة الأوج (أبعد نقطة عن البؤرة الرئيسية).

5- e استطالة المدار :

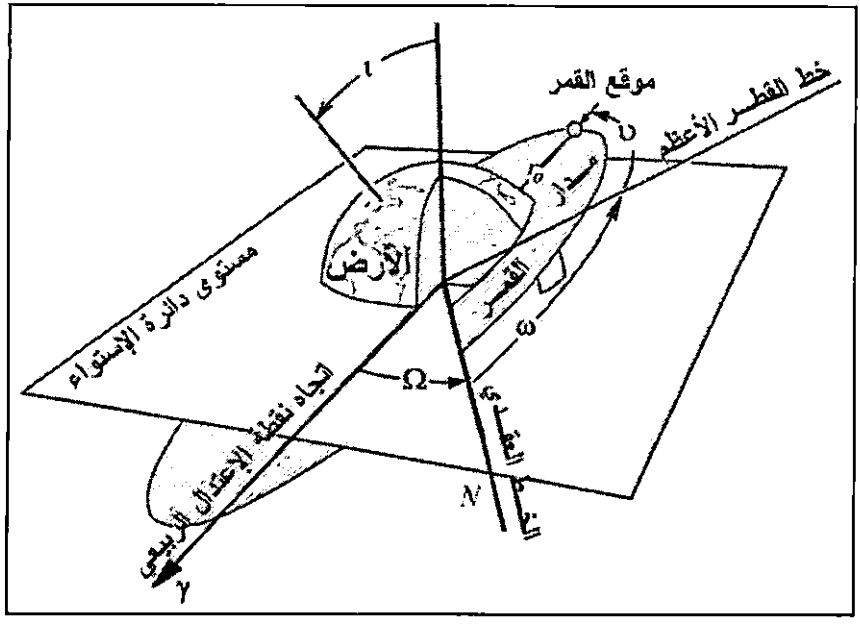
هى النسبة بين بعد البؤرة الرئيسية عن مركز المدار إلى نصف القطر الأعظم وتسمى استطالة المدار e Eccentricity.

6- t_o زمن عبور نقطة الحضيض :

هو زمن عبور القمر لنقطة ثابتة في المدار تكون عادة نقطة الحضيض. ويمكن تحديد موقع القمر فى زمن ما بتعين زاوية الحصة الحقيقية υ True anomaly للقمر في مداره وهى الزاوية بين نقطة الحضيض وموقع القمر مقاسه عند مركز الأرض في اتجاه الحركة شكل (3-6) و (3-8).

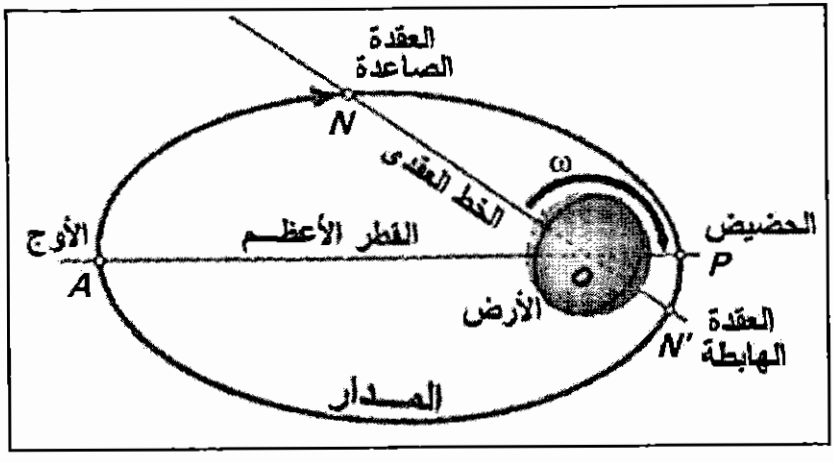
نجد من العناصر السابقة أن شكل المدار وحجمه يحددان بعنصرين هما الاستطالة e ، ونصف القطر الأعظم a. ويحدد موقع المدار في الفضاء بالنسبة لدائرة الاستواء بموقع العقدة الصاعدة بالنسبة لنقطة الاعتدال الربيعي γ، ويحدد ميل المدار مع دائرة الاستواء بزاوية الميل i. ويحدد اتجاه القطر الأعظم في الفضاء بإزاحته عن عقدة المدار بالزاوية ω.

أما موقع القمر الصناعي في لحظة معينة في المدار تحدد بالفرق بين هذا الوقت ووقت مروره بنقطة الحضيض، ومن ثم نستطيع معرفة الحصة الحقيقية υ التي قطعها القمر من الحضيض إلى مكانه الحالي في هذا الزمن.

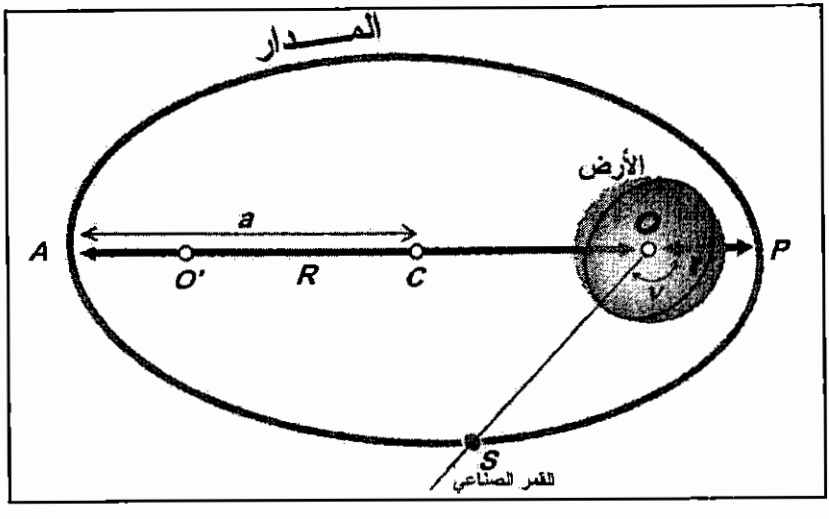


الشكل (3-6) عناصر مدار القمر الصناعي[6].

[6] Roger R. B.; Fundamental of astrodynamic; 1971



الشكل (3-7). قياس زاوية ازاحة نقطة الحضيض ω .



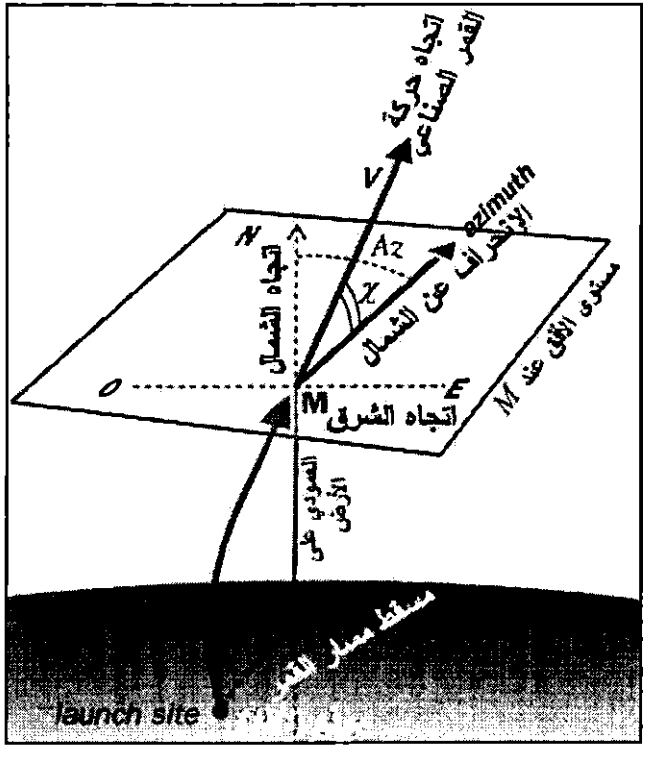
الشكل (3-8). قياس الحصة الحقيقية ν.

6-3 : حساب عناصر المدار :

يوضح الشكل (3-9) موقع إطلاق القمر من الأرض، M موقع حقن القمر في المدار، Mm العمود المقام من النقطة M على المستوى الأفقي ويتقاطع مع سطح الأرض عند m ، اتجاه الشمال والشرق محددان على المستوى الأفقي. اتجاه حركة القمر الصناعي (اتجاه متجه السرعة) يصنع زاوية مع المستوى الأفقي مقدارها χ ، وهي تحدد اتجاه سرعة القمر بالنسبة للأفق. ويحدد انحراف مسقط حركة القمر على الأفق عن اتجاه الشمال بالزاوية الأفقية Az .

يمكن حساب عناصر مدار القمر من المعلومات التي نحصل عليها عند رصد القمر عند نقطة ما في مداره M وهذه المعلومات هي :

- سرعة القمر V عند هذه النقطة.
- بعد القمر عن البؤرة d (نصف القطر الاتجاهي) .
- زمن مرور القمر t_m بهذه النقطة.



الشكل (3-9).
تحديد اتجاه حركة القمر.

- إحداثيات المحطة

الأرضية التي ترصد القمر (خط الطول L وخط العرض φ).

للحصول على مدار صحيح يجب أن تكون الظروف الابتدائية عند نقطة دخول القمر M فى مداره صحيحة وسليمة وهذه الظروف هى بعد القمر عن مركز الأرض r وسرعة القمر V وزاوية الطيران χ وهى زاوية اتجاه حركة القمر مع المستوى الافقى عند نقطة الدخول المدار وتسمى نقطة دخول القمر إلى مداره M بنقطة الحقن Injection point انظر الشكل (3-9) والشكل (3-12).

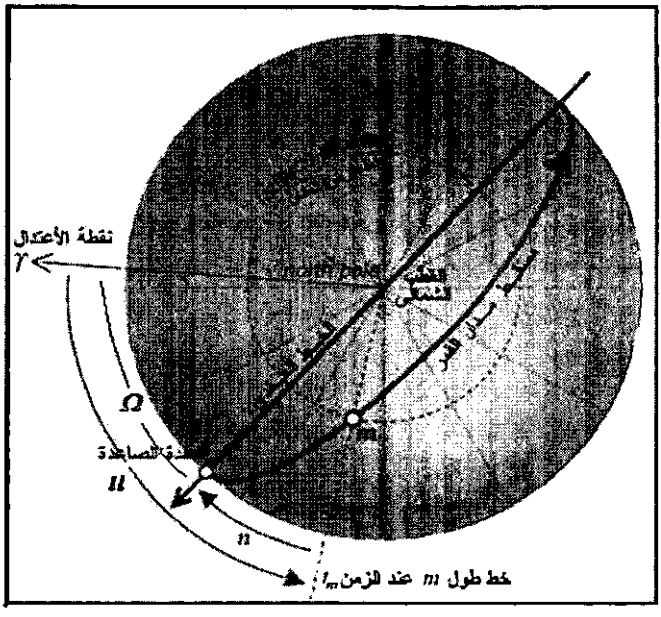
مما سبق نجد أن عناصر المدار يمكن حسابها بسهولة :

i : يتحدد ميل مدار القمر i من الشكل (3-10) بالزاوية الأفقية Az وخط العرض m φ عند نقطة حقن القمر m في المدار.

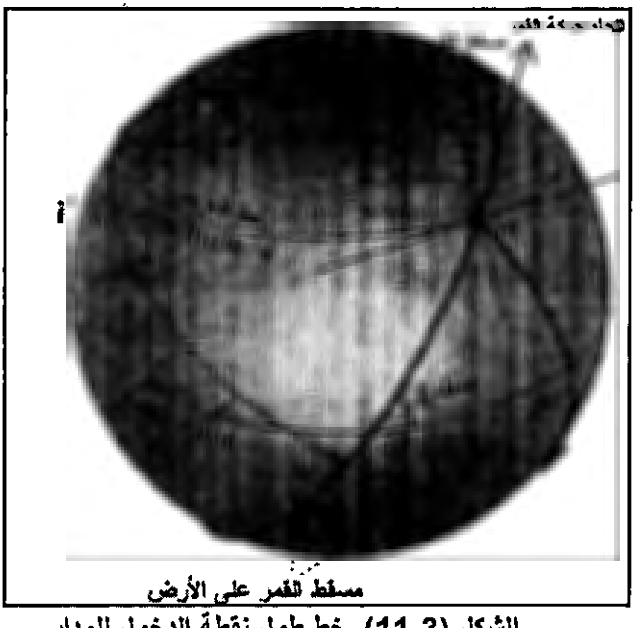
Ω : يحدد خط طول العقدة الصاعدة بزمن حقن القمر في المدار t_m وخط طول نقطة الحقن (L_m) كما فى الشكل (3-11).

وللتأكد من أن مدار القمر في مستوى ما يجب اختيار الوقت المناسب لدخول القمر في مداره معتمدا على خط الطول الذي توضع عنده العقدة الصاعدة، أى الزاوية Ω المطلوبة مع اتجاه نقطة الاعتدال الربيعي γ. إن اتجاه الاعتدال الربيعي γ وخط طول نقطة الدخول في المدار L_m يحددان الزاوية u عند الزمن tm. والزاوية Ω هي الفرق بين الزاوية u والزاوية n. حيث n هي الزاوية بين خط طول نقطة دخول المدار والخط العقدي.

ω : هي إزاحة نقطة الحضيض عن العقدة الصاعدة وتحدد بالزاوية χ بين اتجاه حركة القمر والأفق المحلى الشكل (3-12)، (3-13) عند نقطة الحقن M . وفي الشكل(3-12) يصنع نصف القطر d زاوية φ مع العقدة الصاعدة N. ويصنع نصف القطر الاتجاهي d زاوية υ مع اتجاه الحضيض (الحصة الحقيقية) لنقطة M ويمكن تعيين الزاوية ω بالفرق بين الزاوية φ والزاوية υ.



الشكل (3-10). تحديد ميل مدار القمر.



الشكل (3-11). خط طول نقطة الدخول للمدار.

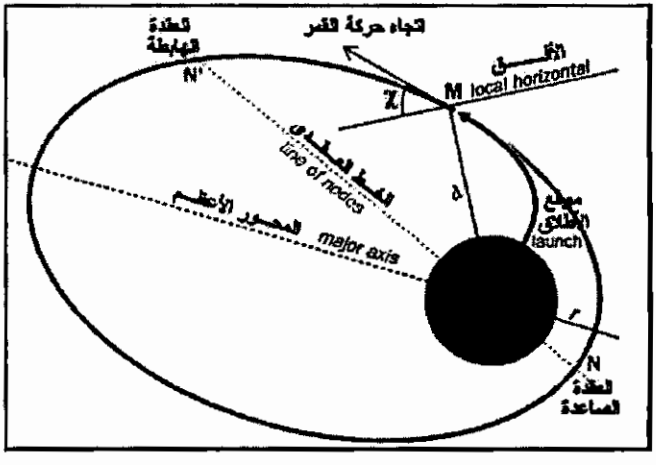
يحدد طول نصف القطر الاتجاهي d عند نقطة الحضيض بالمسافة r من البؤرة.حيث d = r عندما تكون χ = صفر.
يحدد طول نصف القطر الاتجاهي R عند نقطة الأوج بمعرفة بعد الحضيض r عن البؤرة. عندئذ يمكن حساب سرعة القمر عن الحضيض Vp أو بمعرفة السرعة V عند الموقع M للقمر حيث

$$V_p = \sqrt{\frac{2\mu}{r} - \frac{2\mu}{(r+R)}} \qquad \text{أو} \qquad V_p = V\ (\frac{d\ Cos\ \gamma}{r})$$

أول سرعة يمكن الوصول إليها عندما يتساوى بعد الحضيض والأوج عن البؤرة أى R = r حيث المدار يكون دائريا نصف قطره r. ونجد من المعادلة السابقة أن :

$$V_p = \sqrt{\frac{\mu}{r}}$$

والسرعة الأقل من السرعة الدائرية تجعل مدار القمر يتقاطع مع سطح الأرض ويصبح القمر في هذه الحالة كصاروخ باليستى أطلق من منصة إطلاق ليسقط في مكان آخر على سطح الأرض الشكل (3-14) .



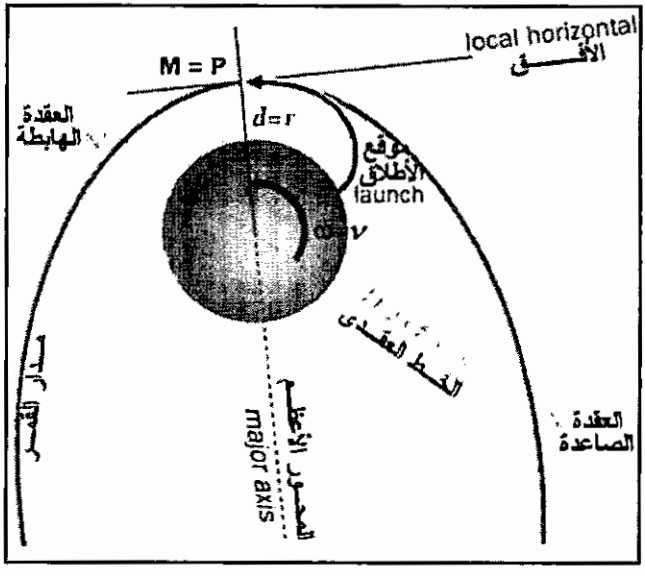
الشكل (3-12). إزاحة النقطة M عن الحضيض والعقدة.

وثاني سرعة للقمر عندما تكون R = ∞ فيتلاشى الحد الثانى من الطرف الأيمن للمعادلة وتصبح السرعة

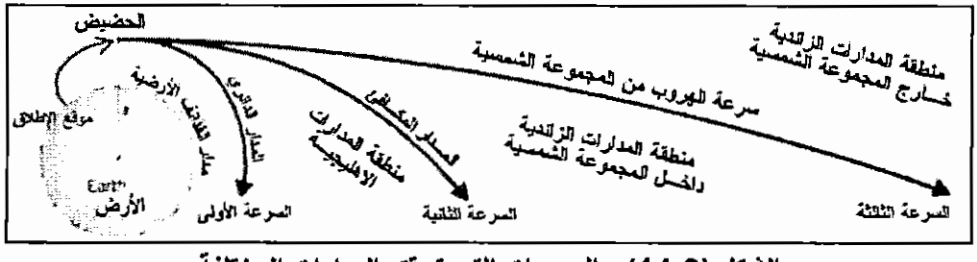
$$V_p = \sqrt{\frac{2\ \mu}{r}}$$

ويكون المدار حينئذ قطع مكافئ Parabola .

وتقع سرعة المدارات بيضاوية بين أقل سرعة (للمدار الدائري) وأكبر سرعة (للمدار المكافئ). وإذا زادت السرعة عن سرعة المدار المكافيء يستطيع القمر الإفلات من تأثير الجذب يتخذ المدار قطعا زائديا Hyperbola.



الشكل (3-13). إزاحة الحضيض عن العقدة.



الشكل (3-14). السرعات التي تحقق المدارات المختلفة.

السرعة الثالثة ترتبط بسرعة الأرض V_t حول الشمس ويستطيع القمر الإفلات من المجموعة الشمسية (في المدارات القريبة من الأرض تكون V_p= 16.85 كم/ث).

$$V_p = \sqrt{\frac{2\ \mu}{r} - V_t^2\ (3-2\ \sqrt{2})}$$

t : الزمن بين عبور القمر لنقطة الحضيض عند to وزمن عبور القمر للنقطة M عند t_m حيث يكون $t_0 = t_m$ عندما تكون γ = صفر.

7-3 : الإقلاق وتصحيح المدار :

إن كل عنصر من عناصر المدار يمكن تغييره أما بواسطة الإقلاق الطبيعي نتيجة تأثير الغلاف الجوى، جاذبية الأرض، تفلطح الأرض وجاذبية القمر أو بواسطة مناورات تتم عن طريق أوامر ترسل من المحطات الأرضية إلى محركات القمر الصناعي.

Ω : إن اتجاه مستوى المدار يحدث له إقلاق بواسطة السبق العقدي Nodal Precession (حركة العقدة التقهقرية) وذلك نتيجة لتأثير انبعاج الكرة الأرضية عند الاستواء. فكلما زاد اقتراب القمر من الأرض أو زاد ميل المدار كلما زاد دوران مستوى المدار في الفضاء وبالتالي زادت سرعة حركة العقدة.

فإذا كانت i < 90 ° تكون حركة العقدة في اتجاه معاكس (من الشرق الى الغرب) لدوران الأرض حول محورها أو القمر فى مداره (من الغرب إلى الشرق). وإذا كانت i >90 ° تكون حركة العقدة في نفس اتجاه دوران الأرض حول محورها الشكل (3-15).

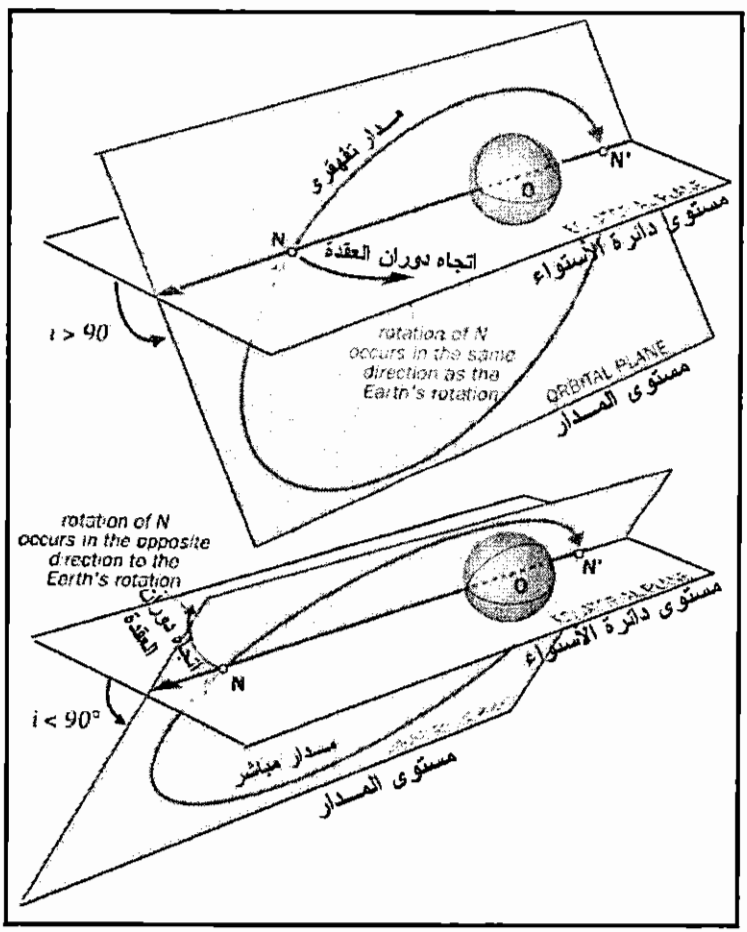
وأي مناورة تتم لتعديل Ω تكون مكلفة لاستخدامها مزيدا من الوقود لذلك يفضل الاستفادة من السبق العقدي الذي يحدثه الإقلاق الطبيعي نتيجة تفلطح الأرض.

i : هناك إقلاق طبيعي على ميل المدار نتيجة لتأثير جذب الشمس والقمر الطبيعي على القمر الصناعي. وهذا الإقلاق يمكن إهماله في المدارات المنخفضة ويكون ضعيفا على ارتفاع 40 ألف كم ولكنه يزداد مع زيادة ارتفاع نقطة أوج المدار عن 40 ألف كم. ولتعديل ميل المدار بمقدار Δi يمكن إعطاء القمر الصناعي دفعة بمحرك عند أحد عقد المدار مقدارها ΔV بزاوية $90^{o} + \Delta i/2$ مع اتجاه حركة القمر الشكل (3-16).

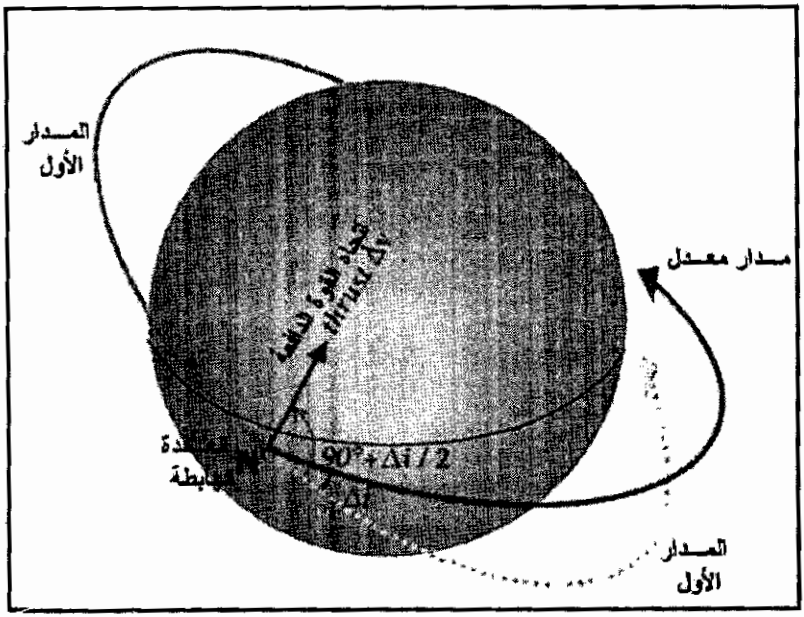
ω : وهناك إقلاق طبيعي يتم على الإزاحة الزاوية ω لنقطة الحضيض وتسمى بسبق خط القطر الأعظم Apsidal precession وهذا الإقلاق ناتج أيضا من انبعاج الأرض عند دائرة الاستواء. فكلما كان القمر أكثر قربا من الأرض ومداره أكثر ميلا عن 26 ° 63 ' كلما كان دوران محور المدار فى اتجاه معاكس لحركة القمر وبالتالى تغير موقع نقطة الحضيض بالنسبة للعقدة الشكل (3-17). ويكون السبق في نفس اتجاه حركة القمر إذا كان ميل المدار أقل من 26 ° 63 ' . ويتلاشى السبق تماما عندما

يكون الميل مساويا 26 ′ 63 ° ويسمى المدار في هذه الحالة بالمدار المتجمد Frozen orbit.

لإتمام مناورة لتعديل ω بمقدار $\Delta\omega$ يتم إعطاء دفعه ΔV في اتجاه مركز الأرض عند نقطة في المدار بحيث يصنع نصف قطر المدار زاوية $\Delta\omega$ /2 مع القطر الأعظم للمدار الشكل (3-18). وعندئذ يترك القمر المدار الأول عند هذه النقطة ليتخذ مدار جديد.



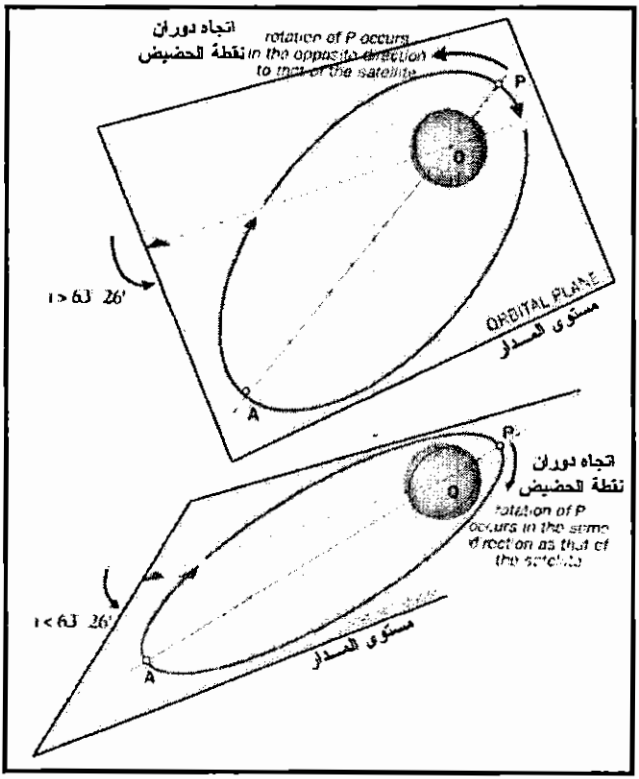
الشكل (3-15) اتجاه دوران العقدة.



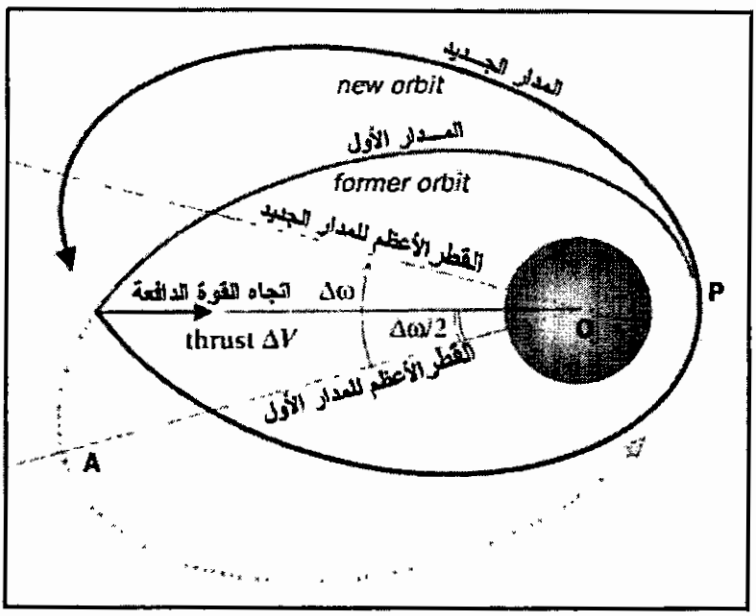
الشكل (3-16).
طريقة تعديل ميل مدار القمر

R : أن مقاومة الغلاف الجوى وضغط الإشعاع الشمسي على سطح القمر الصناعي تنقص ارتفاع نقطة الأوج للمدار عن مركز الأرض دون تغير ارتفاع نقطة الحضيض. لهذا كل المدارات البيضاوية نتيجة لهذا التأثير تصبح مدارات دائرية نصف قطرها يساوى ارتفاع نقطة الحضيض. وبمجرد أن يصبح المدار دائريا فان نصف قطره يتقلص تدريجيا ويتجه القمر للسقوط على الأرض متخذا مدارا حلزونيا.

يتحدد العمر الافتراضي Life time للقمر في المدار الدائري بفرض أن العامل الوحيد المؤثر هو مقاومة الغلاف الجوى للأرض تبعا للارتفاع كما هو موضح بالجدول (3-1):



الشكل (3-17). اتجاه دوران الحضيض تبعا لميل المدار.



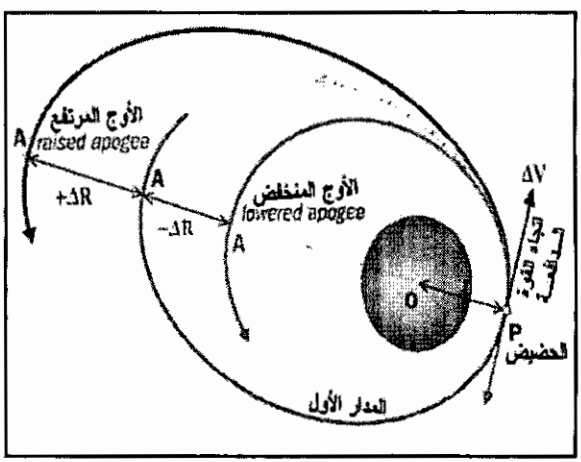
الشكل (3-18). تعديل اتجاه نقطة الحضيض

العمر الافتراضي	الارتفـــاع	العمر	الارتفـــاع
عدة أيام	200 كم	100 سنة	800 كم
عدة أسابيع	300 كم	عدة قرون	1000 كم
عدة سنوات	600 كم	ملايين السنين	30000 كم

الجدول (3-1) العمر الافتراضي للقمر.

ولإحداث تغير في بعد نقطة الأوج مقداره ΔR يتم إعطاء دفعة عند الحضيض في اتجاه حركة القمر لزيادة بعد الأوج. وإذا أردنا إنقاص ارتفاع الأوج تكون الدفعة عند الحضيض في اتجاه معاكس لاتجاه حركة القمر الشكل (3-19).

r : أما إذا أردنا تعديل r بمقدار Δr يتم إعطاء الدفعة ΔV عند الأوج في اتجاه حركة القمر لزيادة بعد الحضيض وفي عكس اتجاه حركة القمر لنقص ارتفاع الحضيض.



الشكل (3-19).
تعديل ارتفاع الأوج.

8-3 : مـدار هومان الانتقالي :

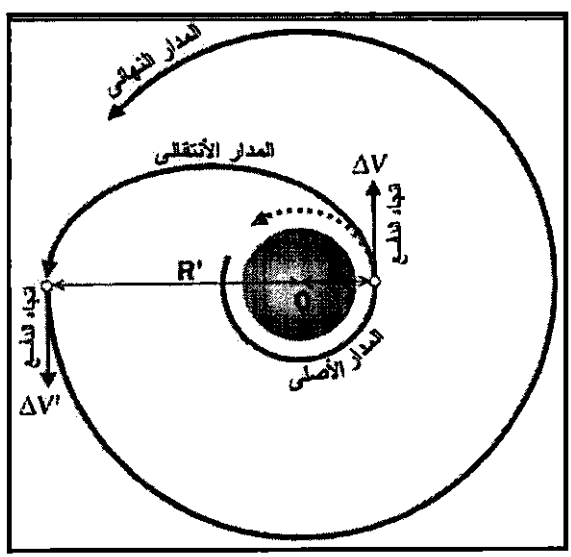
ولعمل مناورة maneuver للانتقال من مدار دائري حول الأرض إلى مدار دائري آخر أكبر منه، فإن المدار الانتقالي Transfer Orbit الذي سيتخذه القمر للانتقال من المدار الأول إلى الثاني سيكون مدارا بيضاويا، وهو أكثر الطرق اقتصادا في استهلاك الوقود وتسمى هذه المناورة بطريقة هومان Hohmann transfer حيث يكون المدار

الانتقالى البيضاوي مماسا للمدار الدائري الأصغر من الخارج أى عند نقطة حضيضه، ومماسا للمدار الدائري الأكبر من الداخل عند نقطة أوجه الشكل (3-20).

لإتمام ذلك يحتاج القمر إلى دفعتين أحدهما ΔV في اتجاه الحركة عند أى نقطة من المدار الدائرى الأصغر (A) للانتقال للمدار البيضاوي الانتقالي وتكون هذه النقطة نقطة حضيض المدار الانتقالى والدفعة الأخرى $\Delta V'$ عند نقطة الأوج فى المدار الانتقالى في اتجاه الحركة للانتقال من المدار البيضاوي الانتقالي إلى المدار الدائري النهائي.

t : جميع الإقلاقات التي تؤثر على طول R و R′ تؤثر أيضا على طول دورة القمر وأيضا على t_o (زمن عبور نقطة الحضيض). ويمكن تعديل زمن عبور الحضيض t_o بزيادة R′ أو زيادة R لتقليل سرعة القمر، ثم تقليل R′ أو R إلى قيمتهما الابتدائية ليعود المدار لشكله الأول.

يمكن عمل هذه المناورة بطريقة عكسية للحصول على نفس النتيجة (تقليل R′ أو R ثم زيادتهما بنفس النسبة مرة أخرى). ويمكن تصحيح خط طول القمر المتزامن Geostationary satellite بنفس طريقة المناورة السابقة.



الشكل (3-20).
طريقة هومان للمدارات الإنتقالية.

الفصل الرابع

المسارات الأرضية للأقمار الصناعية

4-1 : المسار الأرضي

4-2 : تأثير ارتفاع القمر وخط عرض المكان

4-2-1 : بالنسبة للمدارات الدائرية

4-2-2 : بالنسبة للمدارات الاهليجية

4-3 : الخواص الأساسية للمسار الأرضي

4-4 : أنواع المسارات الأرضية للقمر الصناعي

4-4-1 : المدارات الدائرية

4-4-2 : المدارات الإهليجية

المسارات الأرضية للأقمار الصناعية[7]
Ground Tracks

1-4 : المسار الأرضي :

المسار الأرضي للقمر الصناعي هو منحنى تخيلي على سطح الأرض ينتج من تقاطع سطح الكرة الأرضية مع مستوى مدار القمر الصناعى. وهذا المنحنى التخيلي ينتج من مجموع حركة القمر الصناعي ودوران الكرة الأرضية حول محورها.

ويقسم مستوى مدار القمر الصناعى الكرة الأرضية إلى نصفين متساويين بواسطة دائرة عظمى تمر بمركز الكرة الأرضية. فإذا فرضنا أن الأرض لا تدور حول محورها فإن المسار الأرضي للقمر ينطبق على محيط الدائرة العظمى شكل (4-1). حيث يوضح الشكل الأيسر مستوى مدار القمر حول الأرض، والشكل الأيمن يوضح المسار الأرضي للمدار الدائري الذي يتخذ شكل منحنى الجيب Sine curve نصفه العلوي يمثل نصف المدار الشمالي، ونصفه السفلي يمثل نصف المدار الجنوبي وتكون نقط تقاطع المسار مع دائرة الاستواء على مسافات متساوية من بعضها. وبفرض عدم دوران الأرض فإن المسار الأرضي لن يغير موقعه بالنسبة لخطوط الطول والعرض التي يمر بها أي يتخذ نفس المسار في كل دورة.

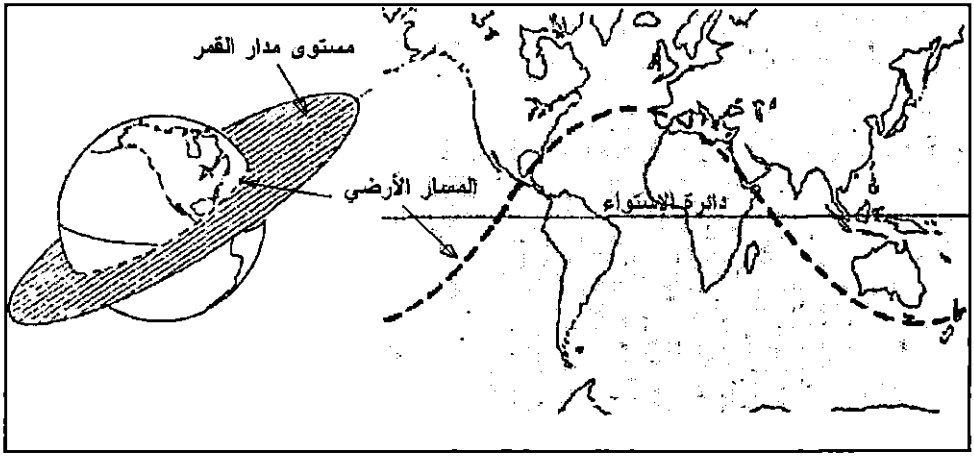
أما في حالة أعتبار دوران الأرض حول محورها فنجد أن المسار الأرضي ينحرف ناحية الغرب مع كل دورة جديدة، ولذلك لدوران الأرض حول نفسها من الغرب إلى الشرق ومقدار هذا الانحراف (المسافة بين عقدتين صاعدتين متتاليتين) يعتمد على زمن دورة القمر في مداره أنظر الشكل (4-9).

ففي حالة مدار قمر قطبي دائري أي يمر المدار بقطبي الكرة الأرضية أو بالقرب منهما ولمعرفة العلاقة بين حركة القمر في مداره ودوران الأرض حول محورها وشكل المسار الأرضي دعنا نوضح لك الأمثلة التالية :

---

[7] "Fernand Verger, et al; The Cambridge Encyclopedia of space of Space;2003"

الشكل (4-2) يوضح إذا كانت الأرض لاتدور حول محورها فإن المسار الأرضى سيكون من الشمال إلى الجنوب دائما. أما إذا اعتبرنا حركة الأرض حول محورها وحركة القمر من الشمال إلى الجنوب أيضا كما يوضحه السهم السميك في الصورة (أ) وكان القمر في البداية عند النقطة 1. فإذا إنتقل القمر إلى النقطة 2 في مداره في الصورة (ب) جنوب النقطة 1 ، نجد ان المسار الأرضي في الصورة الثانية إنحرف تجاه الجنوب الغربى. لأنه أثناء الفترة التي تحرك فيها القمر في مداره من 1 إلى 2 فى المدار القطبى نجد أن الأرض دارت حول محورها في اتجاه الشرق بزاوية معينة تعتمد على طول دورة القمر فى مداره.

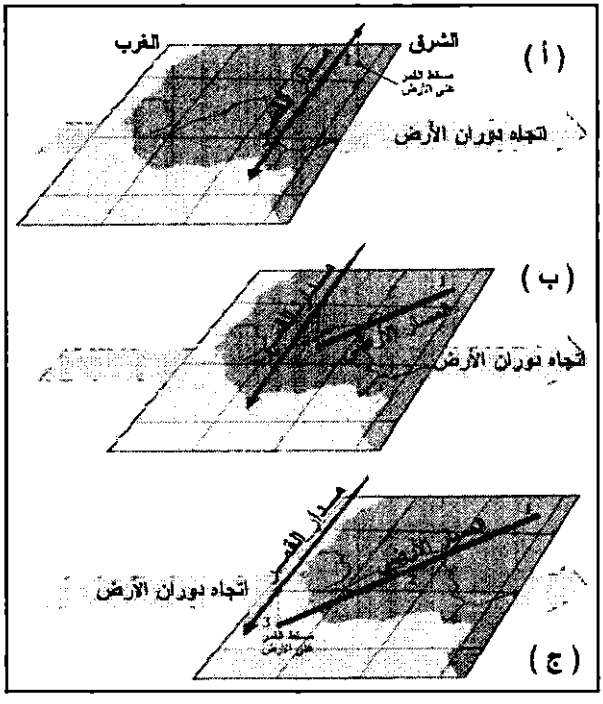


الشكل (4-1). المسار الأرضي لقمر بفرض عدم دوران الأرض[8].

مقدار هذه الزاوية هو الذي يتحكم في درجة ميل المسار الأرضي (رغم أن مدار القمر قطبى). وإذا وصل القمر في مداره للنقطة 3 في الصورة (ج) نجد ان المسار الأرضي يكمل حركته تجاه الجنوب الغربى بنفس درجة الميل (حيث أن المدار دائري) رغم أن حركة القمر فى مداره من الشمال إلى الجنوب. لذلك نجد أن دوران الأرض حول محورها غير اتجاه المسار الأرضي للقمر بدلا من أن يكون من الشمال إلى الجنوب مثل حركة القمر في مداره ليصبح اتجاه المسار من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربى. وتتحدد طبيعة التغير في ميل المسار الأرضي عن مدار القمر تبعا للسرعة الزاوية للقمر الصناعي (تعتمد السرعة الزاوية على ارتفاع القمر)، وكذلك على معدل دوران الأرض عند خط العرض الذي يقع فوقه القمر فى لحظة ما.

---

[8] Roger R. B.; Fundamental of astrodynamic; 1971

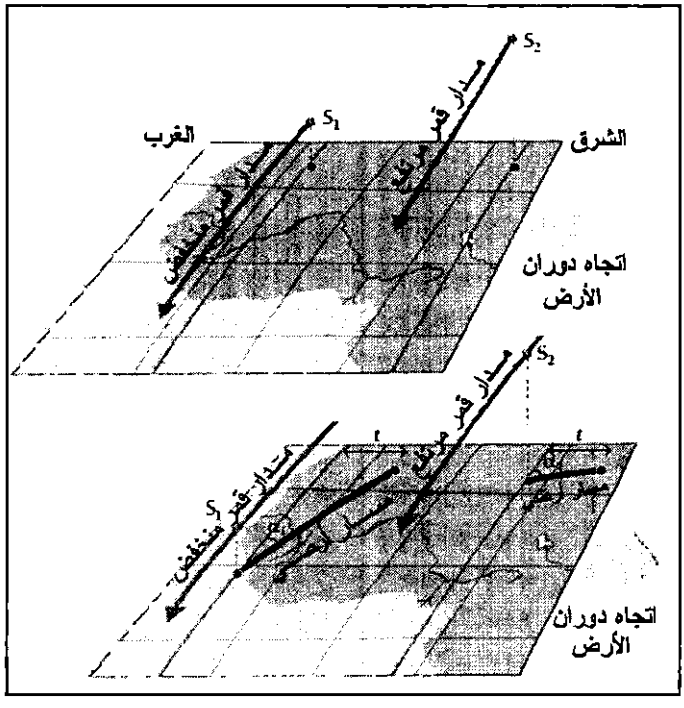


الشكل (4-2). المسار الأرضي باعتبار دوران الأرض.

4-2 : تأثير ارتفاع القمر وخط عرض المكان :

4-2-1 : بالنسبة للمدارات الدائرية :

إن انخفاض السرعة الزاوية للقمر نتيجة لإرتفاعه ينتج عنه تغير كبير في اتجاه المسار الأرضي. وحيث أن السرعة الزاوية للقمر الصناعي في المدارُ الدائري ثابتة، فكلما زاد ارتفاع القمر إنخفضت السرعة الزاوية. وينتج عن ذلك زيادة إزاحة المدار الأرضي تجاه الغرب نتيجة لدوران الكرة الأرضية. الشكل (4-3) يوضح مقارنه بين القمر S_1 في مدار قطبي دائري منخفض الارتفاع والقمر S_2 في مدار قطبي دائري عالي الارتفاع. فإذا اخذنا حركة القمر في فترة زمنية ثابتة t. فإن المسار الأرضي للقمر S_2 الأعلى ارتفاعا يزاح مساره الأرضي ناحية الغرب وتكون زاوية انحرافه α_2 (الصورة السفلى المسار الأيمن) أكبر وبالتالي يكون طول المسار الأرضي أقصر. في حين أن القمر الأقل انخفاضا S_1 تكون زاوية انحراف مداره الأرضي ناحية الغرب α_1 (الصورة السفلى المسار الأيسر) أصغر ومساره الأرضي أطول.



الشكل (4-3) تأثير الارتفاع على المسار الأرضي لقمر مداره دائرى.

4-2-2 : بالنسبة للمدارات الاهليجية :

في حالة المدارات الاهليجية تتغير سرعة القمر من وقت لآخر تبعا لموقعه في المدار حيث تكون أقل سرعة عند نقطة الأوج ثم تزداد السرعة حتى تصل أقصاها عند نقطة الحضيض.

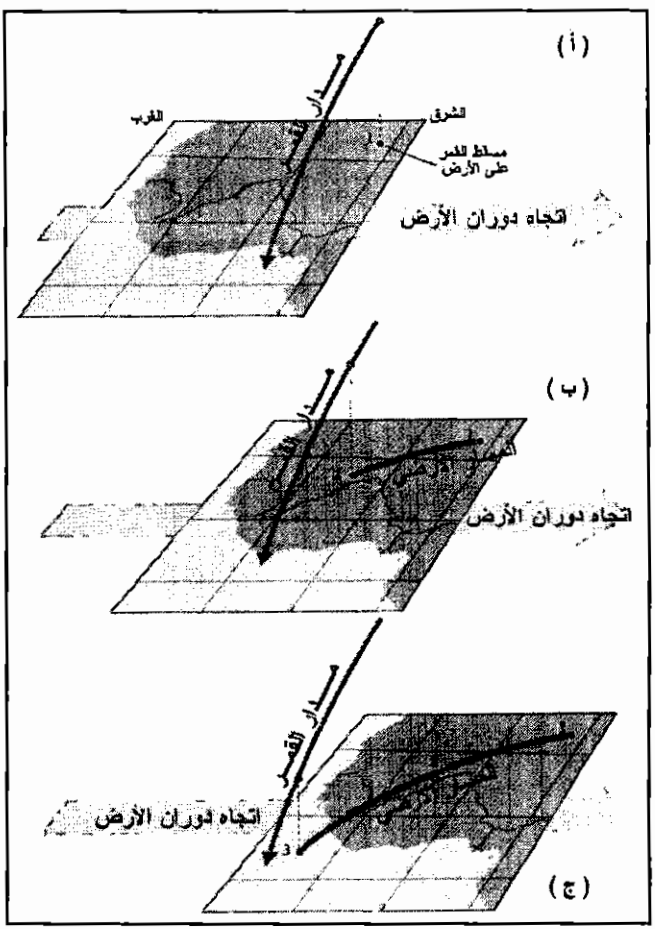
ويتبع ذلك أن مدارات الأقمار الأهليجية المنخفضة يكون مسارها الأرضي أكثر أزاحة ناحية الغرب ومساره صغير عندما يكون القمر أبعد ما يمكن عن الأرض قرب نقطة الأوج الشكل (4-4-أ) وعندما يكون القمر في الحضيض يكون القمر أقرب ما يمكن للأرض تكون سرعة القمر أقصاها بالنسبة للأرض وتقل أزاحة المسار الأرضي تجاه الغرب أقل ومساره طويل الشكل (4-4-ج). المسار الأرضي تجاه الغرب أقل ومساره طويل الشكل (4-4-ج).

تقل سرعة دوران الأماكن المختلفة على سطح الأرض كلما زاد خط عرض المكان حتى تصل السرعة عند القطب صفرا. الشكل (4-5) يوضح أن القمر الذي يدور في مدار قطبي دائري بسرعة زاوية $13^{o}\ 20'$ في 40 دقيقة زمنية. وحيث ان الأرض تدور حول محورها 10^{o} كل 40 دقيقة لذلك يتم إزاحة المسار الأرضي بمقدار 10^{o} غربا أي بمقدار 1111 كم عند دائرة الاستواء ، و 555 كم عند خط عرض 60^{o}

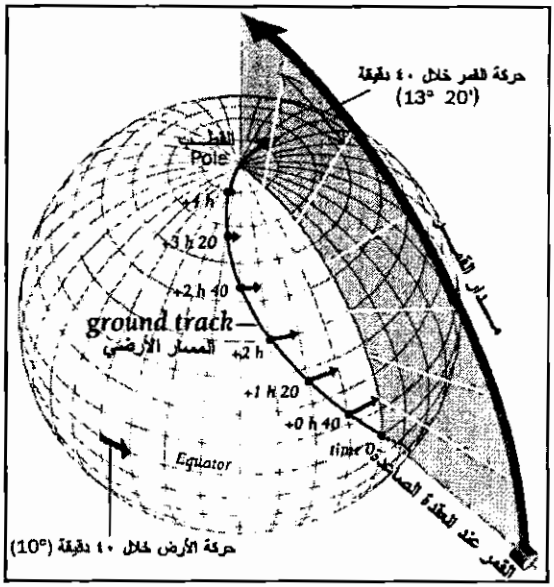
(إزاحة المسار عند خط عرض = الإزاحة عند خط الاستواء x جيب تمام خط العرض). ومقدار الإزاحة عند خطوط العرض المختلفة يمثلها طول الأسهم السوداء تجاه الشرق ونجد أن السهم يتلاشى عند القطب أي أن الإزاحة صفرا.

3-4 : الخواص الأساسية للمسار الأرضي:

ميل مدار القمر الصناعي الدائرى يحدد أقصى خط عرض شمالي وجنوبي يصل إليه المسار الأرضي حيث يكون المسار الأرضي متماثلا بالنسبة لدائرة الاستواء. وتسمى المنطقة التي يغطيها المسار الأرضي بمنطقة التغطية Latitude Coverage الشكل (4-6).

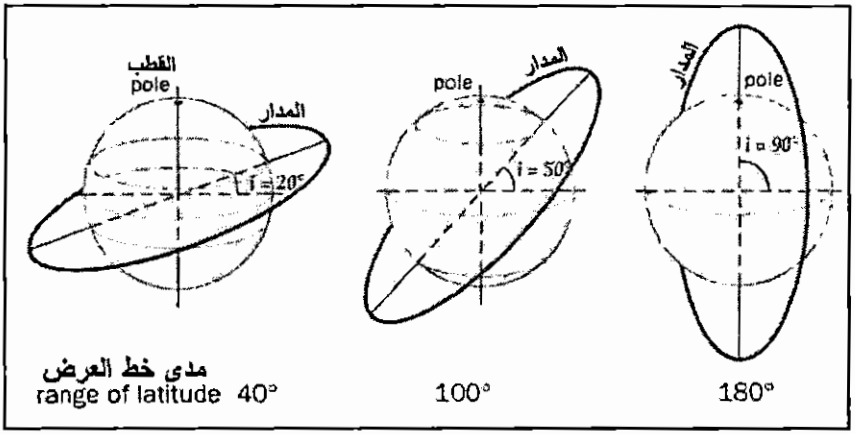


الشكل (4-4). تأثير الارتفاع على المسار الأرضي لقمر مداره بيضاوي.



الشكل (4-5).
تأثير خط العرض على المسار الأرضي.

فنجد أن المدار الذي ميله 20° مساره الأرضي لا يتعدى خط عرض 20° والمدار الذي ميله 50° مساره الأرضي لا يتعدى خط عرض 50° . أما المدار القطبي الذى ميله 90° فإنه يمر على خطوط العرض كلها. وحركة القمر في مدار تقهقري (ميله أكبر من 90°) فإن مساره الأرضي يتقاطع مع دوائر الطول الغربية المتزايدة القيمة. يظل عند نفس دائرة الطول اذا كانت مركبات السرعة الاتجاهية للقمر فى اتجاه الشرق-غرب ومساوية لمعدل دوران الإرض حول محورها.

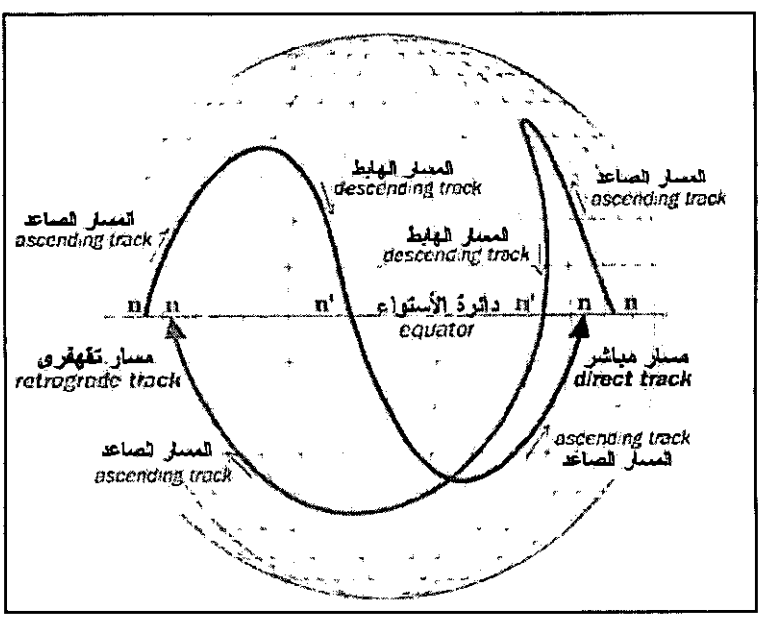


الشكل (4-6). خط عرض منطقة التغطية وميل المدار.

- يتقاطع المسار الأرضي مع دوائر الطول الشرقية إذا زاد معدل السرعة الزاوية عن السرعة الزاوية للأرض.
- يتقاطع المسار الأرضي مع دوائر الطول الغربية إذا قل معدل السرعة الزاوية عن السرعة الزاوية للأرض.

ويمثل النوعين الآخيرين مسارات يطلق عليها بالمدارات المباشرة والتقهقرية. ويقال أن المسار صاعد عندما يعبر دائرة الاستواء من الجنوب إلى الشمال.

ويقال أن المسار هابط عندما يعبر القمر دائرة الاستواء من الشمال إلى الجنوب. والمسار الأرضي يكون له نفس الشكل في كل من خطوط العرض شمال وجنوب الاستواء عندما يكون المدار دائريا، ويختلف شكل المسار بالنسبة لدائرة الاستواء في المدارات البيضاوية. في الشكل (4-7) نجد أن المسار الأرضي متماثل مع دائرة الاستواء جنوبا وشمالا في المدار الدائري. أما المدار البيضاوي فيكون مساره الأرضي غير متماثل مع الاستواء. قارن النقاط **n , n'** بالنسبة للمدار الدائري والبيضاوي، وهي مقدار الإزاحة بين العقدة الصاعدة والعقدة الهابطة. فمقدار الإزاحة بين العقدتين في المدار الدائري متساو بالنسبة لنصفي المسار بالنسبة لدائرة الاستواء. أما في المدار البيضاوي فإن الإزاحة بين العقدتين بالنسبة لنصف المدار في النصف الشمالي (تجاه نقطة الأوج) أقل بكثير من مقدار الإزاحة بالنسبة لنصف المدار في النصف الجنوبي (تجاه الحضيض).



الشكل (4-7). مقارنة المسار الأرضي لمدار دائري ومدار بيضاوي

4-4 : أنواع المسارات الأرضية للقمر الصناعي :

4-4-1 : المدارات الدائرية:

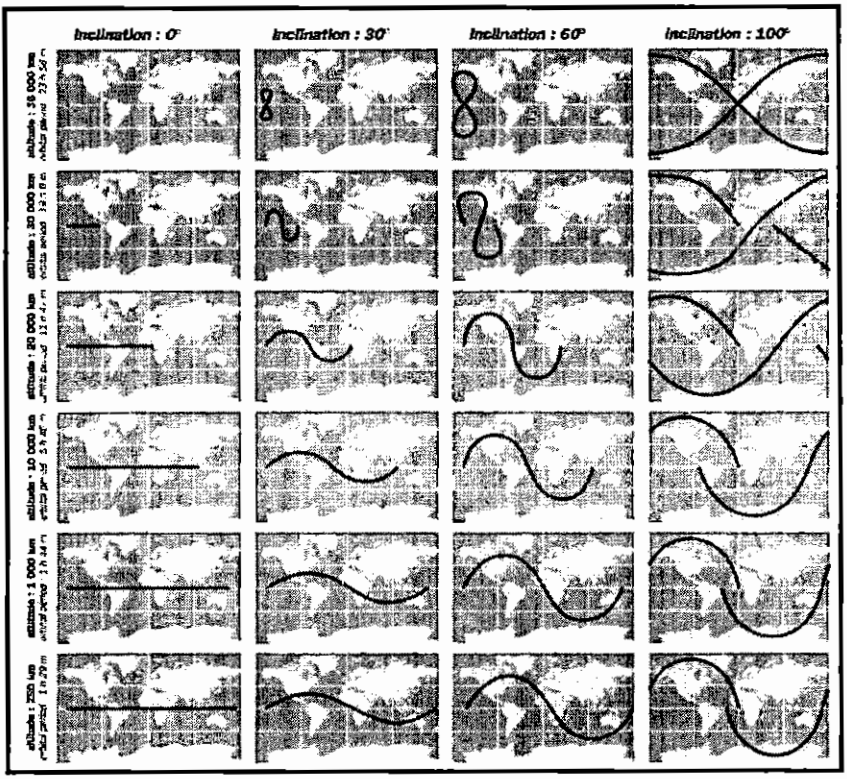
يوضح الشكل (4-8) الأشكال المختلفة التي تصف المسار الأرضي لقمر صناعي مداره دائري عند زوايا ميل وارتفاعات مختلفة وبالتالى زمن دورته مختلفة. وبعض المدارات الموضحة في الرسم لا تستخدم عمليا ولكن وضعت هنا لتوضيح التغير في شكل المسار الأرضي كلما تغير ميل المدار أو ارتفاع القمر. فإذا أنطبق مستوى المدار على دائرة الاستواء وكان ارتفاع القمر 36000 كم يكون القمر ثابت Geostationary Satellite بالنسبة لنقطة معينة على سطح الأرض. وفي هذه الحالة يكون المسار الأرضي للقمر نقطة ثابتة على سطح الأرض طوال دورة القمر في مداره. ويتيح ارتفاع القمر 36000 كم سرعة زاوية للقمر حول الأرض مساوية لسرعة دوران الأرض حول محورها، لذلك سميت الأقمار التي تحلق على هذا الارتفاع بالأقمار الثابتة. وعند تغيير ارتفاع القمر نجد حدوث إزاحة لهذه النقطة أثناء دورة واحدة للقمر حول الأرض. وتتجه هذه الإزاحة ناحية الشرق إذا قل الارتفاع (لأن سرعة القمر أعلى من سرعة الأرض حول محورها)، كما يتناسب مقدار هذه الإزاحة عكسيا مع الارتفاع. ونجد أن الإزاحة تكون على دائرة الاستواء إذا كان ميل المدار صفرا أي منطبق على دائرة الاستواء.

وعند زيادة ميل المدار من صفر إلى 30 درجة أو 60 درجة نجد انه على ارتفاع 36000 كم يكون المسار الأرضي على شكل حرف 8 باللغة الأنجليزية وتقع نقطة التماثل للحرف على دائرة الاستواء (لأن سرعة القمر مساوية لسرعة الأرض ولكن الميل أكبر من الصفر). ويعتمد ارتفاع الحرف على درجة ميل المدار، فإذا كان الميل صغيرا يصل الحرف إلى خطوط عرض صغيرة شمال وجنوب دائرة الاستواء. ويكون اقصى خط عرض يصل إليه المسار الأرضي مساويا لميل المدار.

عند تثبيت الميل وتقليل الارتفاع نجد أن حرف 8 يتفكك ليصبح منحنى له بداية ونهاية ممتد شرقا ويتماثل نصفه شمال الاستواء مع نصفه جنوب الاستواء. ونجد هنا أن تغيير الميل جعل المسار الأرضي تحدث له إزاحة شمال وجنوب الاستواء وعند تقليل الارتفاع نجد حدوث إزاحة أفقية ناحية الشرق ايضا بحيث

تكون بدايتها ونهايتها على دائرة الاستواء. ويتناسب مقدار هذه الإزاحة مع ارتفاع القمر عن سطح الأرض.

أما إذا زاد ميل المدار عن 90 درجة فيكون المدار تقهقري Retrograde Orbit وعلى ارتفاع 36000 كم يكون شكل المسار الأرضي على شكل علامة مالا نهاية ∞ وكلما قل ارتفاع القمر حدث إزاحة بين بداية الدورة للقمر ونهايتها وتتناسب الإزاحة مع ارتفاع القمر عن سطح الأرض.

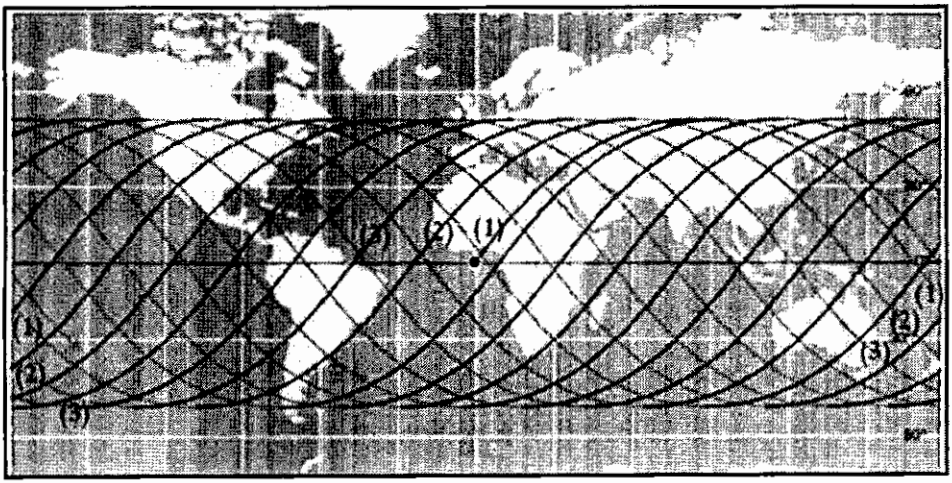


الشكل (4-8). تغير أنواع المسارات الأرضية الدائرية بتغير الارتفاع والميل.

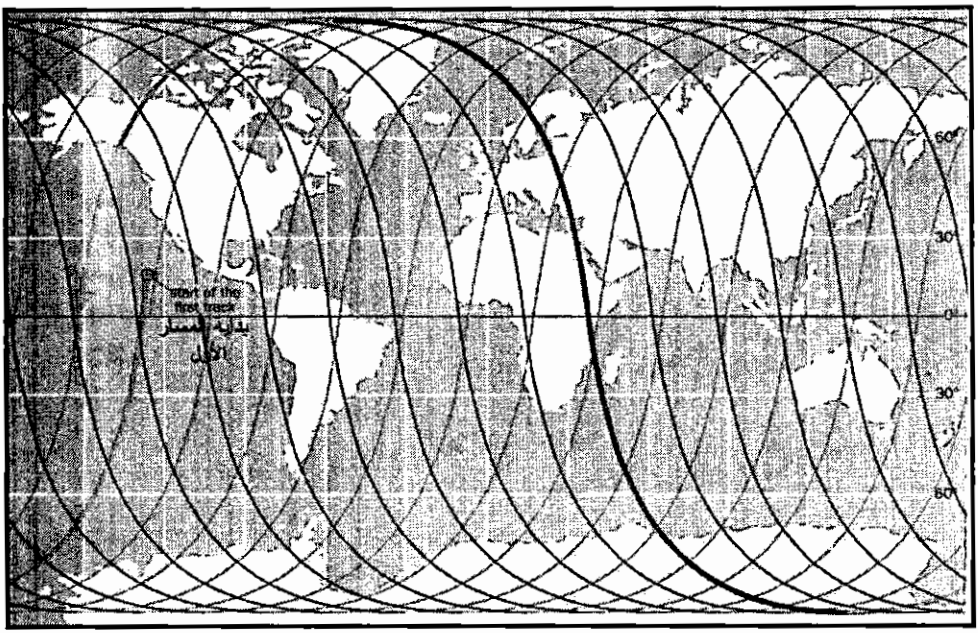
وهناك نوعان من المسارات تصاحب المدارات شائعة الاستخدام وهما موضحان في الشكل (4-9) و الشكل (4-10) حيث الأول يظهر المسار الأرضي لقمر ميل مداره متوسط وارتفاعه منخفض. وهذا النوع من المدارات يشغله أغلب المركبات الفضائية المأهولة برواد الفضاء والمحطات الفضائية. والمثال الموضح لمحطة الفضاء (المعمل الفضائي) SkyLab على مدار 24 ساعة، على ارتفاع 385 كم عن سطح الأرض وميل مداره ° 51.6 وزمن دورة مداره 92.18 دقيقة والإزاحة عند الاستواء بين بداية دورتين متتاليتين (الإزاحة) 2608.4 كم.

ولو تتبعنا مسار المحطة من نقطة البداية العقدة الصاعدة (1) وسط الخريطة عند النقطة السوداء على دائرة الاستواء نجد أن المسار يتجه إلى الشمال الشرقي إلى أن يصل إلى خط عرض ° 51.6 ثم يهبط عند الحافة اليمنى للخريطة (المنحنى الأول (1) الهابط تحت دائرة الاستواء مباشرة) ولو تتبعناه من الناحية اليسرى للخريطة نجده أيضا يمثل بالمنحنى الثاني الهابط تحت دائرة الاستواء حتى يصل جنوبا لخط عرض ° 51.6 ثم يرتفع ليقطع دائرة الاستواء عند العقدة الصاعدة (2) في منحنى صاعد يلي منحنى بداية الدورة الأولى مباشرة من الناحية الغربية. وهكذا نجد ان المحطة أثناء دورانها في مدارها تزاح كل 92.18 دقيقة
ناحية الغرب بمقدار °23 تقريبا في المسار الثاني والثالث ...إلخ. وبذلك تتم المحطة 15.62 دورة كل 24 ساعة.

يمثل الشكل (4-10) المسار الأرضي للقمر HCMM في مدار تقهقري ارتفاعه بين 600 كم إلى 900 كم. وهذا النوع من المدارات هو الذي يستخدم في أقمار الاستشعار عن بعد المتزامنة مع الشمس(مستوى مداره مواجه للشمس طوال العام). ويمثل الخط الهابط قرب خط الاستواء يسار الشكل بداية المسار والمنحنى الأسود القاتم وسط الشكل يمثل النصف الصاعد من المسار الأرضي والمنحنى الهابط والسهم عند دائرة الاستواء يسار الشكل يمثل جزء من المسار المار بالعقدة الهابطة وهكذا. ميل هذا المدار °97.5 ودورة المدار 97.2 دقيقة والإزاحة عند الاستواء بين كل مسارين متتالين 2712 كم



الشكل (4-9). المسار الأرضي للمحطة الفضائية الدولية خلال 24 ساعة.



الشكل (4-10). المسار الأرضي للمركبة الفضائية HCMM خلال 24 ساعة.

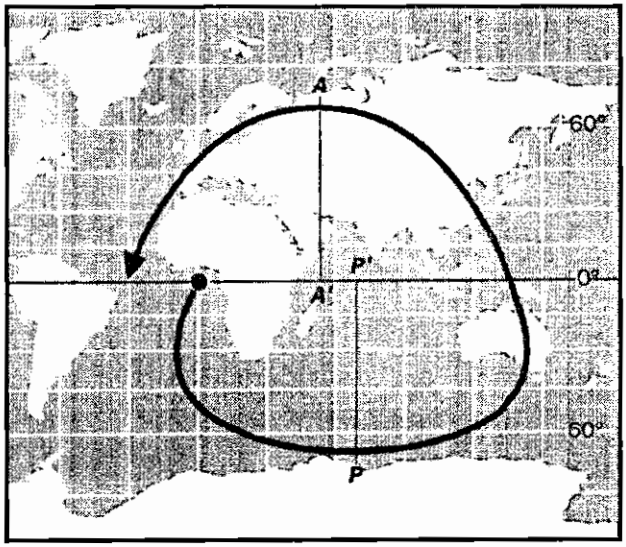
4-4-2 : المدارات الإهليجية :

تصاحب المدارات الإهليجية مجموعة واسعة التغير من المسارات الأرضية. ونقدم هنا أربعة أمثله لأقمار روسية. المثال الأول الشكل (4-11) لمسار قمر ارتفاع نقطة أوج مداره متوسط. حيث ارتفاع الأوج 66300 كم والحضيض 447 كم وميل المدار 61°. ومدة دورة القمر 21 ساعة 54 دقيقة. فنجد أن المدار يقع جزء منه في نصف الكرة الأرضية الشمالية ويكون شكله مختلفا عن نصف المدار الذى يقع فى النصف الجنوبى من الكرة الأرضية. ويكون نصف المسار الشمالي والنصف الجنوبي متماثلين بالنسبة لخط الطول (**AA'** شمالا و **PP'** جنوبا). وهذا الحال عندما يكون المحور الأعظم للمدار متعامدا على الخط العقدي (ω = 90° أو 270 °) أي عندما تكون نقطة الحضيض والأوج عند أعلى قيم خط عرض يصل إليه مدار القمر.

يمثل الشكل (4-12) قمر اتصالات مولنيا Molniya لدورة 24 ساعة. ارتفاع الأوج والحضيض 40000 كم و 400 كم على التوالي وميل المدار ° 65 وبعد نقطة الحضيض عن العقدة 270°. ومدة دورة القمر 12 ساعة. عند خط عرض ° 50 نجد

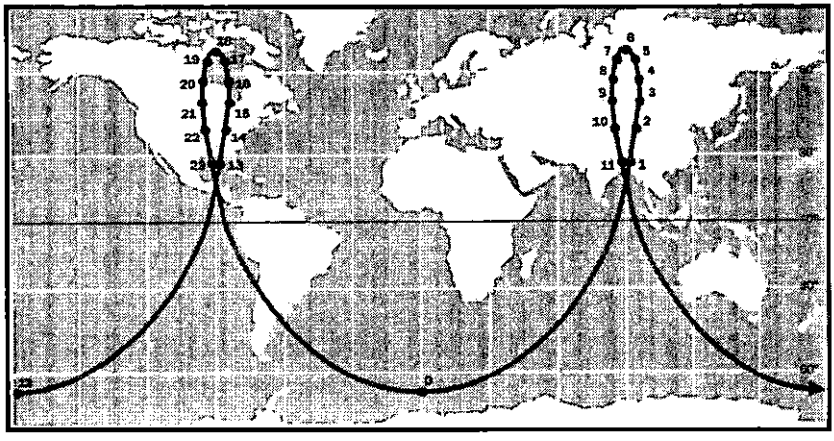
أن مسار القمر المتقدم في اتجاه الشرق يصبح أبطء من سرعة دوران الأرض ، ثم يتقهقر المسار في اتجاه الغرب ليكون على شكل حلقة. وتمثل الأرقام ساعات اليوم واتجاه حركة القمر من صعود وتقهقر وهبوط ، وتتكون هذه الحلقة عندما يكون القمر في المدار قرب الأوج. وهذا النوع من الأقمار يسمح بالبقاء فوق روسيا لأكثر من 8 ساعات. وبذلك يمكن استخدام ثلاثة أقمار على نفس المدار لمراقبة تلك الرقعة من الأرض خلال 24 ساعة. وتتكرر نفس الحلقة على أمريكا الشمالية لأكثر من 8 ساعات أيضا في الدورة التالية للقمر.

مثال آخر لمسار قمر الاتصالات مولينا الشكل (4-13) والفرق بين هذا المثال والمثال السابق أن بعد نقطة الحضيض عن العقدة هنا 280° بدلا من 270°.

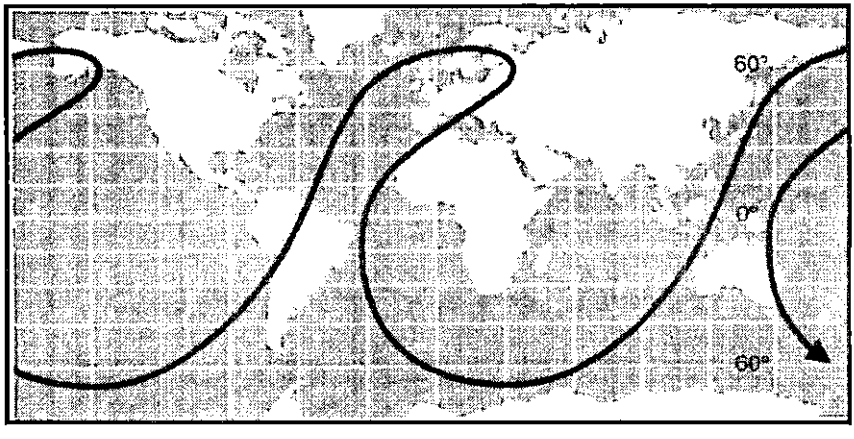


الشكل (4-11).
مسار أرضي للقمر Elektron 4 في دورة كاملة.

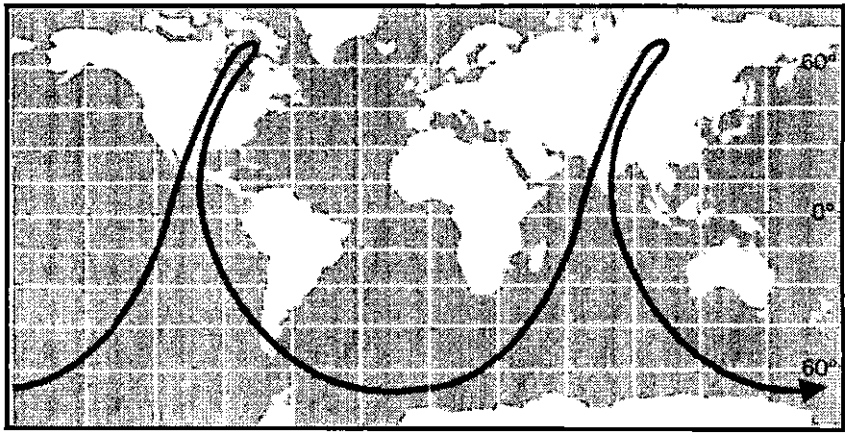
ويمثل الشكل (4-14) مدار هذا القمر من نوع مدار القمر مولينا ولكن بعد الحضيض عن العقدة 316 درجة. ويكون المسار الهابط تقهقري بين خط العرض 60 شمالا و 20 جنوبا. وتم حساب موقع القمر فى المدار بحيث يمر الأوج فوق مساحة ذات إستراتيجية عسكرية في الأطلنطي (جرينلاند) والباسفيكي (الاسكا).



الشكل (4-12). مسار قمر الاتصالات Molniya.



الشكل (4-13). مثال آخر لمسار قمر الاتصالات Molniya.



الشكل (4 -14). يمثل مسار قمر عسكري للتحذير المبكر.

الفصل الخامس

مـدارات الأقمار الصناعية

5-1 : تصنيف المدارات

5-1-1 : التصنيف المركزي

5-1-2 : تصنيف تبعا للارتفاع

5-1-3 : تصنيف تبعا للميل الشمس

5-1-4 : تصنيف تبعا للاستطالة

5-1-5 : تصنيف تبعا للتزامن

5-1-6 : تصنيفات خاصة

5-2 : نقاط لاجرانج

5-3 : المدار الأرضي المنخفض

5-3-1 : خواص المدارات المنخفضة

5-4 : المدار الأرضي المتوسط

5-5 : المدارات الأهليجية عالية الاستطالة

5-6 : مـــدارِ الانتظار

5-6-1 : أسباب استخدام مدارَ الانتظار

5-6-2 : عيوب مداراتِ الانتظار

5-6-2 : عيوب مداراتِ الانتظار

5-7 : مدارات الأقمار المتزامنة مع

5-7-1 : حالات المدار المتزامن

5-8 : المدارات الثابتة

5-8-1 : حساب موقع المدار الثابت

5-8-2 : إطلاق القمر الصناعي الثابت

5-8-2-1 : الإطلاق من قاعدة جوانا

5-8-2-2 : الإطلاق من كاب كانفرا

5-8-2-3 : الإطلاق من قاعدة بيكنور

5-9 : خسوف

5-10 : تتبع القمر

مـدارات الأقمار الصناعية

1-5 : تصنيف المدارات[9] :

1-1-5 : التصنيف المركزي Centric :

أي جسم يدور في مدار يجب أن يكون تحت سيطرة جسم أكبر منه يقع في بؤرة المدار. وتتعدد الأجسام التي تسيطر علي العديد من المدارات وهي كالتالي:

- **مدار مجري Galactocentric orbit** : وهو مدار لجسم يدور حول مركز المجرة. وتتخذ الشمس هذا النوع من المدارات حول مركز مجرة درب التبانة أو الطريق اللبني Milky Way.
- **مدار شمسي Heliocentric orbit** : هو مدار حول الشمس. جميع الكواكب والمذنبات والكويكبات في المجموعة الشمسية تتخذ هذا النوع من المدارات حول الشمس، وكذلك العديد من الأقمار الصناعية وأجزاء من الحطام الفضائي. وعلي العكس فإن الأقمار الطبيعية لا تتخذ مدارات شمسية ولكنها تتخذ مدارات كوكبية حول الكواكب التابعة لها.
- **مدار أرضي Geocentric orbit** : هو مدار حول كوكب الأرض ، يتخذها القمر الطبيعي أو الأقمار الصناعية. ويوجد حاليا أكثر من 2465 قمر صناعي يدور حول الأرض.
- **مدار مريخي Areocentric orbit** : هو مدار حول كوكب المريخ، تتخذها أقماره فيبوس وديموس أو أقمار صناعية.
- **مدار قمري Lunar orbit** أو **Selenocentric orbit** (ويعنيان أي شيء منسوب لقمرنا الطبيعي): وهي مدارات حول قمر الأرض الطبيعي.
-

2-1-5 : تصنيف المدارات الأرضية تبعا للارتفاع :

يوضح الشكل (5-1) المدارات الأرضية تبعا لارتفاعها وسنوضح ذلك فيما يأتي بالتفصيل:

---

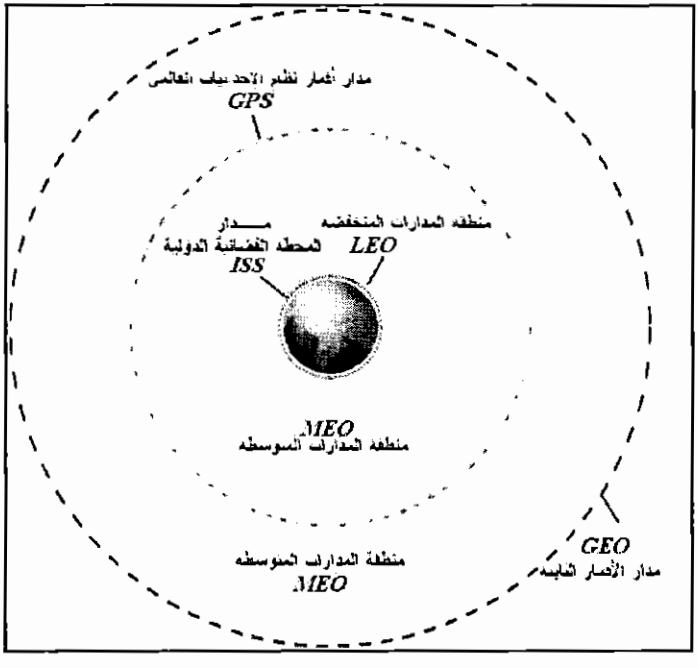
[9] الفقرات من (5-1) حتى (5-1-7) من موقع http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_orbits

- مدار منخفض **Low Earth Orbit (LEO)**: هو مدار يتراوح ارتفاعه عن سطح الأرض بين صفر إلى 2000 كم. ويرمز له بالرمز **(LEO)**.

- مدار متوسط **Medium Earth Orbit (MEO)**: هو مدار أرضي يتراوح ارتفاعه بين 2000 كم إلى ما قبل المدارات المتزامنة التي تقع علي ارتفاع 35786 كم.

- مدار متزامن **Geosynchronous orbit (GEO)** : هو مدار حول الأرض تكون دورة القمر الصناعي فيه مساوية لدورة الأرض حول محورها دورة كاملة. جميع الأقمار المتزامنة أقصي ارتفاع لها حوالي 42164 كم.

- مدار أرضي عالي الارتفاع **High Earth orbit(HEO)** : هو مدار أرضي ارتفاعه فوق ارتفاع المدار المتزامن 35786 كم.



الشكل (5-1). ارتفاعات المدارات المختلفة للمركبات والمحطات الفضائية[10].

[10] "http://en.wikipedia.org/wiki /List_of_orbits"

3-1-5 : تصنيف تبعا للميل Inclination :

- مدار مائل **Inclined orbit** : هو أي مدار يميل على دائرة الاستواء السماوي بزاوية أكبر من الصفر.

** مدار قطبي **Polar orbit** : هو المدار الذي يمر أثناء دورته فوق القطبين أو تقريبا بالقرب من القطبين الشمالي والجنوبي للكوكب. ولهذا يكون ميل هذا المدار 90° (أو قريبا جدا منها).

** مدار أرضي قطبي متزامن مع الشمس **Polar sun synchronous orbit (SSO)** : هو مدار شبه قطبي يعبر القمر الصناعي فيه دائرة الاستواء كل مرة عند موقع معين في نفس الزمن الشمسي المحلي. وذلك لتكون أطوال ظلال الأشياء هى نفسها عند كل عبور للقمر.

- مدار غير مائل **Non-inclined orbit** : مدار ينطبق على الدوائر المنسوبة إليها أي ميلها صفرا.

** مدار بروجي **Ecliptical orbit** : مدار ينطبق مستواه علي دائرة البروج.

** مدار استوائي **Equatorial orbit** : مدارات ينطبق مستواه علي دائرة الاستواء.

** مدار شبه استوائي **Near equatorial orbit** : مدار ميله صغير جدا بالنسبة لمستوى دائرة الاستواء.

4-1-5 : تصنيف تبعا لاستطالة المدار Eccentricity :

استطالة المدار e هى النسبة بين بعد بؤرة المدار عن المركز إلى نصف القطر الأعظم للمدار.

- مدار دائري Circular orbit : هو مدار استطالته صفر ويكون مساره دائرة.
- مدار اهليجي أو بيضاوي Elliptic orbit : مدار استطالته أكبر من الصفر وأقل من الواحد الصحيح ومساره يكون اهليجي (بيضاوية) ellipse .

** مدار قمر ثابت أو مدار انتقالي متزامن Geostationary or Geosynchronous transfer orbit(GTO) : هو مدار بيضاوي تكون نقطة حضيضه perigee علي ارتفاع مساو للمدار المنخفض، ونقطة أوجه apogee علي ارتفاع مساو لمدار القمر الثابت.

** مدار هومان الانتقالي **Hohmann transfer orbit** : هو مناورة مدارية فضائية فى مدار انتقالى تتم لنقل المركبة الفضائية من مدار دائري صغير إلى مدار دائري آخر أكبر منه وذلك بإشعال محرك المركبة مرة عند نقطة حضيض المدار الانتقالي (نقطة تلامسه مع المدار الصغير) والأخرى عند نقطة أوج المدار

الانتقالي (نقطة تلامسه مع المدار الأكبر). وأطلق علي هذه الطريقة اسم العالم والتر هومان Walter Hohmann..

- مسارات زائدية **Hyperbolic trajectory** : هي مدارات تزيد استطالتها عن الواحد الصحيح. سرعة الجسم في هذا المدار تزيد عن سرعة الهروب escape velocity، وعندئذ يستطيع الجسم التخلص من الجاذبية (الأرضية أو الكوكب الذي يتحرك حوله) ويستمر في الحركة إلى مالا نهاية.
- مسارات مكافئة **Parabolic orbit** : هي مدارات استطالتها مساوية للواحد الصحيح. والأجسام التي تتحرك في هذه المدارات تكون سرعتها مساوية لسرعة الهروب وتهرب من جاذبية الكوكب وتستمر في الحركة حتى تصبح سرعته بالنسبة للكوكب صفرا. وإذا زادت السرعة عن هذا الحد يصبح المدار زائدي.

** مدار الهروب **Escape orbit(EO)** : هو مدار مكافئ ذو سرعة عالية يكتسب الجسم فيه سرعة للهروب من الكوكب ويتحرك مبتعدا عنه.

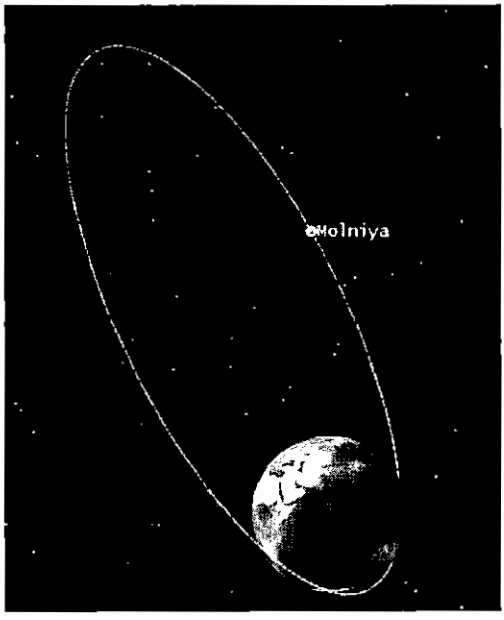
** مدار القنص **Capture orbit** : هو مدار مكافئ ذو سرعة عالية يكتسب الجسم فيه سرعة الهروب ويتحرك الجسم تجاه كوكب آخر ليدور حوله.

5-1-5 : تصنيف تبعا للتزامن Synchronous:

- **المدار المتزامن Synchronous orbit** : هو مدار تكون فيه دورة القمر الصناعي متزامنة أي مساوية لمتوسط دورة الكوكب 1:1 أو مضاعفاتها ويتحرك في نفس اتجاه حركة الكوكب. وهذا يعني أن المسار الأرضي **track** للقمر الصناعي علي الأرض كما يشاهد من مركز الكوكب، سوف يتكرر بعد عدد ثابت من الدورات. في الواقع نجد ان نسبة 1:1 تحقق المدار المتزامن ونسبة 2:1 تحقق مدار نصف متزامن **semi-synchronous**

- **المدار المتزامن مع الأرض Geosynchronous orbit (GEO)** : هو مدار حول الأرض دورته تساوي يوم نجمي **sidereal day**، وهو متوسط دورة واحدة للأرض حول محورها ويساوى 23 ساعة 56 دقيقة و 4.091 ثانية. والمدارات شبه الدائرية، تتطلب ارتفاع عن سطح الأرض مقداره 35786 كم تقريبا للوصول لهذه الدورة. وإذا كان كلا من ميل المدار واستطالته صفرا، فسيبدو القمر الصناعي للراصد (الذي تحت منطقة تغطية القمر) أنه ثابت stationary. أما إذا لم يتحقق شرطا الميل والاستطالة فإن القمر الصناعي يتحرك كل يوم في السماء علي هيئة حرف (8) باللغة الانجليزية (ويسمي هذا الشكل انااليما analemma) بالنسبة للراصد علي سطح الأرض.

- **مدار القمر الثابت Geostationary orbit(GSO)** : هو مدار دائري متزامن ميله صفر. ويبدو قمر هذا المدار لراصد علي سطح الأرض كنقطة ثابتة في السماء طول فترة دورته.
- ويطلق أيضا علي هذا المدار اسم مدار كلارك **Clarke orbit** .
- **مدار تندرا Tundra orbit** : هو مدار متزامن ولكنه مدار عالي الاستطالة وميله 63.4° ودورته يوم نجمي واحد. وهذا القمر يمضي أغلب وقت دورته فوق منطقة محددة من الكوكب الذي يدور حوله. وميزة هذا الميل للمدار أنه يحافظ علي أقل إزاحة لنقطة حضيضه.
- **المدار نصف المتزامن Semi-synchronous orbit** : هو مدار دورته تساوي نصف متوسط دورة الأرض حول محورها وفي نفس اتجاه دوران الأرض. وهذا يعني أن الدورة 12 ساعة علي ارتفاع 20 ألف كم تقريبا إذا كان المدار دائري.
- **مدار مولنيا Molniya orbit** : هو مدار تندرا نصف متزامن. أي دورة المدار 12 ساعة. وهذا القمر يقضي أغلب وقت دورته فوق منطقتين محددتين من الأرض. ويكون ميل هذا المدار في العادة 63.4° للحفاظ علي أقل ازاحة لنقطة حضيضه الشكل (2-5).
- **مدار فوق المتزامن Supersynchronous orbit** : هو مدار يقع فوق مدارات الأقمار المتزامنة/الثابتة وتستخدم لنقل الأقمار إليها المراد تكهينها. وفي هذا المدار تكون حركة الأقمار بالنسبة للأرض ناحية الغرب حيث إنها لم تصبح متزامنة أو ثابتة.
- **مدار تحت المتزامن Subsynchronous orbit** : هو مدار قريب من ولكن تحت مدار القمر المتزامن/الثابت. تكون حركة الأقمار فيه بالنسبة للأرض ناحية الشرق.
- **مدار المقبرة Graveyard orbit** : مدار يبعد عدة مئات من الكيلومترات فوق المدار المتزامن تنقل إليه الأقمار عند نهاية مهمتها.
- **المدار المريخي المتزامن Areosynchronous orbit** : مدار متزامن حول كوكب المريخ دورته تساوي طول اليوم النجمي لكوكب المريخ 24.6229 ساعة.
- **مدار قمر المريخ الثابت Areostationary orbit** : مدار مريخي متزامن دائري منطبق علي دائرة استواء المريخ وعلي ارتفاع 17 ألف كم عن سطح المريخ. ولراصد علي سطح المريخ فان هذا القمر سيرى كنقطة ثابتة في السماء.



الشكل (5-2)[11].
المدار الاهليجي عالي الاستطالة.

- **المدار الشمسي المتزامن Heliosynchronous orbit** : هو مدار حول الشمس دورة القمر الصناعي فيه تساوي دورة الشمس حول محورها. هذه المدارات نصف قطرها حول الشمس 0.1628 وحدة فلكية، أي أقل قليلا من ربع قطر مدار كوكب عطارد.

6-1-5 : تصنيفات خاصة :

- **مدار متزامن مع الشمس Sun-synchronous orbit** : مدار أرضى ميله وارتفاعه يسمح للقمر بالمرور في كل مرة فوق نقطة علي سطح الكوكب في نفس الزمن الشمسي المحلي لها. وهذا المدار يمكن القمر الصناعي من التصوير عند شروق او غروب الشمس للاماكن التى يمر فوقها وهذا مفيد للتصوير، والتجسس وأقمار الأرصاد الجوية. وهذا المدار يكمل دورة كامله لمستوى مداره حول الشمس (أثناء دورانه حول الأرض) فى 365.25 يوم.
- **مدار القمر الطبيعي Moon Orbit** : إن خواص مدار القمر الطبيعي للأرض هي : متوسط ارتفاعه 38440 كم ، مدار مائل علي دائرة البروج بزاوية **5° 9′**. متزامن مع الأرض أى دورته حول نفسه مساوية لدورته حول الأرض لذلك لانرى منه سوف نصف سطحه فقط.

---

[11] http://en.wikipedia.org/ wiki/Molniya_orbit

5-1-7: تصنيفات آخرى للمدارات:

- **مدار حدوه الحصان Horseshoe orbit** : مدار يَظْهرُ للراصد علي الأرض كأنه يَدُورُ حول كوكب ما لكنه في الحقيقة يدور مثلِ الأرض في مدار حول الشمس. مثل الكويكباتَ **Cruithne 3753** و **AA 2002**.

- **مدار خارجي Exo-orbit** : مناورة تتم من خلاله لوضع المركبة الفضائية في مدار غير مستقرُ بسبب مقاومة الغلافِ الجوّي.

- **مدار قمري انتقالي Lunar Transfer orbit (LTO)** : مدار يستخدم لعمل مناورة لنقل مركبةَ الفضاء من مدار انتظار حول الأرض إلى مدار القمر الطبيعي.

- **مدار مباشر Prograde orbit**: مدار ميلِه أقل مِن °90. أو هو مدار يتحرك فيه القمر في نفس اتجاه دوران الكوكب.

- **مدار تقهقري Retrograde orbit**: مدار ميلِه أكثر مِن °90. أو هو مدارِ يتحرك فيه الجسم عكس اتجاه دورانِ الكوكبِ. مثل الأقمار التي في مدارِ متزامن مع الشمسِ، وهي تطلق في مدارَ تقهقري وتتطلب كميةَ وقودِ أكبر مِنْ تلك التي تطلق في مدار مباشر. هذا لأن عند انطلاق الصاروخَ من الأرضِ في مدار مباشر، تكون له مركبة سرعة في اتجاه الشرق مساوية لسرعة دوران الكوكب عند خطِّ عرض انطلاقها.

- مداراتُ الهالة **Halo orbits** ومدارات ليساجوس **Lissajous orbits** : هذه مدارات تَدُورُ حول نقاط لاجرانج الشكلين (5-3) و (5-4). والمدارات قُرْب هذه النقاطِ تَسْمحُ للمركبة الفضائية بالبَقاء في موقع ثابت نسبي باستخدام كمية صغيرة جدا مِنْ الوقودِ. والمدار حول النقطة L_1 تستخدمها المركبات الفضائيةِ التي تحتاجِ رؤية منظر ثابت للشمسِ، مثل المرصد الشمسي والهليوسفيرك **Solar and Heliospheric Observatory**. المدارُ حول النقطة L_2 يستعمل من قبل المركباتِ التي تحتاج لأن تكون كلا من الأرض والشمس خلفها. وهذا يُتيحُ درع لمَنْع الإشعاعِ مِنْ كلا من الأرض والشمس، مما يَسْمحُ بالتَبريد للأجهزة الحسّاسةِ. والأمثلةُ لذلكَ مسبار **Wilkinson Microwave Anisotropy Probe** ومنظار جيمس وَب الفضائي **James Webb Space Telescope**.

وسوف نشرح فيما يلي بالتفصيل خواص بعض هذه المدارات الهامة :

2-5: نقاط لاجرانج[12] Lagrange points :

أي نظـام مكـون مـن جسـمين سـماويين (مثـل الأرض والقمـر أو الشـمس وأحـد الكواكب) ينشأ فيـه مجـال جـذبي يمكـن تمثيلـه بمقطـع يتكـون مـن منحنيـات تمـر بـنقط تتساوى فيها الجاذبية. ويمكن تمثيل ذلك بالشكل (5-3) حيث أن تلك المنحنيات تتقاطع، وتمثل نقاط التقاطع نقاط الصفر بالنسبة للتسارع، وتسمى هذه النقاط بنقاط لاجرانج Lagrange Points التى تم أكتشافها نظريا في نهاية القرن الثامن عشر. حيث أنه إذا وضع جسم في أحد هذه النقاط فأنه سيبقى ثابتا بالنسبة للجسمين المكونين للنظام. بالنسـبة لنظـام الأرض والقمـر الشـكل (5-4) (إذا وضـعنا الأرض بـدلا مـن الشـمس ووضعنا القمر الطبيعى بدلا من الأرض) فإن القمر الصناعي إذا وضع عند النقطة L_4 أو L_5 فإنـه سـوف يدور حول الأرض بنفس السرعة الزاويـة التـي يتحرك بهـا القمر الطبيعي حول الأرض. ويبقى بعد القمر الصناعي عن كل من الأرض والقمر الطبيعي ثابت دائما، حيث يكون القمر الطبيعي والقمر الصناعي والأرض رؤوس مثل متساوي الأضلاع.

أما النقاط L_1 , L_2 , L_3 فهي نقاط عدم استقرار حيث أقل حركة بسيطة للجسم عند تلك النقاط تجعله يهرب خارج النظام الذي يحتوى تلك النقاط.

ونقـاط لاجـرانج تعتبـر النقـاط المسـتقرة عمليـا بالنسـبة لأي نظـام حيـث أن جميـع الأجسام المحيطة تعمل على أحداث إقلاق في النظام. فعلى سبيل المثال الشمس تعمـل علـى إقلاق نظـام الأرض والقمر وكذلك الكواكب. ويميل القمـر الصـناعي إلـى التذبذب حول نقاط الاتزان متخذا مدارا منتظما يسمى بالهالـة Halo orbit الشكل (5-5). ويستفاد من اتخاذ مدارات حول نقط لاجرانج لعدة أسباب.

ففي نظام الشمس والأرض استخدمت النقطة L_1 ليحتفظ القمر الصناعي **ISEE-3** باستقرار نسبى لمداره بين الأرض والشمس بين عام 1978 حتى 1982م. حيث أنه كان خارج طبقة المجنيتوسفير وكان هذا الموقع مناسبا لرصد الرياح الشمسية قبل عبورها إلى طبقة المجنيتوسفير
فى الغلاف الجوى. وذلك لنتمكن من التمييز بين الظاهرة الشمسية قبل تأثرها بطبقة المجنيتوسفير. ويمتاز موقع القمر أيضا بأنه في هذا المكان لا يتأثر عند حدوث ظاهرة

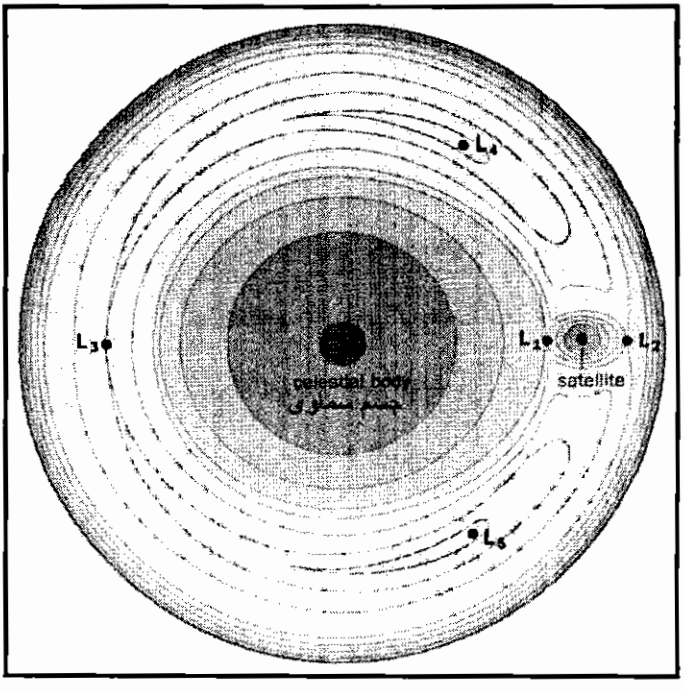
---

[12] الفقرة (2-5) من "Fernand Verger, et al; The Cambridge Encyclopedia of space of Space;2003"

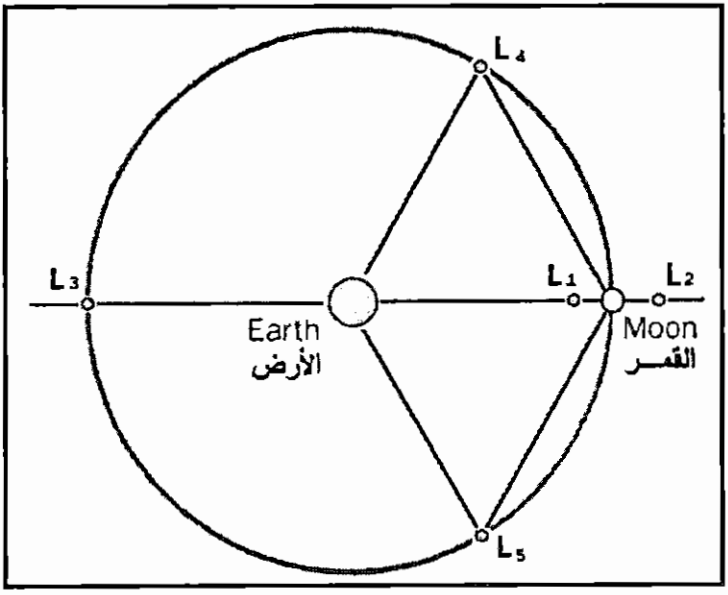
الكسوف الشمسي لان القمر الصناعي يقع بين الشمس والقمر الطبيعي مما يتيح أرصادًا مستمرة للشمس.

أما المسبار SOHO هو اختصار Solar and Heliospheric Observatory الذي أطلق منذ نوفمبر 1996 م وأتخذ نفس الموقع بالنسبة للنقطة L_1. أما النقطة L_2 فسيتم شغلها بأقمار أخرى، وهذا الموقع في الجهة المقابلة للأرض بالنسبة للشمس يسمح برؤية ثابتة للسماء.

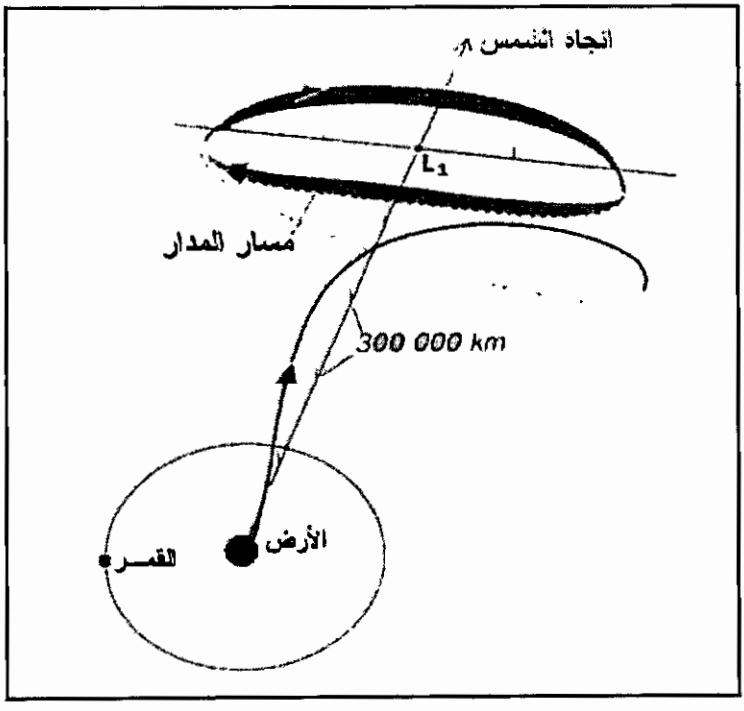
فى المستقبل يمكن استغلال نقاط لاجرانج لوضع مستعمرات فضائية على مسافات ثابتة من الأرض بدون استخدام أي طاقة إضافية (النقط L_4 , L_5 في نظام الأرض والقمر). حيث أن أي جسم عند النقط L_4 , L_5 يكون مستقرا ولا يستطيع الابتعاد عنها نتيجة الإقلاق على عكس النقط L_1 , L_2 , L_3 فهي غير مستقرة وأي حركة طفيفة يمكن أن تجعل القمر يهرب بعيدا عن الأرض في الفضاء.



الشكل (5- 3). منحنيات تساوي الجاذبية.



الشكل
(5-4).
نقاط لاجرانج في نظام
الأرض-القمر.



الشكل
(5-5).
المدار الهالة حول
النقطة L_1.

ويمكن استغلال النقط L_4 , L_5 أيضا كميناء خدمة لتسهيل الانتقال بالمركبات الفضائية بين الكواكب. حيث الانتقال من نقط لاجرانج (لا توجد جاذبية) يحتاج فقط إلى كمية طاقة منخفضة.

3-5: المدار الأرضي المنخفض low Earth orbit (LEO) [13]:

هو المدار الذي يتحرك فيه القمر الصناعي حول الأرض ويتراوح ارتفاعه بين سطح الأرض إلي ارتفاع 2000 كم. يحدث اضمحلال سريع لمدار القمر الذي يقع تحت ارتفاع 200 كم. لهذا يكون التعريف الشائع للمدار المنخفض هو المدار الذي يقع علي ارتفاع بين 160 إلى 2000 كم فوق سطح الأرض.

باستثناء الرحلات إلى القمر في برنامج أبوللو، ورحلات برنامج عطارد ورحلات الطائرات الصاروخية التجريبية X-15[14] و Rocket planes[15] و Space Ship One، فإن جميع الرحلات المأهولة برواد الفضاء تمت في مدارات منخفضة، بما فيها جميع رحلات مكوك الفضاء Space Shuttle و رحلات المحطة الدولية space station . وأقصي ارتفاع سجل لرحلات الإنسان في المدارات المنخفضة كانت رحلة جيمني-11 (Gemini-11) حيث وقع أوج المدار علي ارتفاع 1374.1 كم.

1-3-5 : خواص المدارات الأرضية المنخفضة :

تقابل الأجسام التي تحلق في المدارات المنخفضة LEO مقاومة الغلاف الجوي لها Atmospheric Drag علي هيئة الغازات في طبقة الثرموسفير thermosphere (علي ارتفاع بين 80 إلى 500 كم تقريبا) أو في طبقة الإكسوسفير exosphere (علي ارتفاع 500 كم تقريبا) وهذا يعتمد علي ارتفاع المدار. المدار المنخفض LEO هو مدار حول الأرض يقع بين الغلاف الجوي وتحت حزام فان آلن الإشعاعي الداخلي Van

---

[13] الفقرات (5-3 & 5-3-1) من موقع **http://en.wikipedia.org/wiki/Low_Earth_orbit**

[14] X-15 : هي طائرة صاروخية في سلسلة طائرات تجريبية، وهي بدأت في بداية الستينات لتصل إلى نهاية الغلاف الجوي وتعود بمعلومات غاية في الأهمية تستخدم في تصميم الطيران العادية والصاروخية Space Ship One : هي طائرة فضائية spaceplane وصلت إلى ارتفاع 100 كم بثلاث طيارين.

[15] الطائرات الصاروخية rocket-powered aircraft طائرات تستخدم الصواريخ في الدفع وهي مناسبة للطيران علي ارتفاعات عالية جدا.

Allen radiation belt الشكل (1-1). ولا يقل ارتفاع المدار عن 300 كم لأن ذلك يكون غير عملي نتيجة لمقاومة الغلاف الجوي
العالية. تتحرك المحطة الفضائية الدولية في مدار منخفض علي ارتفاع يتراوح بين 319.6 كم إلى 346.9 كم فوق سطح الأرض الشكل (5-1).

تقع أغلب الأقمار الصناعية في مدارات منخفضة، حيث تتحرك بسرعة 8 كم/ث، لتكمل دورة كاملة حول الأرض في زمن قدره 90 دقيقة، والعديد من أقمار الاتصالات تتطلب مدارات أقمار ثابتة، وتتحرك بنفس السرعة الزاوية للأرض. ولهذا تتطلب أقل طاقة لوضع القمر في مدار منخفض ثم يتطلب بعد ذلك طاقة أقل لنقلها من المدار المنخفض إلى مدار القمر الثابت، ومازالت المدارات المنخفضة تستخدم في تطبيقات الاتصالات. وحيث أن المدارات المنخفضة ليست مدارات ثابتة، لذلك نحتاج شبكة أو مجموعة من الأقمار لعمل تغطية للإتصالات مستمرة.

قوة جذب الأرض في المدارات المنخفضة ليست أقل بكثير من جاذبيتها علي سطح الأرض، إلا أن رواد الفضاء والأجسام في هذه المدارات تتعرض لظاهرة انعدام الوزن نتيجة لتأثير ظاهرة السقوط الحر Free Fall. مقاومة الغلاف الجوي والجاذبية المرافقين لإطلاق القمر يتطلبان زيادة في معدل تغير السرعة مقداره 2000 متر/ث للوصول إلى مدار منخفض بسرعة مقدارها 7800 متر/ث.

إن بيئة المدارات المنخفضة اكتظت بالحطام الفضائي الذي زادت في السنوات الأخيرة، وحيث أن الارتطامات بسرعات مدارية عالية تحدث أضرارا بالغة أو خطيرة أو حتى تنتج حطاما فضائيا جديدا. لذلك يتم الآن تتبع أكثر من 8500 حطام فضائي قطره أكبر من 10 سم في المدار المنخفض، والدراسات المحدودة لمرصد Arecibo أظهرت احتمال وجود مليون جسم كحطام أكبر من 2 مليمتر، وهي من الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها من الأرض.

5-4: المدار الأرضي المتوسط[16] :

- المدار الأرضِي المتوسّطِ (MEO)، يشغل منطقةُ من الفضاءِ حول الأرضِ فوق المدارِ الأرضِي المنخفضِ (ارتفاع مِنْ 2,000 كيلومترِ) وتحت مدارِ القمر الثابت (GSO) (ارتفاع مِنْ 35,786 كيلومترِ) أنظر الشكل (5-1) .

[16] الفقرة (5-4) من الموقع "http://en.wikipedia.org/wiki/Medium_Earth_Orbit

- إنّ الاستعمال الأكثر شيوعاً للأقمار الصناعية في هذه المنطقةِ هو أقمار الملاحةِ لتحديد المواقع علي سطح الأرض، مثل GPS (بارتفاع مِنْ 20,200 كيلومترِ)، ومجموعة أقمار جلوناس Glonass (بارتفاع مِنْ 19,100 كيلومترِ) وقمر جاليليو (بارتفاع مِنْ 23,222 كيلومترِ). وتوضع أقمار الاتصالات التي تَغطّي القطبَ الشماليَ والجنوبيَ أيضاً في مدار متوسط.
- تَتراوحُ فترة دورة المدار المتوسط حوالي من 2 إلى 24 ساعةِ. وأقمار تلستار Telstar، واحدة من أوّل وأشهر الأقمار الصناعية التجريبية، التي تتخذ مدارات متوسطة.
- القمر الصناعي المتوسط في المداراتِ المختلفةِ يَعملُ علي ارتفاعاتٍ تتراوح عادة بين ارتفاع حوالي 5000 إلى 12000 كيلومترِ عن سطحِ الأرضَ.
- المدار المتوسط يمكن أن يشغلهُ عدد مِنْ الأقمار الصناعية فى وقت واحد.

5-5 : المدارات الأهليجية عالية الاستطالة[17] :

المدار الإهليليجي جداً Highly elliptical orbit (HEO) هو مدارُ إهليليجيُ يتميّزَ بحضيض منخفض الارتفاع نسبياً وأوجٍ عالي الارتفاع جداً. هذه المداراتِ عالية الاستطَالةِ جداً تمتازَ بفترة مكوث طويلة عند نقطة في السماءِ أثناء الاقترابِ من الأوج والهبوطِ مِنْهِ. فترة رؤية القمر قُرْب الأوجِ يُمْكِنُ أَنْ تتجاوزَ أثنتا عشْرة ساعةَ. بالنسبة للحضيضِ تكون الحركة بالقرب منه أسرعِ ووفترة رؤيته أقصرِ كثيراِ. الأجسام التي تَتحرّكُ لفترة زمنية طويلة قربِ الأوجِ يُمْكِنُ أَنْ تَظْهرَ ثابتةً في السماءِ بالنسبة للأرض عندما يكون ميل المدار صحيحِا، حيث تكون السرعة الزاوية للمدارِ في الدائرةِ الاستوائية قريبه جدا من سرعة دورانَ سطحِ الكوكب أسفل المدارُ تحته. وهذا يَجعلُ هذه المداراتِ الاهليلجيةِ مفيدةِ لأقمار الاتصالاتِ.

يظهرُ الشكل (5-6) كَيفَ أن قمر Sirius Satellite Radio الذي يستخدمُ مدارات عالية الاستطالة HEO لإبْقاء قمرين صناعيين فوق أمريكا الشمالية بينما القمر الصناعي الآخر يَمسحُ بسرعة الجزءِ الجنوبي خلال مداره الذي يستغرق 24 ساعة. إن خط الطول الذي تتحرك فوقه الأقمار الصناعية ببطء شديد قرب الأوجِ في الحلقةِ الصغيرة العليا تَبْقى ثابتة نسبياً أثناء دوران الأرضُ. إنّ المداراتَ الثلاثَة المنفصلةَ للأقمار الصناعية متُبَاعَدة بالتساوي حول الأرضِ، لكنها تشترك في مسار أرضي واحد.

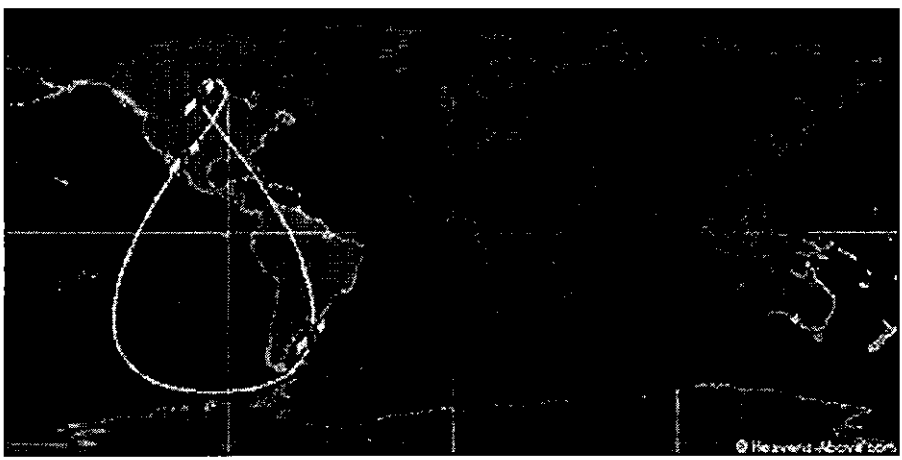
---

17 الفقرة (5-5) من موقع "http://en.wikipedia.org/wiki/Highly_Elliptical_Orbit"

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:

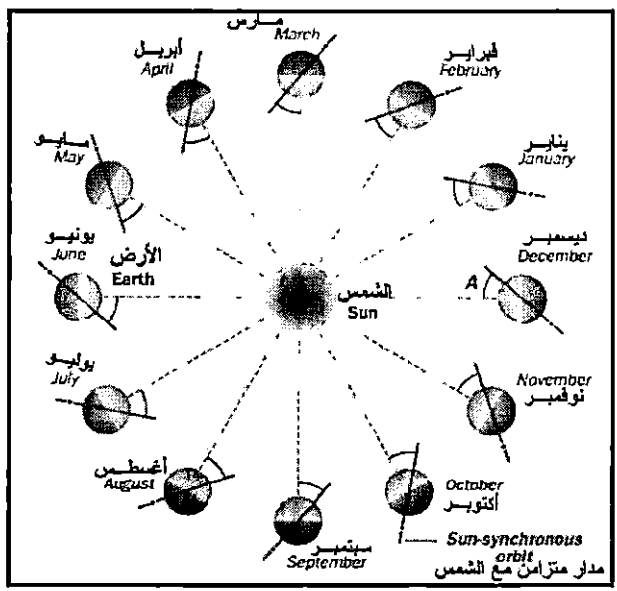
- عبورها عند موقع ما على سطح الكرة الأرضية يكون عند زمن شمسي متوسط ثابت وبالتالي يكون لمعان تلك المنطقة أي أضاءتها بأشعة الشمس ثابتة في نفس اللحظة من اليوم ويتغير اللمعان فقط مع فصول السنة نتيجة لتغير ميل الشمس.
- يغطي القمر تقريبا كل سطح الكرة الأرضية حيث يكون المدار شبه قطبي (يمر بالقرب من قطبي الكرة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

---

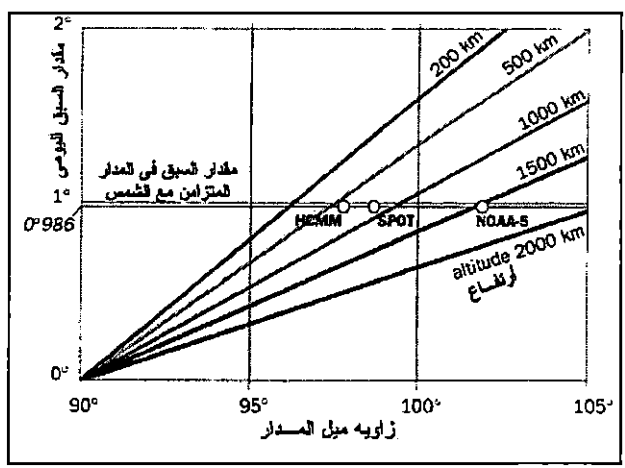
[19] من الفقرة (5-7) وحتى نهاية الفصل من "Fernand Verger, et al; The Cambridge Encyclopedia of space of Space;2003"

- ارتفاع وميل مدار القمر عوامل تؤثر في تحديد السبق العقدي المراد تحقيقه. فكلما زاد ارتفاع القمر كلما زاد ميل المدار.

هذه الشروط يجب تحقيقها للأقمار التي تدور في مدارات دائرية متزامنة مع الشمس. وهذا النوع مناسب لرصد الأرض فهي تحقق ارتفاعا ثابتا بالنسبة للمنطقة التي يراد رصدها وإضاءة ثابتة لتلك المنطقة تتغير مع الفصول فقط. وهذه الأقمار تكون مناسبة للاستشعار عن بعد لسطح الأرض، ودراسة الغلاف الجوى، والأرصاد الجوية، وتجميع بيانات حرارية.



الشكل (5-7).
الأقمار المتزامنة مع الشمس.

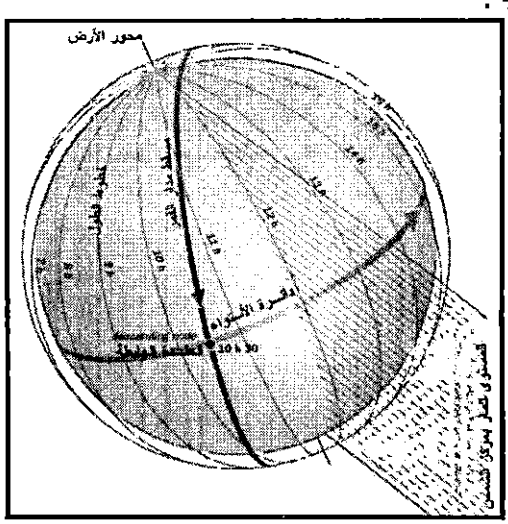


الشكل (5-8)
العلاقة بين مقدار السبق وميل المدار.

والعديد من البرامج استخدمت المدارات المتزامنة مع الشمس للأسباب التالية :

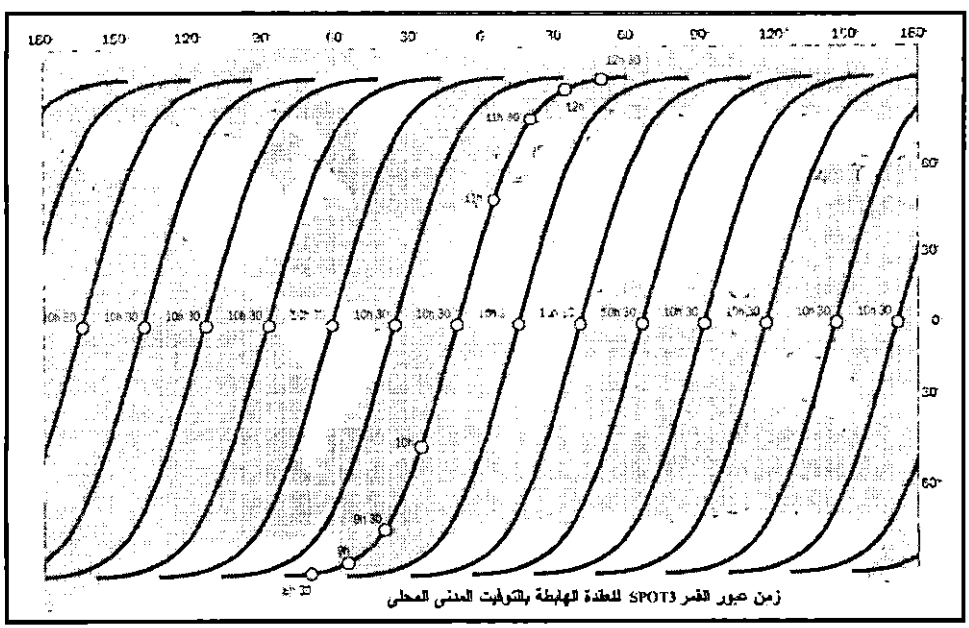
ارتفاعاها وميل مدارها يغطى منطقة كبيرة من سطح الأرض وتعبر خطوط عرض مختلفة. نلاحظ من الشكل (5-9) أن المدار الذي يمر بالقرب من القطبين يمسح الكرة الأرضية بالكامل أثناء اليوم وذلك لدوران الكرة الأرضية حول محورها. والعوامل التي تحدد مهمة القمر يجب أن تحتوى على زمن عبور القمر للعقدة الهابطة بالتوقيت المدني المحلى. ويمكن حساب زمن عبور القمر عند خطوط عرض مختلفة على سطح الأرض من هذه العوامل السابقة الشكل (5-9). يوضح الشكل (5-10) زمن عبور القمر *SPOT3* للعقدة الهابطة (على دائرة الاستواء) بالتوقيت المحلى الساعة العاشرة والنصف. كذلك يحدد الشكل مرور القمر على خطوط عرض مختلفة في أوقات مختلفة، وهذه الأوقات تبدأ قرب القطب الشمالي عند خط عرض 80 وخط طول 50 شرق جرينتش حيث يعبر الساعة 12 والنصف، ثم عند خط عرض 77 وخط طول 32 يعبر الساعة 12 وهكذا إلى أن يعبر العقدة الهابطة عند خط عرض صفر على دائرة الاستواء وخط طول 10° غرب جرينتش الساعة 10 والنصف. وهكذا نجد أن التوقيت يقل ولا يزيد وذلك لأن القمر يتجه ناحية الغرب من الكرة الأرضية حيث يكون التوقيت اقل من توقيت الناحية الشرقية.

وتحديد زمن عبور القمر المتزامن مع الشمس تبعا لنوعية مهمة القمر. فأقمار الاستشعار عن بعد تستخدم الطيف المرئي والأشعة تحت الحمراء في أرصادها، لهذا تكون مداراتها ثابتة بطريقة تمكنها من التحليق فوق مناطق تسطع عليها أشعة الشمس بدرجة عالية أثناء حركتها في مدارها الصاعد أو الهابط أو قرب الفجر في الحالة الثانية.



الشكل (5-9).
مدار قمر متزامن مع الشمس.

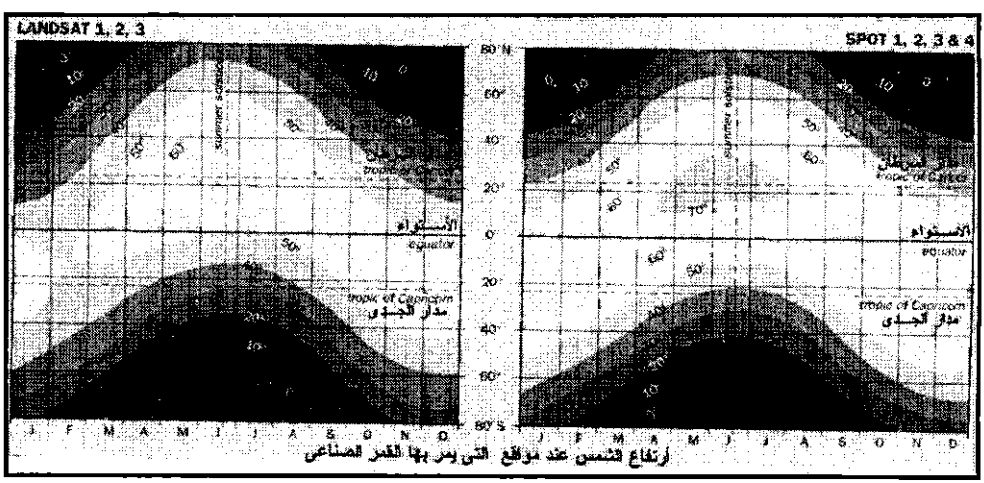
وكمية الإضاءة الشمسية التي تغطي نقطة على سطح الأرض تعتمد على ارتفاع الشمس عن أفق هذه النقطة. ويعتمد هذا الارتفاع على نوع الفصل (صيف- ربيع- خريف- شتاء). ففوق المناطق الشمالية أو الجنوبية يكون أقصى ارتفاع للشمس عندما تكون في أحد الانقلابيين وأقل ارتفاع في الاعتدالين. وعند دائرة الاستواء يكون الارتفاع أقصاه عند الاعتدالين يوضح إنّ انتظام زاويةِ بين اتجاه الشمسِ ومستوى المدار يتحققُ بحساب السبقِ الطبيعيِ للمدارِ ليكمل دورة كاملة في سنة. لأن الأرضَ تَدُورُ، وهي مفلطحُة قليلاً (خط الاستواء أطولُ قليلاً منه لو كُانتُ الأرضِ علي شُكّلْ كرةً)، والكتلة الإضافية قُرْب دائرة الاستواء تسبب للمركبات الفضائيةِ التي في مداراتِ مائلةِ سبق. مستوى المدارِ لَنْ يكون ثابتْ في الفضاءِ بالنسبة إلى النجومَ البعيدةَ، لكن يَدُورُ ببطء حول محورِ الأرضَ. تَعتمدُ سرعةُ السبقِ على كلا من ميلِ المدارِ وأيضاً على ارتفاع القمر الصناعي. بمُوَازَنَة
هذين التأثيرين، يمكننا التحكم بنِسَبِة السبقِ. ومثال لذلك فان المدارات المتزامنةِ مع الشمسِ تكون علي ارتفاع حوالي من 600 إلى 800 كم، ودورة المدار حوالي من 96 إلى 100 دقيقة، وميل المدار حوالي 98 ° (بمعنى آخر: المدار تقهقري مقارنة باتجاه دوران الأرضِ: حيث الميل 0 ° يُمثّلُ مدارَ استوائي والميل 90 ° يُمثّلُ مدار قطبي).



الشكل (5-10). زمن عبور قمر متزامن مع الشمس *SPOT3* للعقدة الهابطة.

يوجد تنوع في هذا النوع مِنْ المداراِت؛ القمر الصناعي يُمكنُ أَنْ يَكونُ مدار متزامنِ مع الشمسِ عالي الاستطالةُ، في هذه الحالة يكون ثَبوّتَ الوقتَ الشمسيَ للمرورِ عند نقطة مُحددة مِنْ المدارِ (الحضيض). دورة المدار تختارْ تبعاً لمعدل تكرار الزِيَارُة المطلوبُة؛ يَعْبرُ القمر الصناعي خطَ الاستواء في نفس الوقتِ الشمسي المتوسطِ عند كُلّ مرور، لَكنَّه عادة عند خطوط طول مختلفة، لأن الأرضَ تَدُورُ تحتَ القمر الصناعي. على سبيل المثال، إذا كانت الدورة المدارية 96 دقيقة، فدورة القمر ستتكرر 15 مرة خلال اليومِ الشمسي الأرضَي، وهذا يعني أن القمر الصناعي سيعبر دائرة الاستواء عند 15 خَطِ طول مختلفةِ فى المداراتِ المتتاليةِ، في نفس الوقتِ الشمسي المتوسطِ المحليِ لكُلّ موقع، ويعود ليعبر خط الطول الأول مرة ثانية بعد 15 عبور، أي يعبر كل خط طول مرة واحدة في اليوم الواحد.

يمثل الشكل (5-11) قيمة ارتفاع الشمس في موقع عند نقطة أسفل القمر عند خطوط عرض مختلفة أثناء العام. وتقع النقاط التي يكون فيها ارتفاع الشمس أعلى ما يمكن في النصف الشمالي للكرة الأرضية وذلك لأغلب أقمار الاستشعار المتزامنة مع الشمس. وذلك لأنه يفضل عبور هذه الأقمار للعقدة الهابطة في الصباح الباكر. ويعبر المحور الأفقي للشكل عن أشهر السنة والمحور الرأسي عن خطوط العرض والقيم داخل الشكل تمثل قيم منحنيات تساوي الارتفاع للشمس. ويمثل الشكل الأيمن لأقمار سبوت 1، 2، 3 و4 والشكل الأيسر لأقمار لاندسات 1، 2 و 3.



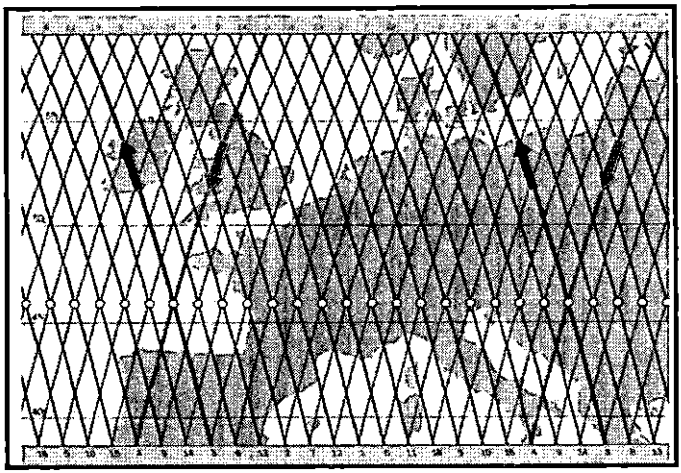
الشكل (5-11). إضاءة الشمس عند خطوط العرض المختلفة.

وبعض الأقمار مثل لاندسات أوسبوت تعبر العقدة الهابطة قبل منتصف النهار وأقمار أخرى مثل HCMM تفعل العكس (تعبر في المساء). و يحدث العبور للعقد الصاعدة والهابطة للأقمار المتزامنة مع الشمس عند خطوط عرض ثابتة وزمن دوري ثابت (الزمن بين العبورين ثابت). ولهذا يكون العبور للعقدة الصاعدة لأقمار HCMM في ضوء النهار والعبور للعقدة الهابطة في أثناء الليل. أي يحدث العبور للعقدة الصاعدة فوق موقع ما أسفل العقدة، ويحدث عبور القمر عند نفس الموقع عندما يكون تحت العقدة الهابطة، أي تكون الأرض دارت حول محورها نصف دورة أي أن هذا يتم في فترة نصف يوم وذلك يتضح في الشكل (3-12) عند خط عرض ^{o} 46 (المحور الرأسي يمثل خط العرض والأفقي رقم اليوم). حيث نجد أن الخط السميك الرمادى الهابط من أعلى يمين الشكل من رقم 3 الذى يمثل رقم اليوم على المحور الأفقي ويمثل بالسهم الرمادى، ، وينتهي إلى رقم 4 أسفل يمين الشكل. يتقاطع هذا الخط مع الخط السميك الأسود الصاعد من أسفل يمين الشكل ويمثل بالسهم الأسود، ويبدأ من رقم 3 من المحور الأفقي أسفل الشكل. ونقطة التقاطع تمثل انطباق العقدة الصاعدة للقمر مع العقدة الهابطة له عند خط عرض 46 ونفس خط الطول. وبالمثل نجد أن جميع الدوائر البيضاء تمثل تقاطع العقدة الصاعدة والعقدة الهابطة عند نفس خط العرض ولكن خطوط طول مختلفة. وهذا المرور الدوري يستخدم لحساب اختلاف درجات الحرارة للمناطق التي يحلق فوقها القمر أثناء ضوء النهار وظلمة الليل. وبهذه الطريقة يمكن معرفة حرارة السحب من أرصاد القمر HCMM.

1-7-5 : حالات المدار المتزامن الخاصة :

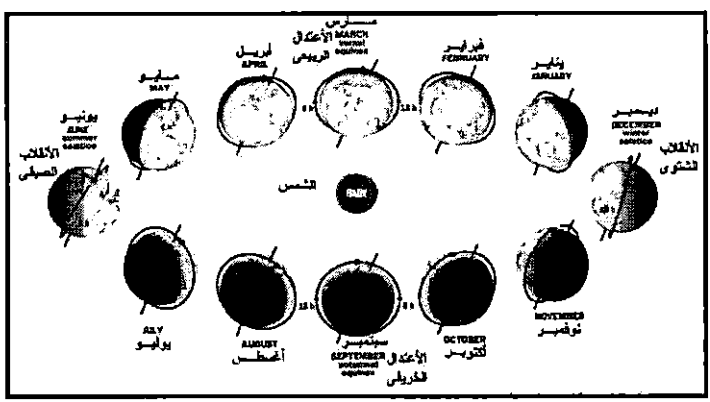
مدار الظهر أو منتصف الليل حيث أن الوقت الشمسي المحلي لعبور خطوط الطول عند دائرة الاستواء يكون في وقت الظهر أو منتصف الليل.

ومدارات الفجر والغسق يحدد نوعية خاصة من المدارات المتزامنة مع الشمس. وسميت هذه المدارات بهذا الاسم لأن القمر يعبر العقد تقريبا أثناء الفجر أو الغسق (بعد غروب الشمس) في المناطق التي يعبرها ويكون الخط العقدي متعامدا مع الخط الواصل بين الأرض والشمس. وزمن عبور العقد يكون قرب الساعة السادسة مساء أو صباحا. وهذا يعنى أن القمر يكون دائما مضاء لانعكاس أشعة الشمس عليه وانعكاسها إلى الأرض وتستقبل ألواح الخلايا الشمسية للقمر الصناعي الأشعة الشمسية خلال 24 ساعة ولهذا يستمد القمر طاقة ثابتة من الشمس.



الشكل (5-12). عبور القمر للعقدتين عند نفس المكان.

وتبعا لميل مدارات الأقمار المتزامنة مع الشمس يحدث خسوف قصير للقمر في كل دورة لمدة عدة أسابيع حول نقطة الانقلاب الصيفي. وهذه المدارات تستخدم لبعض أقمار الاستشعار عن بعد مثل رادارسات Radarsat حيث تحتاج أجهزة الرادار لقدر كبير من الطاقة لهذا يجب أن يتجنب القمر حدوث خسوف له في ظل الأرض حيث يمنع الخسوف وصول أشعة الشمس إلى الألواح الشمسية. ويتم خسوف القمر رادارسات لمدة 18 دقيقة في كل دورة أثناء الانقلاب الصيفي الشكل (5-13) حيث نجد أن في يسار الشكل عند الانقلاب الصيفي يحدث خسوف للقمر قرب القطب الجنوبي للكرة الأرضية ويحدث الخسوف للقمر عند الانقلاب الشتوي قرب القطب الشمالي للكرة الأرضية.



الشكل (5-13). أقمار الفجر والغسق.

وهذا الخسوف مفيدُ أيضاً لبَعْض الأقمار الصناعية المزودة بالأجهزة السلبيةِ التي تَحتاجُ لتقييد تَأثير الشمسَ على القياسات، حيث توجه الأجهزة دائما نحو الجانبِ الليليِ للأرضِ. أما أقمار الفجر / مدار غسقٍ يستخدم للأقمار الصناعية العلميةِ التي ترصد الشمسِ مثل Yohkoh، Trace وHinode، حيث تمكنهم بصفة مستمرة من رؤيةً الشمسِ.

مع زيادة ارتفاع وميل القمر الصناعي، فإن فائدة المدارِ تَنْقصُ بمقدار الضعفً: أولاً لأن (القمر الصناعي الذي يرصدِ الأرضَ) صور القمرِ الصناعي التي يلتقطها ستكون مِنْ مسافة بعيدةٍ جداً مما يؤثر علي دقة الصورُ، وثانياً لأن الميلَ المتزايدَ يَعْني أن القمر الصناعي لَنْ يَطِيرَ على خطوطِ العرض الأعلى (في المدارات المتقهقرة). فالقمر المتزامنِ مع الشمسِ صمّمَ للطَيَرَانِ على الولايات المتّحدةِ، على سبيل المثال، يَحتاجُ أن تكون زاوية ميل مداره 132° أو أقل، وهذا يَعْني أن يكون الارتفاع ~4600 كيلومتر أو أقل.

ومدار الأقمار الصناعية المتزامنة مع الشمس يمكن تحققها أيضا مع كواكب أخرى غير الأرض مثل كوكب المريخ.

8-5 : المدارات الثابتة Geostationary Satellite Orbits:

بعض الأقمار تبدو كأنها تحلق فوق نفس المكان من سطح الأرض. وهذا النوع يسمى بالأقمار الثابتة Geostationary satellites. وهذه الأقمار تتخذ مدارات خاصة، ولقد تم إطلاق أول قمر من هذا النوع عام 1963م. و تلعب هذه الأيام هذه الأقمار دورا هاما في نقل الاتصالات حول الكرة الأرضية وهى أيضا تقوم بالأرصاد الجوية والتجسس العسكري.

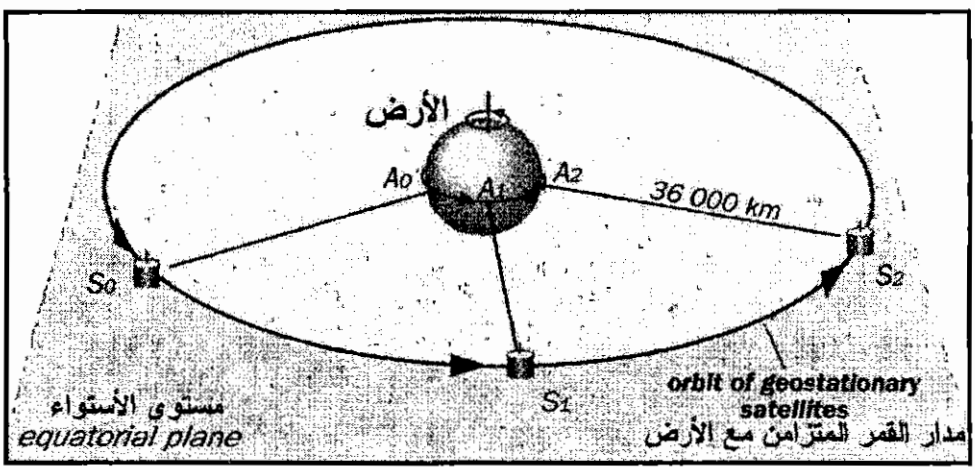
5-8-1 : حساب موقع المدار الثابت Determination of Orbit :

للاحتفاظ بوضع القمر فوق مكان محدد على سطح الأرض يجب أن يكون مدار القمر الثابت كالآتي :

- أن يكون خط العرض ثابت وهذا يحدث فقط عند دائرة الاستواء وأن يكون المدار ميله صفر أي منطبق على دائرة الاستواء تبعا لقانون كبلر.
- أن يكون خط طول موقع القمر ثابت أي تكون السرعة الزاوية للقمر في مداره مساوية لنفس السرعة الزاوية للأرض حول محورها الشكل (5-14). وهذا ممكن فقط في المدارات الدائرية تبعا لقانون كبلر الثاني. ويوضح الشكل (5-14) حركة

القمر من النقطة S_o إلى S_1 إلى S_2 حيث تتحرك النقطة A على دائرة الاستواء على سطح الأرض (التي تقع أسفل القمر) بنفس السرعة من A_o إلى A_1 إلى A_2.

- أن تكون دورة القمر حول الأرض مساوية لدورة الأرض حول محورها (360° في 23 س 56 ق) وهذا يعني أن القمر يجب أن يكون على ارتفاع 35786 كم من سطح الأرض. وعلى هذا الارتفاع يكون حوالي 42% من سطح الأرض تحت نطاق تغطية القمر الثابت الشكل (5-15) حيث تكون الزاوية عند رأس المخروط عند القمر 12′ ° 17 ويتلامس سطح المخروط مع سطح الأرض عند دائرة تقع بين خط عرض 2′ 81° شمالا وجنوبا.وإذا كان القمر ثابتا عند خط طول جرينتيش فإن دائرة التغطية تلمس خط طول 2′ 81° شرقا وغربا أي يكون الفرق في خط الطول وخط العرض 4′ 162 °.

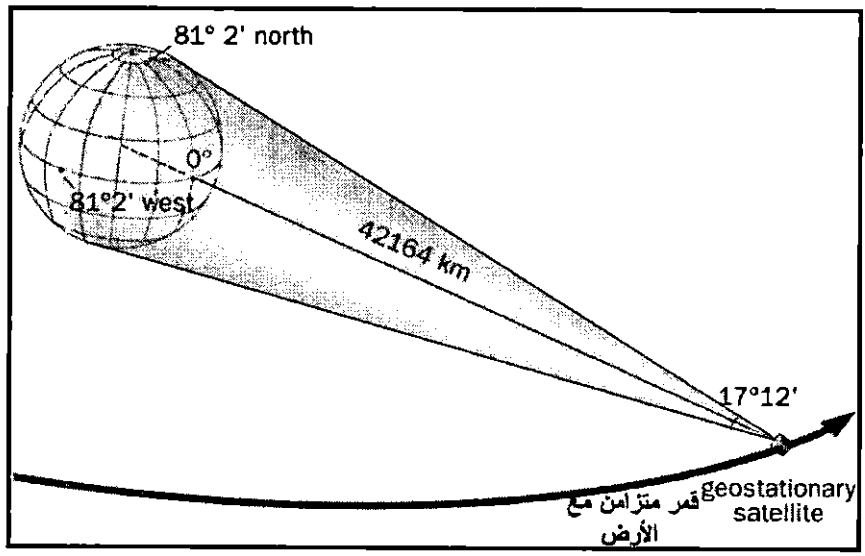


الشكل (5-14). مدار قمر متزامن مع الأرض.

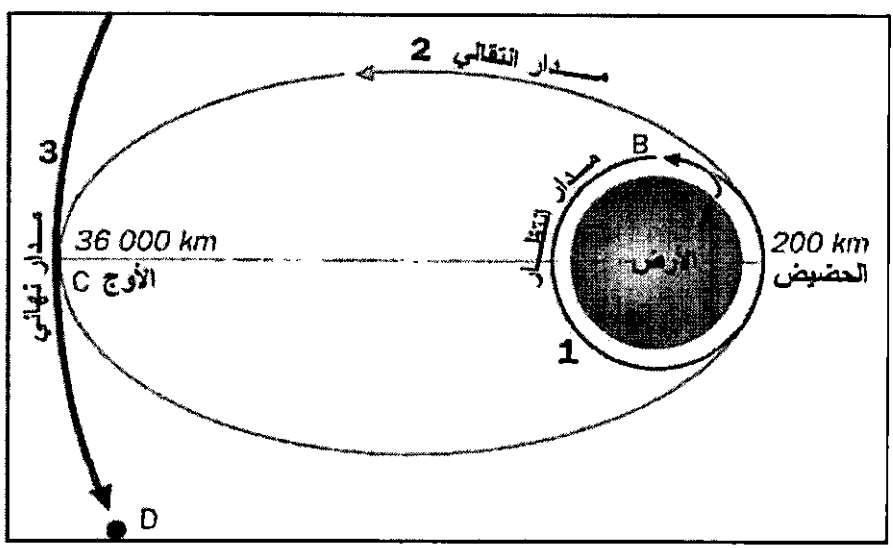
5-8-2 : إطلاق القمر الصناعي الثابت:

إن تعقيدات عملية الإطلاق ومناورات الوصول للمدار النهائي يعتمد على الإحداثيات الأرضية لموقع منصة الإطلاق A. إن أكثر العناصر تأثيرًا تلك التي تكون قرب دائرة الاستواء الشكل (5-16)، حيث عند النقطة B ينفصل القمر من صاروخ الإطلاق، ويأخذ القمر على ارتفاع 200 كم مدارًا منخفضًا حول الأرض (1). ويدور القمر في هذا المدار المنخفض دورة أو اثنتين والذي يسمى بمدار الانتظار الأول. وتحدث المناورة الأولى بتغيير سرعة القمر الذي ينتقل إلى المدار البيضاوي (2) ويسمى بمدار الانتقال. وعند النقطة (C) تحدث مناورة الثانية بتغيير

السرعة ليدخل القمر في مداره الدائري النهائي Operation obit (3) حول الأرض في اتجاه النقطة (D). وخط عرض موقع الإطلاق هو المفتاح الرئيسي لتحديد القوة الدافعة التي يحتاجها القمر لوضعه في مدار استوائي.



الشكل (5-15). منطقة تغطية قمر متزامن.



الشكل (5-16). إطلاق الأقمار إلى مدار ثابت.

5-8-2-1 : الإطلاق من قاعدة جوانا :

وقاعدة الإطلاق في مركز جوانان الفضائي Guianan Space في كورو Kourou قريبة جدا من دائرة الاستواء حيث خط عرضها 10′ 5º شمالاً، وهذا الموقع يعتبر الوحيد القريب من دائرة الإستواء. وهذا الموقع يحتاج إلى مناورات بسيطة جدًا لوضع المدار في مستوى الاستواء. حيث تتكون هذه المناورات من ثلاثة مراحل كما هو واضح بالشكل (5-17). وتفاصيل هذه المراحل كالتالي :

- المرحلة الأولى (المدار الإنتقالى) :

ينفصل القمر مع المحرك الأوجي Apogee Kick motor الملحق به عن مركبة الإطلاق اريان على ارتفاع 200 كم قبل عبورها مستوى دائرة الاستواء عند النقطة (1). وعند نقطة الحضيض P يأخذ القمر مدارًا انتقاليًا بيضاويًا (2)، اختلافه المركزي عالي القيمة. ويميل هذا المدار بزاوية 7 º ، والمحور الأعظم لهذا المدار يقع في مستوى دائرة الاستواء ويكون أوج هذا المدار عند A على ارتفاع 36000 كم ودورته في هذا المدار 11 ساعة.

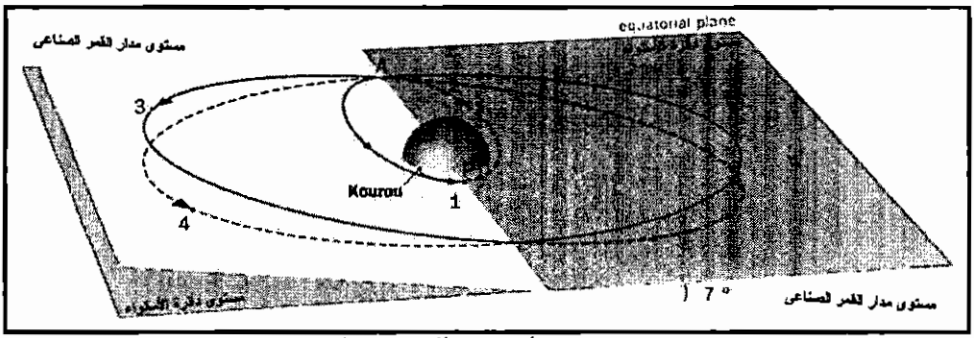
- المرحلة الثانية (استدارة المدار وتعديل الميل) :

بعد عدة دورات في المدار السابق (2) وعند عبور النقطة A تعمل محركات الدفع الأوجية مما يغير مسار القمر إلى مدار دائري (3) يسمى مدار الانحراف Drift orbit ، يحتفظ فيه بنفس ارتفاع الأوج وزاوية ميل المدار º 7. وبعد دورة أو أثنين تعطي دفعة أخرى عموديه على مستوى المدار عند النقطة A لتغير ميل المدار ليصبح قريبا جدا من دائرة الاستواء (المدار 4). وبهذه الطريقة يتم وضع القمر في مستوى دائرة الاستواء. وتسمى هذه العمليات بالمناورات الأوجية Apogee maneuvers لأنها تتم عند الأوج عند النقطة A. وينطبق في هذه الحالة المحور الأعظم للمدار مع الخط العقدي.

- **المرحلة الثالثة** (انحراف القمر وبلوغه موقعه) :

في هذه المرحلة يتم وضع القمر في خط الطول المطلوب في مداره وإجراء الضبط الدقيق لموقعه، وذلك يتم بدفعات من المحرك ألأوجي مماسية أو عمودية على المدار.

بينما تستغرق المرحلتين الأولى والثانية يومين، نجد أن وضع القمر في خط الطول المخطط له يتطلب وقتًا أطول يصل إلى عدة أسابيع.



الشكل (5-17). أطلاق الأقمار من قاعدة كورو.

5-8-2-2 : الإطلاق من قاعدة كاب كانفرال :

إطلاق الأقمار الثابتة من قاعدة كاب كانفرال Cape Canaveral في الولايات المتحدة عند خط عرض ′30 °28 شمال الاستواء يتم بواسطة المكوك الفضائي Space Shuttle، الذى يتطلب مناورات أكثر من الأقمار التي تطلق من منطقة كورو Kourou بواسطة صواريخ اريان، وذلك لأن خط عرض كاب كانفرال أكبر من خط عرض كورو Kourou. ويوضح الشكل (5-18) مراحل وضع القمر الثابت في مداره من كاب كانفرال وهى :

- المرحلة الأولى :

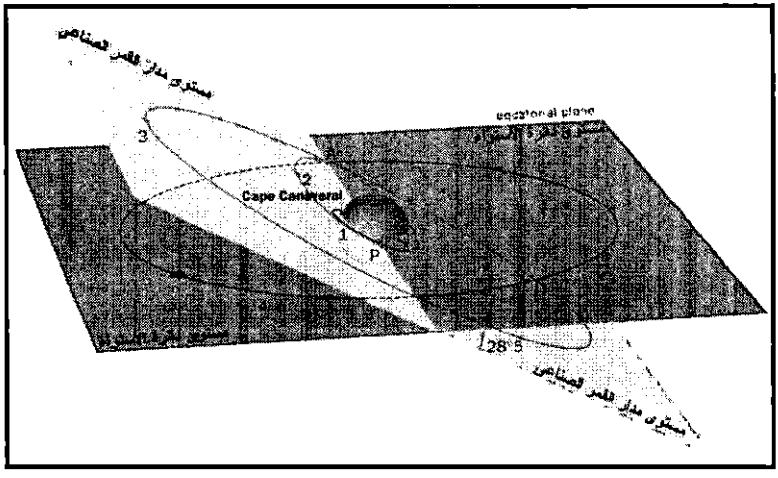
وضع القمر في مدار دائري منخفض يسمى مدار الانتظار (1) Parking Orbit على ارتفاع 300 كم يميل على الاستواء بزاوية °28.5 .

- المرحلة الثانية :

إعطاء دفعة للقمر عند النقطة P بواسطة محركات الدفع الحضيضية Perigee Kick Motor وعندئذ يأخذ القمر مدارًا انتقاليًا Transfer Orbit ارتفاع نقطة اوجه 36000 كم. وتسمى عملية الانتقال من مدار الانتظار إلى المدار الانتقالي بالمناورة الحضيضية Perigee Maneuver. ويظل ميل المدار الانتقالي (2) °28.5.

- المرحلة الثالثة:

جعل المدار أكثر استدارة مرة أخرى وتغيير ميله بمناورة أوجيه مشابه للمناورة المطلوبة في الإطلاق من مركز كورو ولكن في هذه الحالة تكون قوة الدفع أقوى حيث أن الميل سيتغير بزاوية أكبر من °20.



الشكل (5-18). إطلاق أقمار من قاعدة كاب كانفرال.

- المرحلة الرابعة:

بعد أن يتم تغيير الميل ليصبح المدار أقرب لدائرة الاستواء يتم أزاحه القمر في مداره إلى خط الطول المناسب للموقع ليكون القمر ثابتا بالنسبة له.

5-8-2-3 : الإطلاق من قاعدة بيكنور:

يتم الإطلاق بواسطة صواريخ بروتون Proton Rocket من قاعدة بيكنور Baikonur (خط عرض '9 45°) في كازخستان Kazakhstan وهذا الإطلاق مناوراته تشبه ما يتم في مناورات قاعدة كيب كانفرال، إلا أنه يتطلب دفعات أكثر قوة الشكل (5-19).

- المرحلة الأولى :

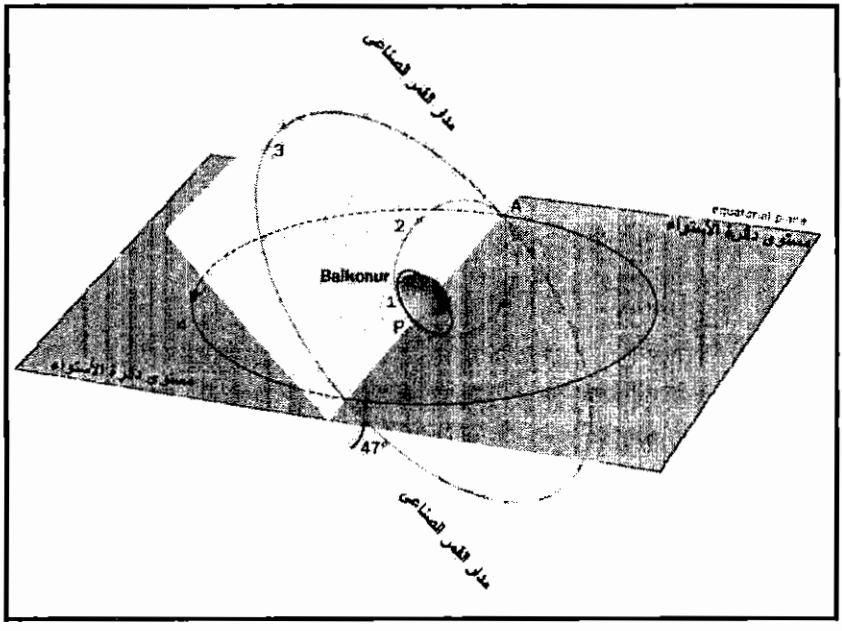
وضع القمر في مدار الانتظار (1) على ارتفاع 200 كم وزاوية ميل ° 51 حتى عبوره للعقدة الهابطة P.

- المرحلة الثانية :

وضع القمر في المدار الانتقالي (2) بزاوية ميل ° 47 وارتفاع أوجي فوق 36000 كم قليلا وهذا يتم بمناورة حضيضيه.

- المرحلة الثالثة :

جعل المدار أكثر استدارة (3) وتصحيح الميل عند العقدة الهابطة. ويتم الوصول للمدار النهائي بمناورة أوجية عند A



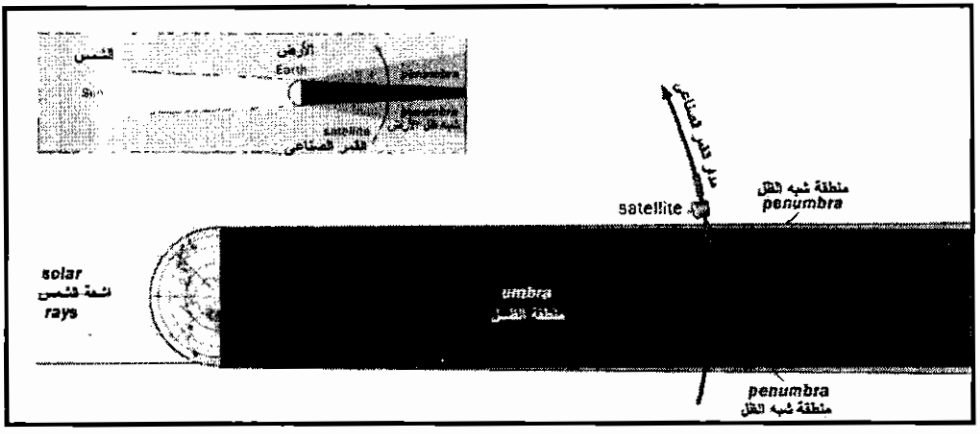
الشكل (5-19). إطلاق أقمار من قاعدة بيكنور.

- المرحلة الرابعة :

يتم وضع القمر عند خط الطول المطلوب في مداره بالنسبة للأرض (4).

9-5 : خسوف القمر الصناعي :

يصنع مستوى دائرة الاستواء مع دائرة البروج زاوية '27 ° 23. ولهذا يوجد عدة أيام من السنة قرب الاعتدال الربيعي والخريفي يحدث خلالها خسوف للقمر الثابت أي دخوله في ظل الأرض Umbra وعدم استقباله أشعة الشمس، أو سقوط جزء من أشعة الشمس عليه إذا مر بمنطقة شبه ظل الأرض Penumbra الشكل (5-20). وأيضا يحدث خسوف للقمر الصناعي إذا مر القمر الطبيعي Moon بين الشمس والقمر الصناعي والقمر يحتاج إلى طاقة مستمرة لتشغيل أجهزته ليعوض ما يمكن فقده من عدم تعرض الألواح الشمسية لأشعة الشمس أثناء الخسوف.

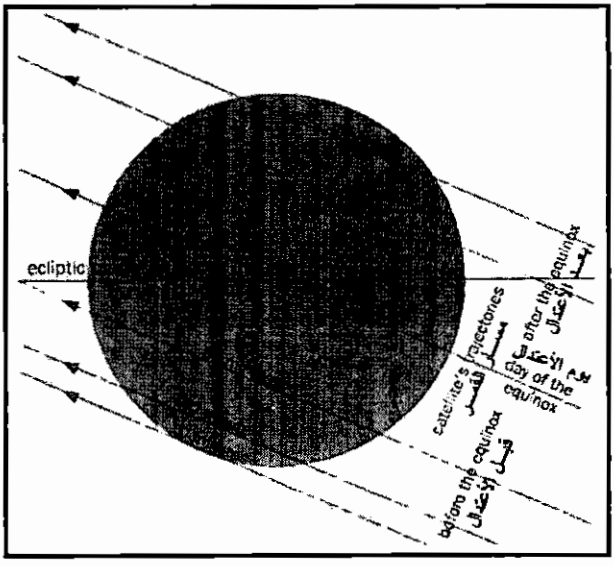


الشكل (5-20). خسوف القمر بمروره بظل الأرض.

عند الاعتداليين في مارس وسبتمبر يكون القمر الثابت والأرض والشمس على استقامة واحدة في منتصف الليل بالتوقيت المدني. وفي يوم الاعتدال يمكث القمر 72 دقيقة في ظل الأرض وهذه أكبر فترة خسوف يومية. وقبل ذلك بمقدار 21 يوم وبعد ذلك بمقدار 21 يوم فان القمر يعبر منطقة الظل كل يوم وتكون فترة الخسوف أقصر. ويوضح الشكل (5-21) فترات الخسوف تبعا لبعد مسار القمر عن مركز الظل. وأثناء باقي السنة فإن مدار القمر الثابت يمر فوق أو أسفل مخروط ظل الأرض حيث يصل أكبر بعد للمدار عن المخروط في الانقلابين.

يوضح الشكل (5-22) أنه في الانقلاب الصيفي 20 – 21 يونيو والانقلاب الشتوي 21 – 22 ديسمبر لا يتقاطع مخروط الظل مع مدار القمر ويكون دوران القمر حول مخروط الظل. أما في الاعتدال الربيعي 20 – 21 مارس والاعتدال الخريفي 22 – 23 سبتمبر فان المخروط يقع في نفس مستوى مدار القمر لذا يمر القمر داخل المخروط عند صعوده في الموقع S3 في الاعتدال الربيعي وعند هبوطه عند S4 في الاعتدال الخريفي. ويوضح الشكل (5-23) أن الخسوف يكون في منتصفه عند منتصف الليل وأن فترة الخسوف الكلي للقمر الصناعي تتزايد من صفر إلى 72 دقيقة في فترة 21 يوم تسبق الاعتدال ثم تتناقص في فترة 21 يوم التالية للاعتدال. ويحدث أطول فترة خسوف عند 21 – 22 مارس و 21 – 22 سبتمبرمارس والاعتدال الخريفي 22 – 23 سبتمبر فان المخروط يقع في نفس مستوى مدار القمر لذا يمر القمر داخل المخروط عند صعوده في الموقع S3 في الاعتدال الربيعي وعند هبوطه عند S4 في الاعتدال الخريفي. ويوضح الشكل (5-23) أن الخسوف يكون في منتصفه عند منتصف الليل وأن فترة الخسوف الكلي للقمر الصناعي تتزايد من صفر إلى 72 دقيقة في فترة 21

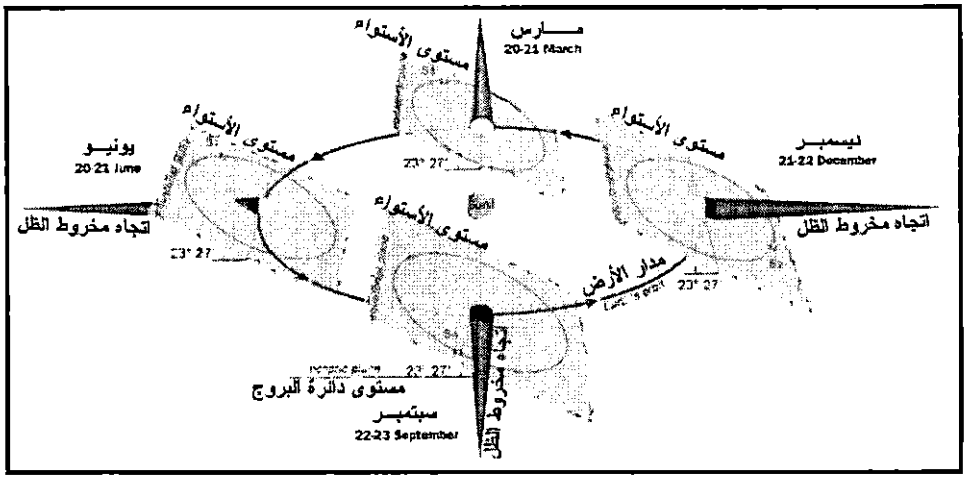
يوم تسبق الاعتدال ثم تتناقص في فترة 21 يوم التالية للاعتدال. ويحدث أطول فترة خسوف عند 21 – 22 مارس و 21 – 22 سبتمبر.



الشكل (5-21).
طول فترة خسوف القمر.

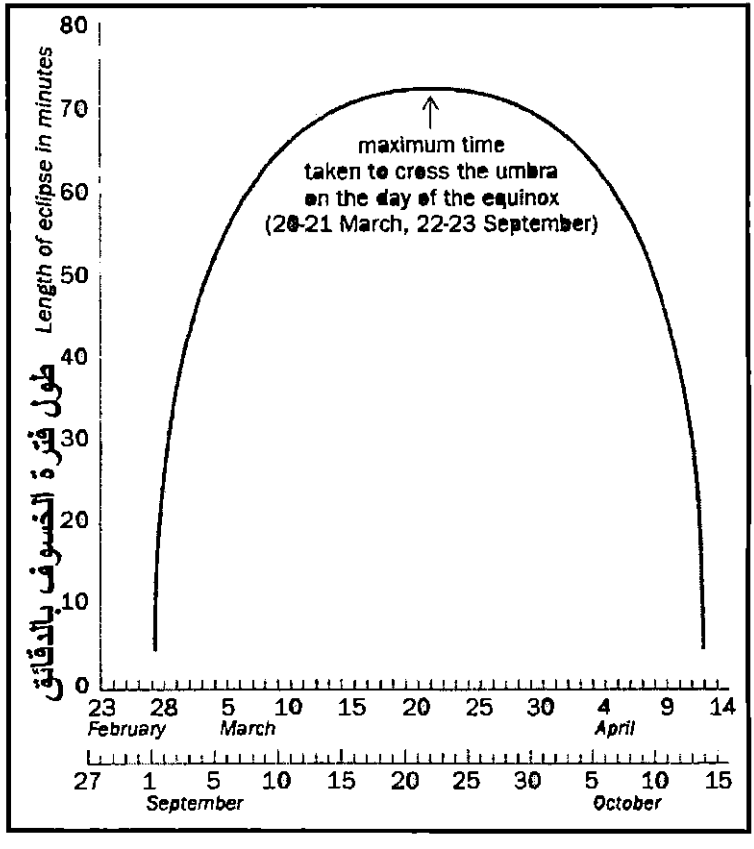
10-5 : تتبع القمر Station Keeping :

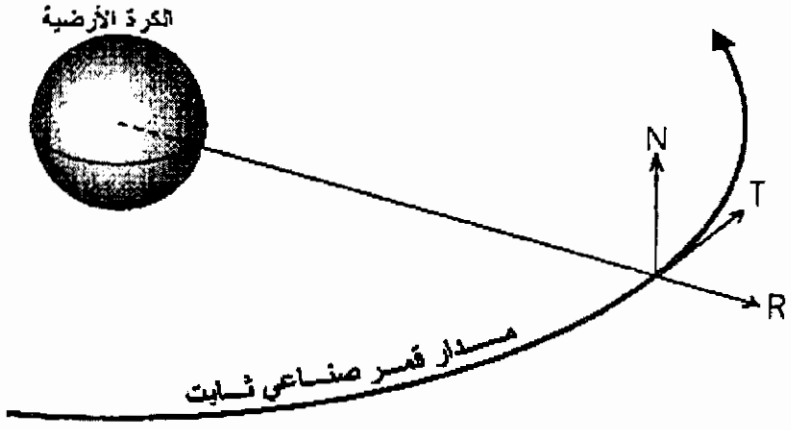
إن قوى الإقلاق مثل الجاذبية الأرضية، ومقاومة الغلاف الجوى، أو جذب الشمس والقمر الطبيعي، تغير موقع القمر الصناعي في مداره، لهذا يتطلب تصحيحًا مستمرًا لخط طول وخط عرض القمر. ويتحقق هذا التصحيح بواسطة أوامر يتم إرسالها للقمر من المحطات الأرضية التي تتابع وتتأكد دائما من موقع القمر في مداره بالنسبة للمنطقة التي يغطيها. ويوضح الشكل (5-24) موقع القمر في مداره الذي يبلغ طوله 264390 كم وان درجة واحدة خطأ في خط طوله شرقا أو غربا تتسبب في انحراف القمر 735 كم. وهذا يسبب خللاً في عمل القمر، ولكن الانحراف المسموح به دون حدوث خلل في كفاءة القمر هو 73.5 كم في خط الطول، أي 36.75 كم غربا أو شرقا. وكذلك 30 كم في خط العرض أي 15 كم شمال أو جنوب المدار.



الشكل (5-22). تحديد دورات الخسوف للأقمار المتزامنة.

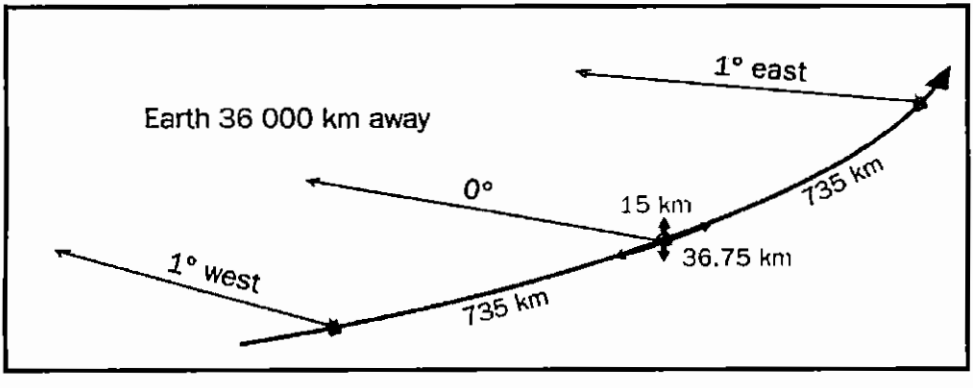
الشكل
(5-23).
موعد أقصى فترات
الخسوف.





الشكل (5-24). مقدار الانحراف المسموح به للقمر.

وتتبع القمر أيضا يشمل استقرار القمر بحيث يحتفظ بمحور الألواح الشمسية في اتجاه عمودي على مستوى مداره، وتصحيح اتجاه طبق الإرسال للقمر. ويوضح الشكل (5-25) الاتجاهات التي يتم فيها تصحيح وضع القمر فتصحيح ميل المدار يتم بدفع القمر في الاتجاه N، وتصحيح الاختلاف المركزي **e** للمدار يتم بالدفع في اتجاه T و R وتصحيح خط الطول يتم بالدفع في اتجاه R و T.



الشكل (5-25). اتجاهات تصحيح وضع القمر.

الفصل السادس

تصنيف المركبات الفضائية

6-1: المركبات الفضائية التي تحلق قرب جسم سماوى

6-2: مركبات فضائية مدارية

6-3 : مركبات الغلاف الجوي

6-4: مركبات فضائية تهبط علي الكواكب

6-5 : مركبات فضائية مخترقة

6-6 : مركبة المتجول الفضائي

6-7 : مركبة المرصد الفضائي

6-8 : مركبات الملاحة

تصنيف المركبات الفضائية[20]

المركبات الفضائية الآلية أنظمة صممت خصيصا وشيدت لإداء مهمات في بيئات فضائية محددة. وهي تختلف بدرجة كبيرة في تعقيداتها وقدراتها وأهدافها المتنوعة. ولمعرفة مميزات كل منها نستعرض في هذا الفصل ثمانية أنواع من هذه المركبات الآلية الفضائية لمعرفة المهام المنوطة بكل نوع :

1- مركبات فضائية تحلق بالقرب من جسم سماوي	**Flyby Spacecraft (SC)**
2- مركبات فضائية مدارية تدور حول الكواكب	**Orbiter SC**
3- مركبات فضائية لدراسة الغلاف الجوي	**Atmospheric SC**
4- مركبات فضائية تهبط علي الكواكب	**Lander SC**
5- مركبات فضائية تخترق سطح الكواكب	**Penetrator SC**
6- مركبات فضائية تتجول علي سطح الكواكب	**Rover SC**
7- مراصد فضائية	**Observatory SC**
8- مركبات فضائية للاتصالات والملاحة الفضائية	**Communication & Navigation SC**

6-1: المركبات الفضائية التي تحلق قرب جسم سماوى:

اجرت هذه المركبات الفضائية المرحلة الأولي من استكشاف النظام الشمسي. وهذا النوع يتحرك في مدار بيضاوي مغلق داخل المجموعة الشمسية لتقترب من بعض الكواكب لدراستها عن قرب أو تتحرك في مدار مفتوح للهروب من المجموعة الشمسية أي لا يدور في مدار حول كوكب معين. وهذه المركبات مزودة بأجهزة لدراسة الأجسام السماوية التي تمر بالقرب منها ثم ترسل البيانات إلي الأرض مباشرة أو تخزينها عندما يكون هوائي المركبة غير موجه للأرض ثم أعادة إرسالها عندما يكون الهوائي مواجه للأرض. يجب أن تكون هذه المركبات مهيأة للعمل لسنوات طويلة أثناء رحلتها في

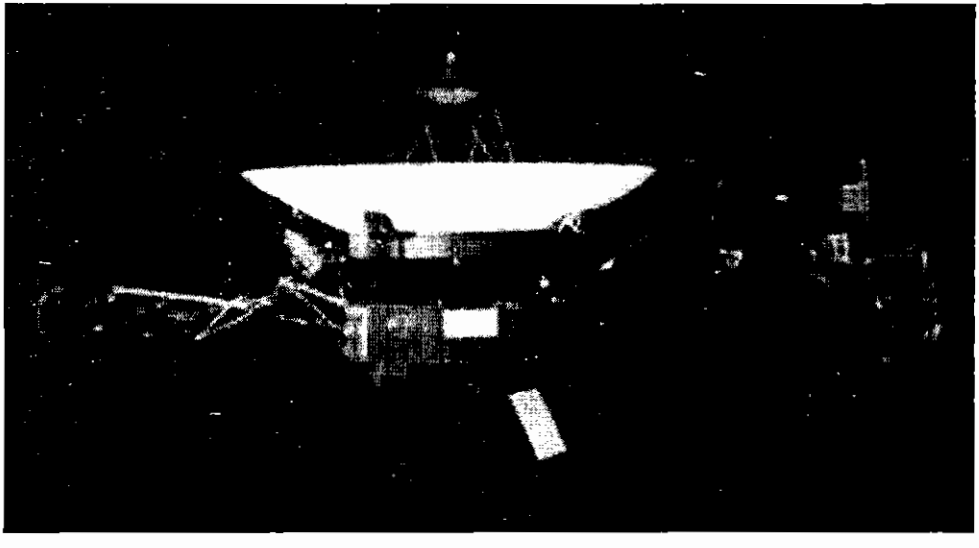
---

[20] هذا الباب مأخوذ من " Basics of space flight section II :chapter 9 "

المجموعة الشمسية أو خارجها. ومثال لهذا النوع من المركبات مركبتي فويجيير Voyager الأولي والثانية. ولقد أقتربت هذه المركبات من كواكب المشتري وزحل ويورانوس ونبتون الشكل (6-1).

أمثلة أخري لهذا النوع من المركبات الفضائية :

- مركبة لدراسة غبار ذيل المذنبات عند الاقتراب منها، والعودة بعينات منها مثل ما حدث عند دراسة مذنب هالى.
- مركبتي مارينر 2 و 5 حلقتا بالقرب من كوكب الزهرة.
- المركبات مارينر 4 و 6 و 7 حلقت بالقرب من كوكب المريخ.
- مركبة بايونير 10 و 11 حلقت بالقرب من كوكبي المشتري وزحل.
- مركبة الأفاق الجديدة New Horizons حلقت بالقرب من كوكب بلوتو وحزام كيبر.



الشكل (6-1) المركبة الفضائية فويجيير[21].

[21] http://en.wikipedia.org/ wiki/Voyager_1

2-6- مركبات فضائية مدارية :

مركبات فضائية صممت لتسافر إلي كواكب بعيدة لتتخذ مدار حولها، ويجب أن تزود هذه المركبات بمحركات لإبطاء حركة المركبة في الوقت المناسب عند دخولها في مدارها حول الكوكب. يجب أن تصمم هذه المركبات لتتمكن من التغلب علي مشاكل دخولها في ظل الكوكب حيث تختفي أشعة الشمس التي تمد المركبة بالطاقة الكهربائية. كذلك تعرضها لإختلاف كبير في درجة الحرارة. كما أنها لن تواجه الأرض عند استتارها خلف الكوكب مما يسبب قطع الإتصال بين المركبة والأرض أثناء فترة الإستتار. والمركبات التي تدور حول الكواكب تنفذ المرحلة الثانية من استكشاف الكواكب بعد ما أتمت المركبات التي اقتربت منها المرحلة الأولى فقط.

أمثلة لهذه المركبات هي :

- مركبة جاليليو التي دخلت في مدار حول المشتري في 1995م لتجري دراسة ناجحة جدا لنظام المشترى الشكل (6-2).
- مركبة ماسينجر أرسلت لتدور حول كوكب عطارد.
- مركبة مارينر 9 ومركبة ماسح المريخ Mars Global Surveyor ومركبة رحلة المريخ الطويلة Mars Odyssey و المريخ -1 وراصد المريخ Mars Observer (فقدت هذه المركبة) أرسلت جميعها للدوران حول كوكب المريخ.
- مركبة كاسيني Cassini أرسلت لتدور حول كوكب زحل.
- مركبتي توبكس/ بوسيدون و جاسون للدوران حول الأرض.
- مركبة أوليسيس لتدور حول الشمس في مدار قطبى.
- مركبة ماجلان لتدور حول كوكب الزهرة.
- متتبع أقمار المشتري الثلجية Jupiter Icy Moons Orbiter .

3-6 : مركبات الغلاف الجوي :

مركبات صممت لأداء مهمة قصيرة نسبيا لجمع بيانات حول الغلاف الجوي للكواكب أو الأقمار التي لها غلاف جوى. وهذا النوع من الكواكب لا تحتاج لأنظمة مساعدة كثيرة مثل أنظمة الوقود الفرعية أو أجهزة استقرار أو أجهزة تحكم فرعية كثيرة للمركبة. فهذه المركبات تحتاج إلي الطاقة الكهربائية التي تكون مصدرها بطاريات. كذلك تحتاج أجهزة اتصال للتتبع وإرسال البيانات. والأجهزة العلمية في المركبة تأخذ قياسات مباشرة لتركيب الجو ودرجة الحرارة والضغط والكثافة ومحتويات السحب والبرق.

الشكل (2-6) المركبة الفضائية جاليليو.

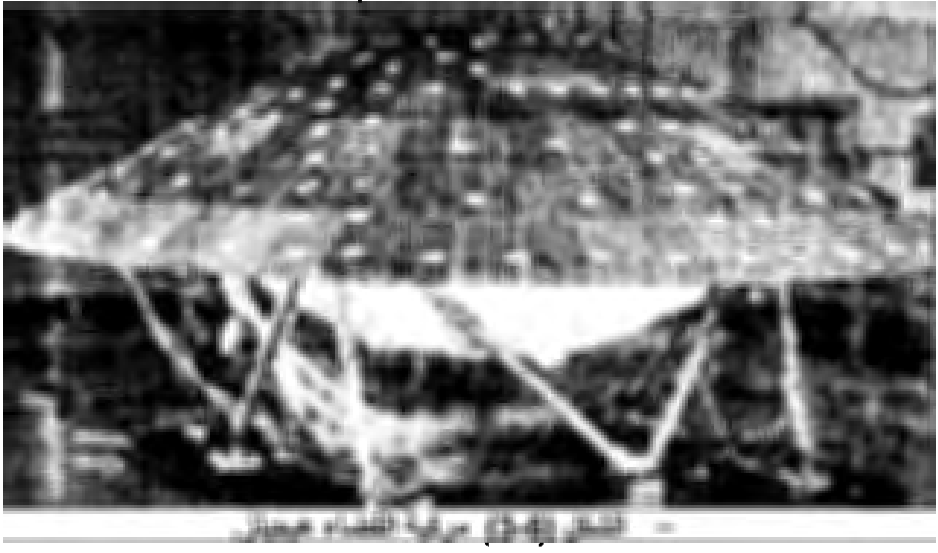
ومركبات الغلاف الجوي تحملها إلي غلاف الكوكب المراد دراسته مركبات أخرى. مثل مركبة جاليليو التي حملت مسبار لدراسة كوكب المشتري عام 1995م. فعندما اقتربت جاليليو من الكوكب كان مسارها يتقاطع مع الكوكب وعلي بعد مناورة لتغيير مناسب أطلق المسبار في غلاف الكوكب ثم قامت المركبة الأم جاليليو بعمل مسارها ليصبح مسارها هو مدار كوكب المشتري حول الشمس. وعند أنطلاق المسبار يكون داخل درع واقي يحميه من درجة حرارة احتكاكها بالغلاف الجوي التي تصل إلي آلاف الدرجات. ثم يفتح هذا الدرع ويخرج منه المسبار وملحق به مظلة تفتح لتخفيف سرعة هبوط المسبار. وأثناء هبوط المسبار داخل الغلاف الجوي للكوكب تبدأ أجهزته العلمية بقياس عناصر الغلاف الجوي باستخدام طاقة البطاريات الكهربية وارسال هذه البيانات إلي المركبة الأم جاليليو التي تدور حول الكوكب التي ترسل بدورها هذه البيانات إلي

الأرض. وحملت المركبة بايونير 13 إلي كوكب الزهرة أربعة مسابر لدراسة غلافه الجوي والتي أرسلت بياناتها مباشرة إلى الأرض أثناء هبوطها في غلاف الزهرة عام 1978م.

وهناك مجموعة بالونات تعتبر كمسبار للغلاف الجوي والتي صممت لتتمدد بعد دخولها الغلاف الجوي بعد أن تملاء بالغاز لتحلق في الجو وتتحرك بتأثير الرياح. ورحلات مركبتي فيجا 1 و 2 السوفيتيتان إلي مذنب هالي عام 1986م، أنزلتا أثناء رحلتيهما للمذنب بالونات في الغلاف الجوي لكوكب الزهرة أثناء مرورها بالقرب منه. كذلك أنزلت مركبة فيجا إلي كوكب الزهرة مركبة هبطت علي سطح الكوكب Venus Landers.

أمثلة لمركبات دراسة الغلاف الجوي :

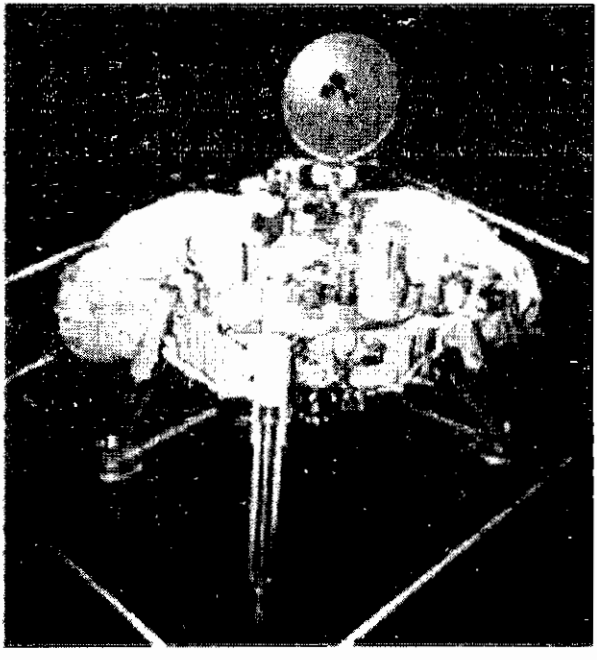
- مركبة هيجينز Huygens الشكل (3-6) حملتها المركبة كاسيني إلي قمر زحل تيتان.
- مسبار جاليليو.
- بالون المريخ Mars Balloon.
- منطاد تيتان Titan "Aerover" Blump.
- بالون الزهرة التي انزلتها فيجا 1 و 2.
- مركبة المريخ المتطورة JPL planetary Aerovehicles.
- بايونير 13 لكوكب الزهرة Pioneer 13 Venus Multiprobe mission.



4-6: مركبات فضائية تهبط علي الكواكب :

هذا النوع من المركبات صمم ليهبط علي الكواكب وتعمل لفترة طويلة لأخذ عينات من سطح الكوكب وتحليلها وإرسال النتائج إلي الأرض. ومن أمثلة هذه المركبات المركبة السوفيتية فينيرا Soviet Venera Lander التي عملت في ظل الظروف القاسية علي سطح كوكب الزهرة. حيث أجرت تحليلات كيميائية لصخور كوكب الزهرة وأرسلت صور ملونة عن سطح الكوكب.

مركبات فايكنج JPL's Viking Landers التي هبطت علي سطح كوكب المريخ الشكل (6-4)، وسلسلة مركبات سيرفوبير Surveyor Lander التي هبطت علي سطح القمر. ومشروع باثفايندر المريخ Mars pathfinder التي هبطت علي سطح المريخ عام 1997م، والتي تعتبر أول سلسلة من هذه المركبات هبطت علي سطح المريخ لدراسة غلافه الجوي وتربته وباطنه. ولقد أنزلت الباثفايندر علي المريخ سيارة Rover تتجول علي سطحه تسمي سوجورنير Sojourner الشكل (6-6).



الشكل
(4-6)
مركبة هبطت علي المريخ من مركبة الفضاء فايكنج[22]. Viking Mars Landers.

---

22 http://www.nasm.si.edu/exhibitions/ GAL100/viking.html

5-6 : مركبات فضائية مخترقة :

صممت هذه المركبات لتخترق سطح كوكب أو مذنب وتجري قياسات لمحتوياته الداخلية وترسل النتائج إلي الأرض الشكل (6-5). وترسل بيانات المركبة المخترقة إلي المركبة الأم التي أنزلتها للكوكب والتي تأخذ مدار لها حول الكوكب وتقوم هذه المركبة بدورها ببث البيانات إلي الأرض.

أمثلة علي هذا النوع من المركبات:

- توأم مركبة الفضاء البعيد Twin Deep Space-2 Penetrators 2- التي أرسلت إلي المريخ بواسطة مركبة المريخ القطبية لاندر Mars Polar Lander حيث أخترقت تربة المريخ في 3 ديسمبر 1999م.
- مركبة لإختراق المذنبات Deep Impact Mission.
- مركبة لقمر المشتري أوربا الثلجي Ice Pick Mission.
- مركبة للقمر Lunar-A Mission.

6-6 : مركبة المتجـول الفضائي :

مركبة فضائية تتجول علي سطح الكوكب أو القمر تعمل بالطاقة الكهربائية. صممت كجزء من مشروع استكشاف كوكب المريخ. وشمل المشروع نظام متجول صغير وناجح سمي سوجورنير الشكل (6-6). متجول المريخ طوره الروس ومهمته أخذ صور وتحليل تربة الكوكب وأرسال النتائج للأرض.

الشكل
(5-6)
مركبة الفضاء المخترقة.

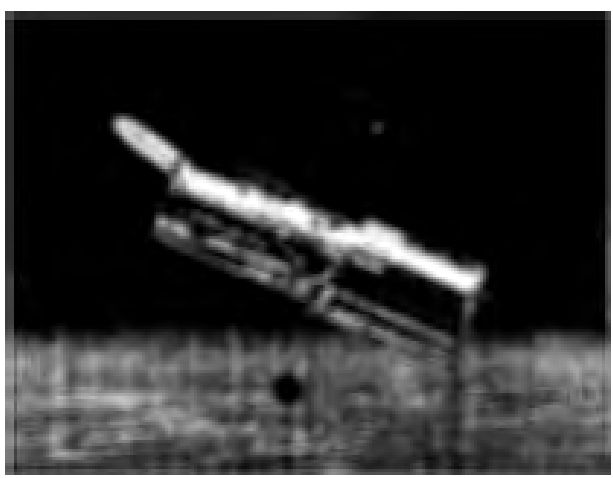
7-6 : مركبة المرصد الفضائي :

مركبة فضائية تحمل منظار فضائي لاتنتقل إلي أماكن بعيدة في الفضاء لإستكشافها ولكن تدور في مدار حول الأرض أو حول الشمس حيث تستطيع رصد الأجسام السماوية البعيدة. وتتميز هذه المراصد بأنها تكون بعيدة عن تأثير الغلاف الجوي للأرض الذي يعوق رؤية الأجسام الخافتة لما يحدث من امتصاص وتشتت للضوء وكذلك عدم نفاذيته لبعض الأطوال الموجية الهامة.

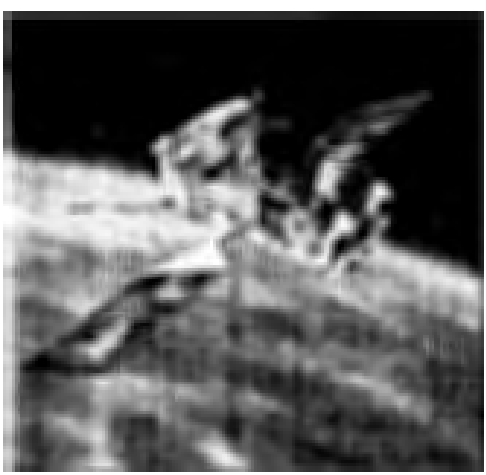
ومراصد برنامج ناسا تدرس الكون في أطوال موجية متنوعة تقع بين الموجات تحت الحمراء إلي أشعة جاما. وبرنامج ناسا يحتوي علي أربعة مراصد فضائية هي : منظار هابل HST الشكل (6-7) ومنظار أشعة جاما GRO الشكل (6-8) ومنظار شاندرا للأشعة السينية CXO الشكل (6-9) ومنظار الأشعة تحت الحمراء SIRTF والذي يسمي سبيتزر Spitzer الشكل (6-10).

الشكل
(6-6)
المركبة المتجولة سوجورنير.

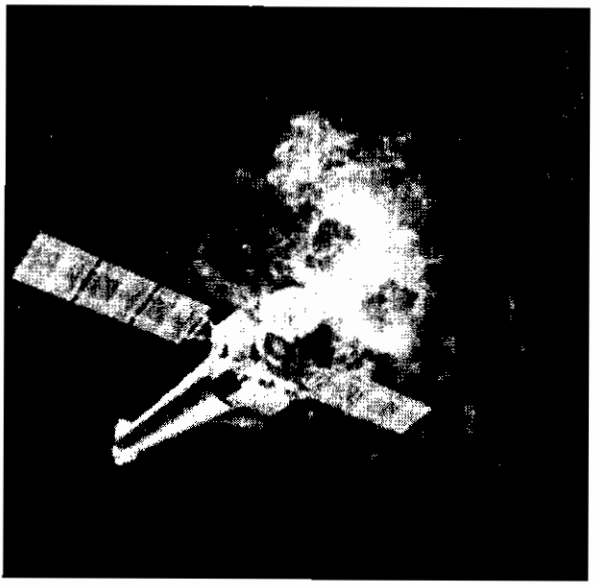
منظار هابل لايزال في الخدمة.أما منظار أشعة جاما فقد أنهي مهمته وخرج من مداره في يونيو 2000 م. ولقد أطلق منظار الأشعة السينية في يوليو 1999م ويواصل العمل حتي الآن. كذلك منظارالأشعة تحت الحمراء لايزال يؤدي مهامة



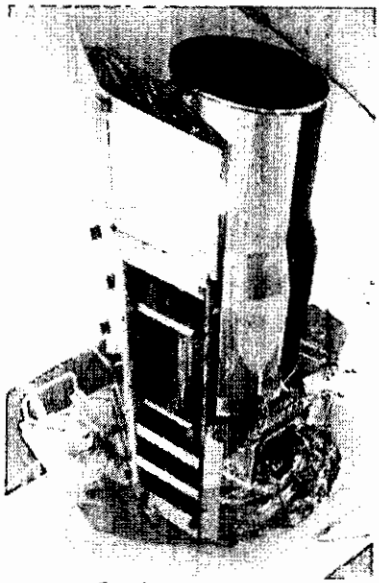
الشكل(6-7) منظار هابل الفضائى.



الشكل(6-8)منظار أشعة جاما.



الشكل(6-9) منظار شاندرا للأشعة السينية.



الشكل(6-10)منظار الأشعة تحت الحمراء سبيتزر[23].

منذ أطلاقه في يناير 2003م. ومن المنتظر أطلاق المزيد من المراصد الفضائية خلال العقود القادمة لإستغلال المميزات الهائلة للرصد خارج الغلاف الجوى.

6-8 : مركبات الملاحة الفضائية والاتصالات :

توجد مركبات الملاحة والاتصالات بكثرة في مدارات حول الأرض. وتستعمل شبكة الفضاء البعيد للاتصالات الأرضية The Deep Space Network's Ground Communication مركبات الاتصالات الفضائية التي تدور حول الأرض لنقل البيانات بين مواقعها المختلفة في أسبانيا وأستراليا وكاليفورنيا ومعمل الدفع النفاث JPL (Jet Propulsion Laboratory). وتستخدم شبكة الفضاء البعيد نظام مركبات تحديد المواقع العالمي للملاحة Global Positioning System (GPS) الشكل (6-11) لتحديد المواقع بدقة والحفاظ علي أشارة الوقت بدقة في كافة أنحاء الشبكة علي الكرة الأرضية.

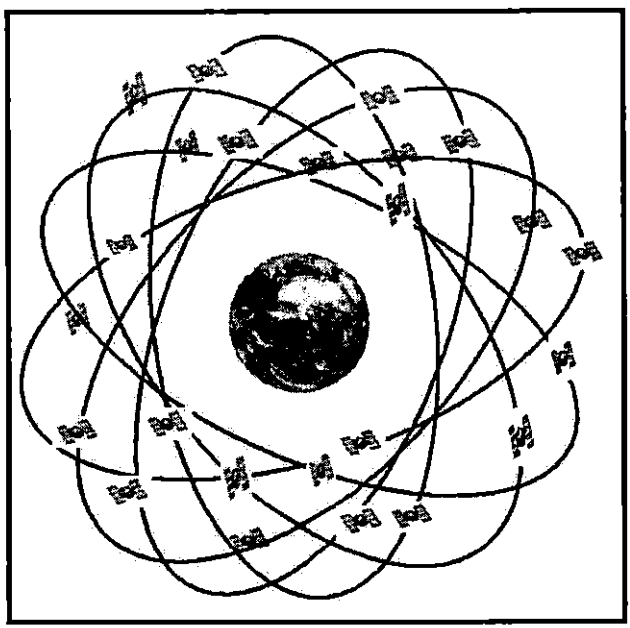
---

[23] صور المناظير الفضائية من موقع:

http://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Space_Telescope
http://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Space_Telescope

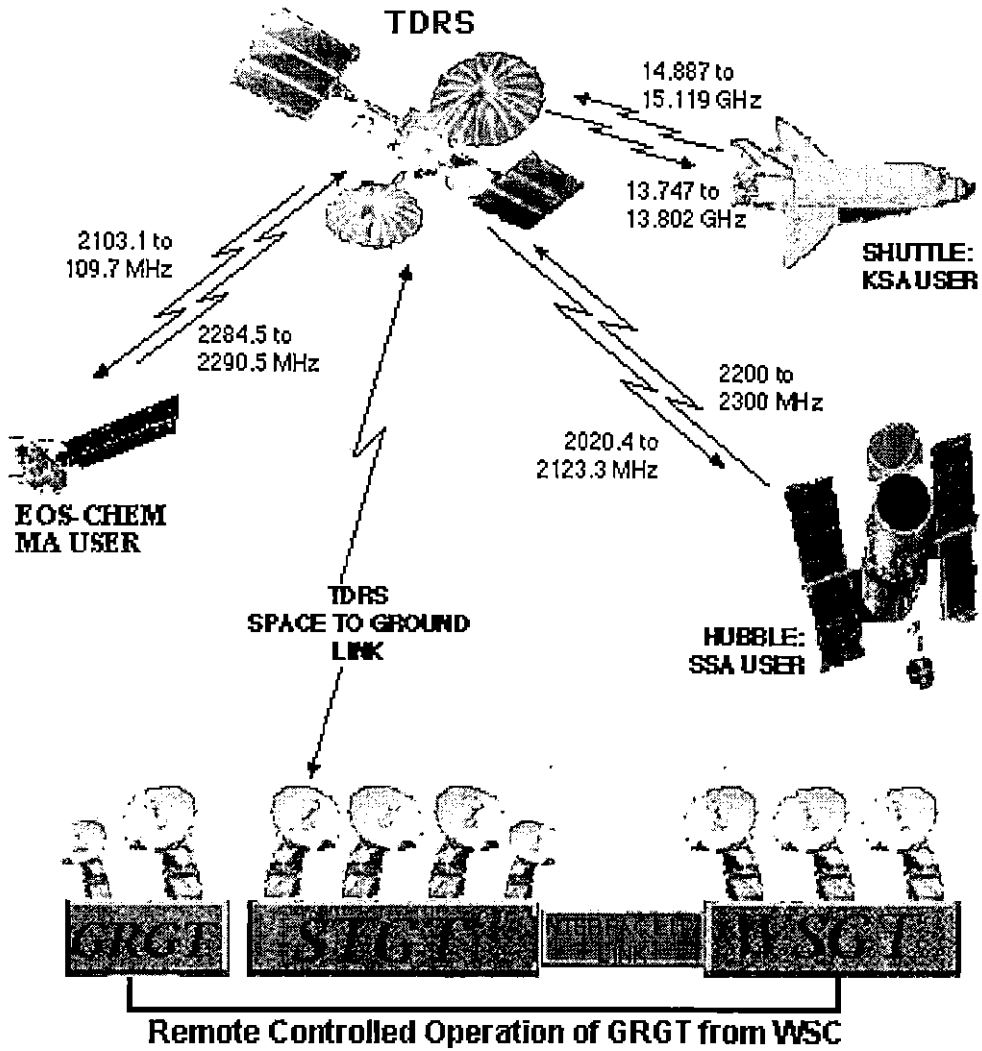
ستنتشر مركبات الملاحة والاتصالات في المستقبل حول كوكب المريخ والزهرة أو كواكب أخري للاتصال بالمركبات الأخري التي تدور حول الكواكب والمركبات المتجولة علي أسطح الكواكب أو المركبات المخترقة أو مركبات الغلاف الجوى.

ومثال لمركبات الملاحة والاتصالات أنظمة تتبع وأرسال البيانات NASA's Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS). ويوضح الشكل (6-12) رحلات ناسا المدعومة بنظام منظار هابل، المكوك الفضائى، GRO، Landsat، Topex، EUVE، ومحطة الفضاء الدولية.



الشكل (6-11)
مجموعة أقمار الملاحة والاتصالات [24] GPS.

[24] http://www.fc.up.pt/lic__eg/ jpg_imagens/gps-const



الشكل (12-6) نظام الملاحة والاتصالات TDRSS[25].

[25] http://msp.gsfc.nasa.gov/tdrss/oview.html

الفصل السابع
صـواريخ الاطــلاق

7-1 : القوى المؤثرة على الصاروخ

7-2 : قوة دفع الصاروخ

7-3 : وزن الصـاروخ

7-4 : قوى الهواء الديناميكية

7-5 : الحركة الرئيسية للصاروخ

7-6 : دوران

7-6-1 : محـاور الجسم

7-6-2 : اسـتقـرار الصــاروخ

7-7 : أمثلة على التحكم فى الصاروخ

صـواريخ الاطــلاق[26]
Rockets

1-7 : القوى المؤثرة على الصاروخ :

إن دراسة حركة الصواريخ هى أفضل طريقة لكى نتعرف على القوى الأساسية المؤثرة على الأجسام واستجابة تلك الاجسام لها. إن دراسة حركة الأجسام تحت تأثير تلك القوى بدأ منذ 300 عام مضت بواسطة العالم السير اسحق نيوتن، عندما وضع قوانين الحركة الثلاثة.

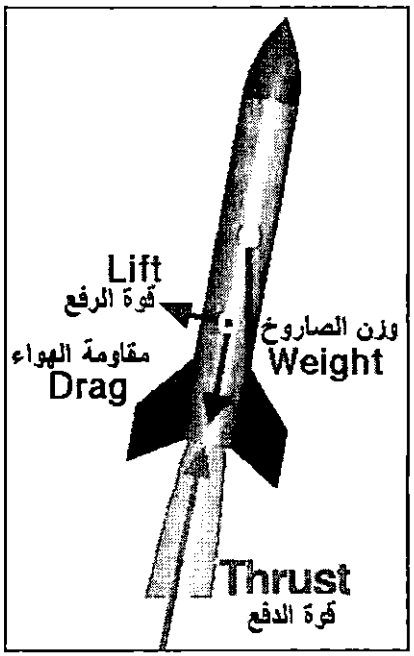
القوة هى كمية متجهة لها مقدار واتجاه. وعند وصف تأثير قوة، يجب حساب مقدارها واتجاهها. فعند الطيران يتعرض الصاروخ لأربعة قوى هى وزن الصاروخ وقوة الدفع التى تسيره thrust وقوة الهواء الديناميكية aerodynamic وهى التى تولد قوة الرفع lift وقوة مقاومة الهواء drag الشكل (7-1).

إن مقدار وزن الصاروخ يعتمد على كتلة جميع أجزاء الصاروخ. تتجه قوة الوزن دائما إلى مركز الكرة الأرضية وتؤثر عند مركز ثقل الصاروخ center of gravity (الدائرة البيضاء في الشكل (7-1)). إن مقدار الدفع للصاروخ يعتمد

على معدل تدفق واستهلاك الوقود فى محرك الصاروخ وعلى سرعة وضغط غاز العادم عند فوهة خروج العادم. إن قوة الدفع تؤثر عادة على طول المحور الطولى للصاروخ ولهذا تؤثر أيضا على مركز ثقل الصاروخ. وفى بعض الصواريخ تتحرك فوهة العادم على جانبي محور الصاروخ، بحيث لا تمر القوة بمركز الثقل. والعزم الناتج من ذلك يدير الصاروخ حول مركز الثقل، لذلك يستخدم هذا العزم في عمل مناورات للصاروخ لتغيير اتجاهه. إن مقدار قوى الهواء الديناميكية تعتمد على شكل وحجم وسرعة الصاروخ وعلى خواص الغلاف الجوى، وتؤثر على مركز الضغط (CP)الذي توضحه الدائرة البيضاء ذات المركز الأسود على جسم الصاروخ.

---

[26] هذا الباب من موقع : http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/shortr.html



الشكل
(1-7)
القوى المؤثرة على الصاروخ.

وعلى الرغم من أن القوى الأربعة المؤثرة على الصاروخ هى نفسها التى تؤثر على الطائرة إلا إن هناك اختلافات مهمة فى تطبيق هذه القوى. وأثناء طيران الصاروخ يكون مقدار واتجاه القوى الأربع ثابت التغير. وتعتمد استجابة الصاروخ لهذه القوى على مقدار واتجاه هذه القوى النسبى.

1- تكون قوة الرفع على الطائرة متعامدة على اتجاه الطيران، وتستخدم هذه القوة للتغلب على الوزن. وفى الصاروخ تستخدم قوة الدفع فى اتجاه مضاد للوزن، وتستخدم قوة الرفع لإستقرار الصاروخ والتحكم فى اتجاه طيرانه.
2- تنتج أغلب قوى الهواء الديناميكية على سطح الطائرة من الأجنحة وسطح وذيل الطائرة. وفى الصاروخ تنتج هذه القوى من الزعانف fins ومقدمة الصاروخ المخروطية nose cone وأنبوبة جسم الصاروخ. وتؤثر هذه القوى على مركز الضغط لكلا من الطائرة والصاروخ، بينما تؤثر قوة الوزن على مركز الثقل.
3- الطائرات لها قوة رفع عالية بالنسبة لقوة مقاومة الهواء، بينما الصاروخ تكون مقاومة الهواء له أعلى من قوة الرفع.
4- بينما يكون مقدار واتجاه القوى للطائرات ثابت، يكون المقدار والاتجاه للصاروخ متغيرا بطريقة سريعة أثناء الطيران.

2-7 : قوة دفع الصاروخ Rocket thrust :

الدفع هو القوة التى تدفع الصاروخ إلى أعلى فى الغلاف الجوى. ينتج الدفع من نظام الأحتراق فى الصاروخ، تبعا لقانون نيوتن الثالث الذى ينص على أن لكل فعل رد فعل مساو له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه. ونظام الاحتراق فى الصاروخ يعمل إما بالغاز أو بالسوائل.

إن اتجاه الدفع يكون غالبا فى اتجاه المحور الطولى للصاروخ مارا بمركز الثقل. لكن فى بعض الصواريخ تكون فتحة العادم متحركة gimbaled أى تميل عند الحاجة على المحور الطولى مما يجعل اتجاه الدفع يميل على المحور الطولى. ويتمكن الصاروخ من عمل مناورات (تغيير اتجاهه) باستخدام عزم الدوران حول مركز الثقل. ويمكن تحديد مقدار الدفع بمعادلة عامة للدفع. يعتمد مقدار الدفع على معدل تدفق كتلة العادم الناتج من احتراق الوقود عند اشعال المحرك، بالتالى يعتمد على كتلة الوقود المستهلك، وعلى ضغطه وسرعة خروج الغاز من فوهة العادم. وكفاءة نظام الاحتراق propulsion system يتميز بمقدار الدفع النوعى للمحرك specific impulse وهو نسبة كمية الدفع الناتج إلى كتلة انسياب الوقود.

إن محرك الصاروخ ينتج الدفع المطلوب عن طريق تسريع accelerating الغازات الخارجة من فوهة العادم. إن أغلب الصواريخ تستخدم محركات كيميائية chemical rocket engine، وهى محركات تستخدم احتراق الوقود لإنتاج الغازات المندفعة من الصاروخ. إن درجة الحرارة العالية والضغط الناتجين من الاحتراق تساعد على تسريع الغازات المندفعة من فوهة العادم مما يدفع الصاروخ إلى أعلى.

يوجد جزئان هامان فى المحرك الكيميائى للصاروخ، فوهة العادم nozzle، والوقود propellant. إن تصميم فتحة العادم تحدد معدل تدفق كتلة العادم، سرعة العادم، الضغط ودرجة الحرارة عند فوهة الخروج. إن الضغط ودرجة الحرارة تحددها الخواص الكيميائية للوقود. ويتكون الوقود propellant من مادة قابلة للأشتعال fuel ومادة تساعد على الاشتعال (مادة مؤكسدة) oxidizer أو مصدر للأكسجين. وتحت ظروف درجات الحرارة العادية لايشتعل مزيج الوقود والمؤكسد ولكن يحتاج لمصدر حرارة أو جهاز اشعال igniter ليبدأ الاشتعال.

يوجد نوعان اساسيان من محركات الصواريخ الكيميائية، وهما صواريخ تستخدم وقود سائل liquid rocket وصواريخ تستخدم وقود صلب solid rocket. يخزن الوقود السائل فى النوع الأول والمؤكسد فى خزانات منفصلة، ثم يتم ضخهما إلى غرفة الاحتراق حيث يتم مزجهما واحداث شرارة ليتم الاحتراق. وفى النوع الثانى الذى

يستخدم الوقود الصلب يكون الوقود والمؤكسد ممتزجان مع بعضهما البعض ومعبأة فى اسطوانات. ويتم اشعال الوقود عند السطح ويمتد الاحتراق بعد ذلك لباقى الوقود. ومع اشعال الوقود الصلب يستمر الاشتعال حتى ينتهى الوقود بالكامل ولا نستطيع إيقاف الاحتراق بعد اشعاله. بينما فى الوقود السائل يمكن وقف الاحتراق فى أى لحظة وبالتالى وقف دفع العادم من فوهة الصاروخ وذلك بإيقاف المضخات التى تضخ الوقود والمؤكسد إلى غرفة الاحتراق. الصواريخ التى تستخدم الوقود السائل تكون أكثر وزنا وتعقيدا لإنها تحتوى على مضخات لضخ الوقود والمؤكسد وكذلك على أسطوانات أضافية لفصل الوقود عن المؤكسد. ويتم تحميل اسطوانات الوقود والمؤكسد فى الصاروخ قبل بداية اطلاق الصاروخ مباشرة. بينما يتم تحميل خليط الوقود الصلب والمؤكسد فى الصاروخ قبل الاطلاق بشهور أو سنوات.

الأنواع الحديثة من الصواريخ تستخدم المحركات الكهربائية التى تسمى بالمحركات الأيونية ion engine. ووقود هذه المحركات أعداد هائلة جدا وصغيرة جدا من الجسيمات المشحونة التى تسمى بالأيونات ions. ويتم تسريع هذه الجسيمات بالقوى الكهروستاتيكية electrostatic forces. وتنتج هذه المحركات قوة دفع صغيرة جدا، ولكنها تستطيع الإستمرار لفترات زمنية طويلة، لأن معدل تدفق الجسيمات صغير جدا. والمحركات الأيونية لها دفع نوعى عالى مقارنة بالمحركات الكيميائية.

هناك نوع آخر من المحركات يسمى بالمحركات النووية الحرارية nuclear thermal. ويزود هذا النوع بمفاعل نووى صغير يكون مصدر مستمر للحرارة التى تستخدم لتسريع أى نوع من الغازات. حيث يسخن عند مروره على أو خلال المفاعل ليخرج من فوهة العادم بسرعة وضغط كبيرين. ودرجة حرارة العادم وسرعة الخروج تكون فى هذا النوع من المحركات أكبر بكثير من المحركات الكيميائية. كذلك للمحركات النووية دفع نوعى كبير جدا.

3-7 : وزن الصاروخ :

الوزن هو القوة الناتجة من قوة جذب الأرض للصاروخ. ونحن نعلم عن قوة الوزن أكثر مما نعلمه عن أى قوة أخرى تؤثر على الصاروخ، لأن كل واحد منا له وزنه الذى يمكن قياسه كل صباح بميزان الحمام فى المنزل. ونحن نشعر بالجسم الثقيل والجسم الخفيف. ولكن قوة الجذب التى تؤثر على الصاروخ تختلف عن أى قوة أخرى أثناء الطيران. فقوة الهواء الديناميكية (مقاومة الهواء والرفع) وقوة دفع الصاروخ تعتبر قوى ميكانيكية mechanical force. والصاروخ يكون فى حالة اتصال دائم مع الغازات التى تولد هذه القوى. أما قوة الجذب فهى قوة مجال field force والصاروخ لا

يستطيع أن يكون على اتصال مع مصدر هذه القوة. حيث أن هذه القوة موجودة فى وجود الصاروخ وفى عدم وجوده.

قوة الجذب درسها أسحق نيوتن منذ ثلاثمائة عام، ووجد أنها تعتمد على كتلة الجسمين الذى يتم التجاذب بينهما وعلى معكوس مربع المسافة بينهما. والأجسام الأكبر كتلة لها قوة جذب أكبر، والأجسام الأبعد مسافة من بعضها لها قوة جذب أقل.
ووزن أى جسم هو قوة الجاذبية وهى كتلة الجسم مضروبا فى عجلة الجاذبية الأرضية. وعجلة الجاذبية للأرض g_e هو حاصل ضرب ثابت الجذب العام فى كتلة الأرض مقسوما على مربع نصف قطر الأرض وتوضحه المعادلة التالية :

$$g_e=G\,M_{earth}\,/D^2_{earth}=9.8\ m/s^2$$

وتقاس العجلة بالمتر على مربع الثانية. ويكون وزن أى جسم على سطح الأرض هو:

$$W= m \times 9.8$$

إن كتلة الجسم لاتتغير من مكان لآخر ، ولكن وزن الجسم هو الذى يتغير لأن عجلة الجاذبية g_e تعتمد على بعد الجسم عن مركز الأرض. دعنا نحسب وزن مكوك الفضاء الذى يدور حول الأرض فى مدار منخفض. فإذا كان وزن مكوك الفضاء على سطح الأرض 250 ألف رطل، ومداره حول الأرض على ارتفاع 200 ميل من سطح الأرض، وبعده عن مركز الأرض 4200 ميل.

حيث أن كتلة الجسم m لاتتغير فإن : $m=W_s/g_e=W_0/g_0$

ومنها نوجد $W_0 =W_s \times g_0/g_e$

ويمكن كتابة نسبة عجلة الجاذبية كالتالى $g_0/ge= (d_{earth})^2/(d_{orbit})^2 =0.907$

حيث W_s وزن المركبة على سطح الأرض (250 رطل)، W_0 وزن المركبة فى المدار، g_0 عجلة الجاذبية فى المدار. لذلك نجد أن وزن المكوك

= .907 x 250000 = 226757 رطل

لاحظ إن وزن المكوك لا يساوى صفرا. ومازالت توجد قوة جذب كبيرة تؤثر على المكوك على بعد 200 ميل. أما ظاهرة انعدام الوزن weightlessness التى يتعرض لها رواد الفضاء على متن المكوك ناتجة من تعادل قوة جذب الأرض للمكوك مع قوة الطرد المركزية نتيجة لسرعة المكوك العالية فى المدار.

حيث أن الوزن يعتمد على كتلة الجسم المجذوب وكتلة الجسم الجاذب ومربع المسافة بينهما، فإن وزن الجسم يتغير أيضا من كوكب لآخر. وعجلة الجاذبية تعتمد

أيضا على كتلة الكوكب ونصف قطره، لذلك نجد أن لكل كوكب فى المجموعة الشمسية عجلة جاذبية خاصة به. فعجلة جاذبية القمر :

$$g_{moon}=G \times M_{moon} / D^2_{moon}=1.61\ m/s^2$$

وعجلة جاذبية المريخ :

$$g_{mars}=G \times M_{mars} / D^2_{mars}=3.68\ m/s^2$$

فكتلة الصاروخ لاتتغير على سطح الأرض أو القمر أو المريخ، ولكن على سطح القمر يكون وزن الصاروخ تقريبا **1/6** وزنه على سطح الأرض، وعلى المريخ يكون وزنه **1/3** وزنه على سطح الأرض. لهذا نجد أن الصاروخ على القمر أو المريخ لا يحتاج لنفس قوة الدفع للانطلاق مثل التى يحتاجها للانطلاق من سطح الأرض. لأن وزن الصاروخ على القمر أو المريخ أقل من وزنه على الأرض.

جميع القوى هى كميات متجهه vector quantity لها مقدار واتجاه. لذلك قوة وزن الصاروخ تتجه دائما ناحية مركز الأرض. يعتمد مقدار هذه القوى على كتلة جميع أجزاء الصاروخ نفسة بالإضافة إلى الحمولة التى ينقلها الصاروخ (القمر الصناعى أو المسبار الذى سيضعه فى مداره). والوزن موزع على طول الصاروخ، لكننا نعتبر أنه مجمع ويعمل عند نقطة واحدة تسمى مركز الثقل *cg*. وأثناء الطيران يدور الصاروخ حول مركز الثقل، ولكن يظل اتجاه الوزن تجاه مركز الثقل.

وأثناء اطلاق الصاروخ فإن الوقود يحترق، لذلك فإن وزن الصاروخ يتغير بمعدل ثابت. لذلك يؤخذ فى معادلات الحركة للصاروخ التغير فى وزن الوقود وبالتالى فى الوزن الكلى للصاروخ. وغالبا يتكون الصاروخ من مراحل متعددة تنفصل أثناء الطيران بعد أن ينتهى وقودها ليبدأ اشعال وقود المرحلة التالية.

4-7 : قوى الهواء الديناميكية على الصاروخ :

تتولد قوى الهواء الديناميكية على الصاروخ عند طيرانه فى الهواء. ومقدار هذه القوى يعتمد على شكل الصاروخ، حجمه، سرعته وبعض خواص طبقة الهواء التى يطير خلالها. وتنقسم القوى الديناميكية إلى مركبتين: قوة مقاومة الهواء drag ويكون اتجاهها عكس اتجاه الحركة، وقوة رفع lift تعمل فى اتجاه عمودى على اتجاه حركة الصاروخ. وتؤثر قوتى المقاومة والرفع عند مركز الضغط **cp** وهو موقع متوسط لتأثير قوى الهواء الديناميكية على جسم الصاروخ.

قوى الهواء الديناميكية هى قوى ميكانيكية mechanical forces. وتتولد من مرور الصاروخ بسرعة خلال الهواء أثناء الطيران. أى أن هذه القوى ليس لها وجود على الصاروخ قبل اطلاقه. لأن هذه القوى لاتولد مجال قوة مثل مجال الجاذبية

الأرضية gravitational field أو المجال الكهرومغناطيسى electromagnetic field. لهذا نجد أن خارج الغلاف الجوى تتلاشى قوى الرفع ومقاومة الهواء. لآن قوى الهواء الديناميكية تتولد من الفرق فى السرعة بين الصاروخ والهواء. واذا لم توجد حركة نسبية بين الجسم والهواء لاتوجد قوى ديناميكية.

يستفاد من تأثير قوى الهواء الديناميكية على كل من الطائرة والصاروخ بطرق مختلفة. فتستفاد الطائرة من قوة الرفع للتغلب على وزن الطائرة، ولكن الصاروخ يستخدم قوى دفع المحركات thrust للتغلب على وزنه. لأن مركز الضغط لاينطبق على مركز الثقل، ويستفاد من قوة الرفع فى الصاروخ فى المحافظة على استقرار الصاروخ أثناء طيرانه والتحكم فى اتجاه الطيران. أغلب الطائرات لها قوة رفع عالية بالنسبة لقوة مقاومة الهواء، بينما تكون قوة مقاومة الهواء للصاروخ أكبر بكثير من قوة الرفع.

يمكننا القول أن قوة مقاومة الهواء هى قوة الأحتكاك واحد مصادر هذه القوة هو الاحتكاك بين جزيئات الهواء والسطح الصلب للصاروخ المتحرك. لهذا يعتمد مقدار الاحتكاك على خواص كلا من الجسم الصلب والهواء. فنعومة سطح الصاروخ وتحدبه يولد قوة احتكاك أقل من الأسطح الخشنة. ويعتمد مقدار الاحتكاك على لزوجة الهواء viscosity، وعلى المقدار النسبى لقوى اللزوجة إلى حركة تدفق الهواء.

تتكون على امتداد سطح الصاروخ طبقة حدية طاقة تدفقها أقل من الطبقات الأبعد عن السطح، ويعتمد مقدار الأحتكاك على حالة هذا التدفق. ويمكننا أن نتخيل مقاومة الهواء على انها مقاومة لحركة الجسم خلال الهواء وتعتمد هذه المقاومة على شكل جسم الصاروخ. تتغير السرعة المحلية والضغط عند تدفق الهواء حول جسم الصاروخ. وحيث أن الضغط مقياس لعزم جزيئات الهواء والتغير فيه ينتج قوة، والتوزيع المتغير فى الضغط سوف ينتج قوة على الجسم.

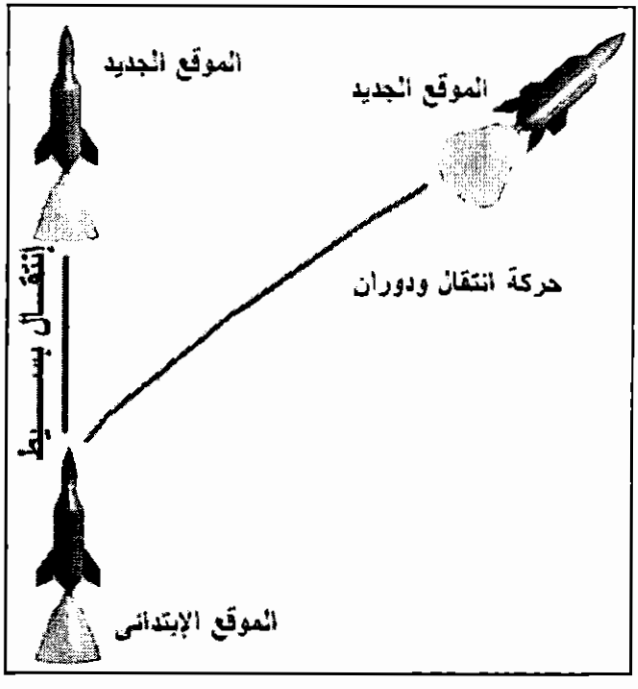
إن قوة الرفع تحدث عندما يتغير اتجاه تدفق الهواء نتيجة تحدب جسم الصاروخ. فإذا حدث تغير لتدفق فى جانب من سطح الصاروخ تحدث قوة الرفع فى الجانب المقابل منه، طبقا لقانون نيوتن الثالث للفعل ورد الفعل. وتحول مقدمة الصاروخ المخروطية وجسمه الأسطوانى والزعانف تدفق الهواء ليصبح مصدر لقوة الرفع إذا كان اتجاه طيران الصاروخ يميل على المحور الطولى له.

5-7 : الحركة الرئيسية للصاروخ :

نحن نعيش فى عالم محدد بثلاثة أبعاد بالإضافة لبعد الزمن الرابع، لذلك يتحرك أى جسم حركتين. الحركة الأولى حركة أنتقالية أى يغير موقعة من نقطة إلى أخرى،

والحركة الثانية حركة دورانية أى يغير هيئته، أى وضع جسمه attitude الشكل (7-2). وعامة تشمل حركة أى صاروخ كلا النوعين من الانتقال والدوران. ويكون الانتقال استجابة مباشرة للقوى الخارجية. أما الدوران يكون استجابة مباشرة للعزم الخارجى أو قوة اللى twisting force.

إن حركة الصاروخ معقدة، لأن دورانه وانتقاله متلازمان، ويؤثر الدوران على مقدار واتجاه القوى التى تؤثر على الانتقال. ولفهم ووصف حركة الصاروخ نحاول تبسيط المشكلة المعقدة لحركة الصاروخ إلى سلسلة من الحركات البسيطة. يمكننا أن نتخيل انتقال الصاروخ كما لو كانت جميع كتل الصاروخ مجمعة عند نقطة واحدة تسمى مركز الثقل. ويمكننا وصف حركة مركز الثقل بقوانين الحركة لنيوتن. وعموما توجد أربعة قوى تؤثر على الصاروخ وهى الوزن والدفع ومقاومة الهواء والرفع.



الشكل (7-2)
حركة الصاروخ الانتقالية والدورانية.

7-6 : دوران الصاروخ :

7-6-1 : محاور الجسم :

يجب أن نتحكم فى وضع جسم الصاروخ واتجاه طيرانه فى الابعاد الثلاثة التى يتحرك فيها. يدور الصاروخ أثناء الطيران حول مركز ثقله. دعنا نحدد نظام احداثيات ذو ثلاثة ابعاد مركزه منطبق على مركز ثقل الصاروخ، يتعامد فيه كل محور على المحورين الآخرين. فيمكننا بذلك تحديد اتجاه ووضع الصاروخ فى الفضاء بمقدار الدوران لإجزاء الصاروخ على طول تلك المحاور.

تكون أغلب الصواريخ متماثلة بالنسبة لخط يمر بطول الصاروخ من قمة مقدمته إلى مركز فوهة العادم الشكل (7-3). ويسمى هذا الخط بمحور الدوران roll axis، والحركة حول هذا المحور تسمى بالحركة الدورانية. وحيث أن الصاروخ متماثل بالنسبة لهذا المحور لذلك أطلق عليه محور التماثل axisymmetric. ويقع مركز ثقل الصاروخ على هذا المحور. ولتحديد المحور الثانى للاحداثيات، يجب أن نميز بعض خواص تصميم الصاروخ مثل موقع الزعانف fin placement ونضع محور الإنعراج yaw axis حيث يكون متعامدا على محور الدوران، ويمر بمركز الثقل. والحركة حول محور الإنعراج ينتج عنها توجيه مقدمة الصاروخ إلى يمين أو يسار محور الدوران. أما محور الميل أو الإنحدار pitch axis فيكون متعامدا على محورى الدوران والإنعراج ويمر بمركز الثقل. وحركة الميل أو الإنحدار توجه مقدمة الصاروخ لإعلى وأسفل محور الدوران. والصاروخ يمكنه عمل مناورات (تغيير وضعه) maneuvers، بعدة طرق. فتولد الزعانف أثناء الطيران قوى هواء ديناميكية، وهذه القوى تؤثر على مركز الضغط للصاروخ الذى يبعد مسافة صغيرة عن مركز ثقله، لذلك يتولد عزم دوران حول المحاور، مما يسبب دوران الصاروخ حول محوره. وأغلب الصواريخ تقوم بالإنحدار أو الإنعراج بواسطة تغيير اتجاه فوهة العادم إلى الاتجاه المطلوب، حيث تكون فوهة العادم قابلة للحركة، (مثال لذلك المحركات الصغيرة المركبة على قوارب الصيد أو القوارب الرياضية، فاذا كان المحرك فى اتجاه الحركة تكون الحركة للأمام دائما، وعند تغير اتجاه المحرَك يمينا ينحرف القارب يمينا، وعند تحريكه يسارا ينحرف القارب يسارا). حيث ينتج عزم حول مركز الثقل عندما يكون اتجاه الدفع مائلا على محور الدوران.

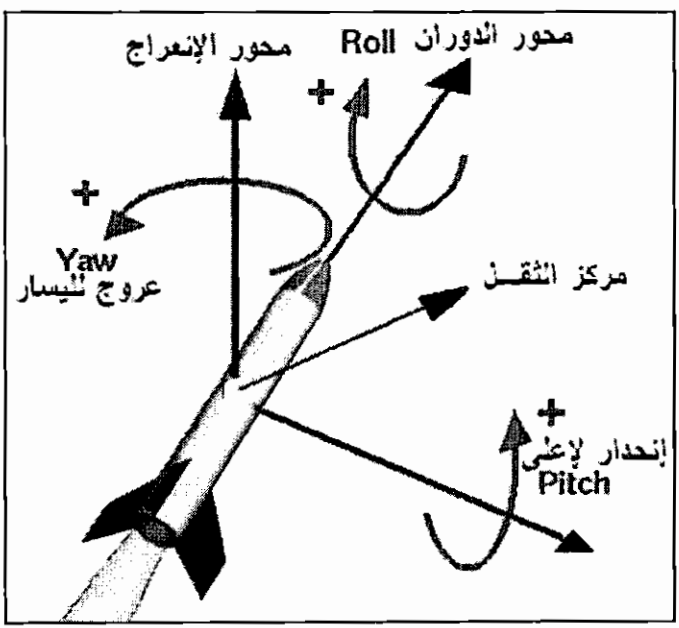
حركة دوران الصاروخ حول محور الدوران تنتج من انحراف المؤخرة المفصلية للزعانف (مثل ما يحدث فى الجزء الخلفى فى جناح الطيارة). حيث يغير انحراف المؤخرة المفصلية للزعنفه تغيير شكل ديناميكا الهواء للزعانف وتنتج قوة رفع تتعامد على اتجاه الطيران. وإذا حدث الإنحراف لجميع الزعانف بنفس المقدار فإن العزم الكلى يكون حول محور الدوران. ويمكن احداث حركة الدوران باستخدام حركة فوهة العادم لتوليد عزم دوران كلى حول محور الدوران.

كذلك تستخدم حركة فوهة العادم لإحداث حركة الإنحدار، وذلك بانحراف فوهة العادم عن محور الدوران فى الاتجاه المطلوب توجيه مقدم الصاروخ إليه. وحيث أن مركز الثقل يقع على محور الدوران فإن متجه الدفع يولد عزم دوران حول مركز الثقل يجعل الصاروخ ينحدر.

يمكن تشبيه هذه المحاور بحركة الطائرة فعندما يغير القائد اتجاه الطيران إلى أعلى فيرفع مقدمة الطائرة لاعلى بذلك فهو يميل بها أو ينحدر لاعلى. وإذا أراد تغير أتجاهه يمينا أو يسارا فهو ينعرج بها يمينا أو يسارا. أما حركة الدوران حول محورها فلا تقوم بها إلا طائرات حربية تقوم باستعراضات رياضية حيث تدور حول محورها عدة مرات.

2-6-7 : استقرار الصاروخ :

عدم استقرار دفع الصاروخ وكذلك الرياح يؤثر على استقرار وضع الصاروخ أثناء الطيران. ومثل أى جسم يدور الصاروخ حول مركز ثقله **cg** وهذا الدوران يجعل محور الصاروخ يميل بزاوية α على اتجاه طيرانه.ويولد هذا الميل قوة رفع بواسطة زعانف الصاروخ بينما تظل مقاومة الهواء ثابتة فى حالة الميل بزاوية صغيرة. وتعمل قوة الرفع ومقاومة الهواء عند مركز ضغط الصاروخ *cp*.



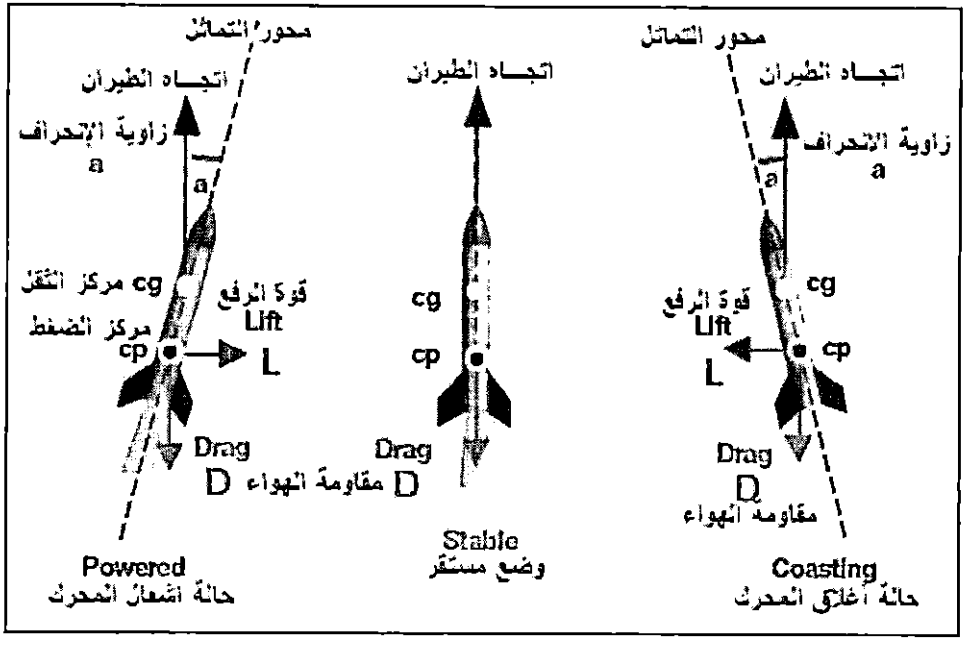
الشكل (7-3)
حركة الصاروخ حول محاوره.

يوضح الشكل (7-4) ثلاثة حالات يكون فيها

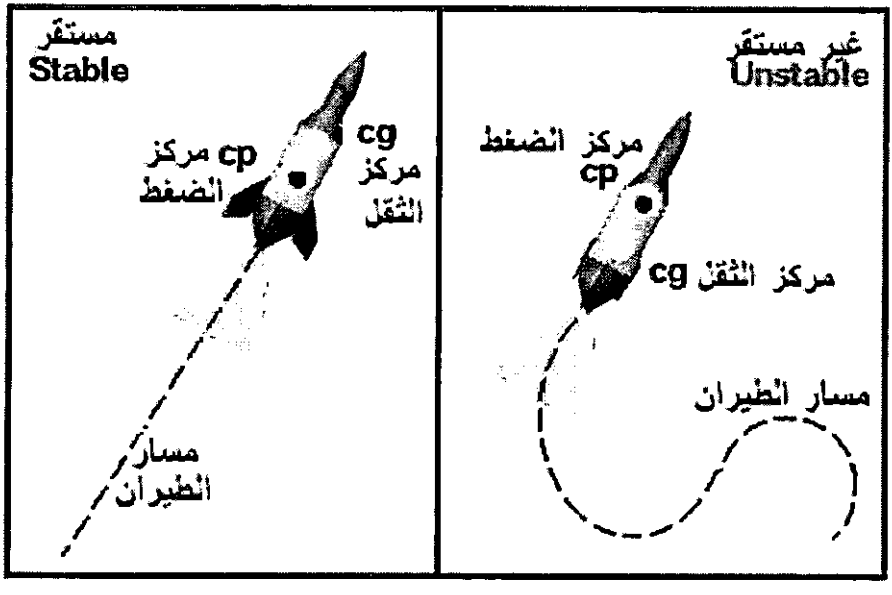
اتجاه الطيران رأسى. فالشكل الأوسط الصاروخ فى وضع مستقر حيث يكون محور تماثله على امتداد اتجاه الطيران. ومقاومة الهواء على طول محور الصاروخ لا تتولد قوة رفع فى هذه الحالة لعدم وجود زاوية ميل بين المحور واتجاه الطيران. ند يسار الشكل الصاروخ فى وضع تشغيل محركاته powered حيث يندفع العادم من الفوهة. نجد أن مقدمة الصاروخ انحرفت ناحية اليمين بزاوية α (α الزاوية المحصورة بين اتجاه محور الصاروخ واتجاه الطيران). ونجد أن قوة الرفع ظهرت فى هذه الحالة فى اتجاه الإنحراف. وفى يمين الشكل نجد أن الصاروخ ومحركاته مغلقة coasting انحرف ناحية اليسار بزاوية α. وتولدت أيضا قوة رفع ناحية اليسار فى اتجاه انحراف محور الصاروخ. ففى حالة تشغيل المحركات نجد أن قوة الرفع ومقاومة الهواء تنتج عزم حول مركز الثقل عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. لذلك نجد أن الذيل ينحرف يمينا تحت تأثير كلا من القوتين، وتنحرف مقدمة الصاروخ يسارا. ففى حالة عدم تشغيل المحركات نجد أن كلا من قوة الرفع ومقاومة الهواء تنتج عزم حول مركز الثقل فى اتجاه حركة عقارب الساعة. لذلك نجد أن الذيل ينحرف يسارا تحت تأثير كلا من القوتين، وتنحرف مقدمة الصاروخ يمينا. وفى كلتا الحالتين نجد أن قوتى الرفع ومقاومة الهواء تحرك مقدمة الصاروخ لتعود إلى اتجاه الطيران. واطلق على هذا قوة الإستعادة restoring force لأن القوى تعيد الصاروخ لوضع الإتزان أو الاستقرار.

قوة الاستعادة تتولد لأن مركز الضغط يكون أسفل مركز الثقل. أما إذا كان مركز الثقل أسفل مركز الضغط، فإن قوة الرفع ومقاومة الهواء ستحتفظ بنفس الاتجاهات ويكون اتجاه العزم معكوس. لذلك تسمى هذه الحالة بقوة عدم الاستقرار **de-stabilizing force**. ويوضح الشكل (7-5) مقارنة بين وضعى الاستقرار وعدم الاستقرار عندما يتغير وضع مركز الثقل بالنسبة لمركز الضغط.

أى انحراف صغير لمقدمة الصاروخ ينتج عنها قوى تسبب زيادة هذا الإنحراف. لذلك فإن استقرار الصاروخ ينتج من وضع مركز الضغط أسفل مركز الثقل. ويمكن زيادة استقرار الصاروخ بخفض مركز الضغط بزيادة مساحة الزعانف، أو رفع مركز القل إلى أعلى بزيادة وزن مقدمة الصاروخ.



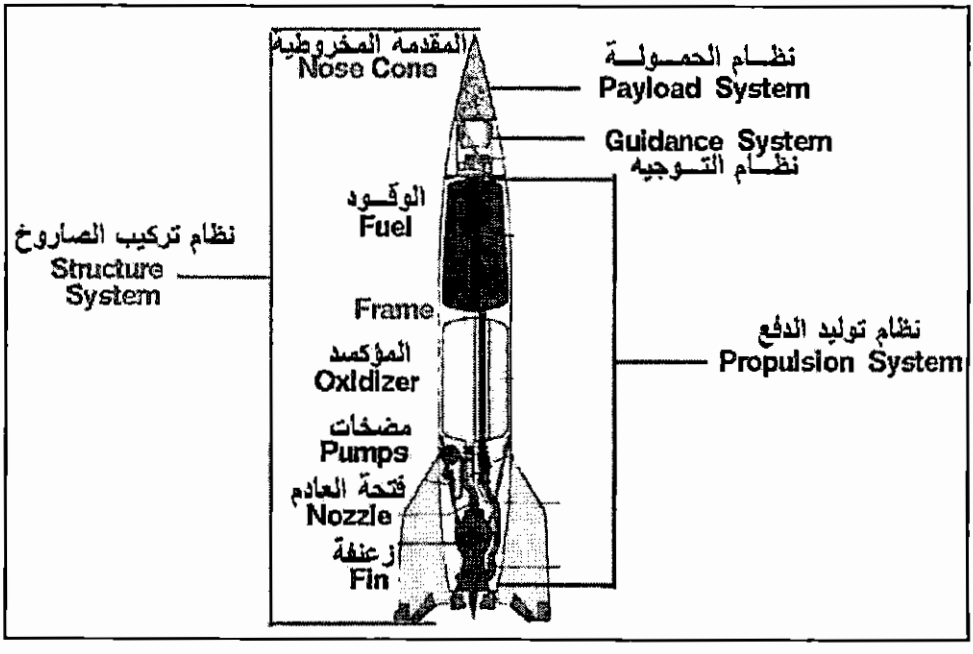
الشكل (7-4) استقرار وعدم استقرار الصاروخ فى أوضاع مختلفة.



الشكل (7-5) مقارنة بين الحركة فى وضعين مختلفين لمركزى الضغط والثقل

7-7 : أمثلة على التحكم فى الصاروخ :

توجد أربعة مكونات اساسية فى الصاروخ يوضحها الشكل (7-6) نظام الهيكل structural system ونظام الحمولةpayload system ونظام التوجيه guidance system ونظام الدفع propulsion system. ونظام التوجيه فى الصاروخ يحتوى على مستشعرات متطرة جدا، وحاسبات آلية، ورادار، وأجهزة اتصال. ونظام التوجيه له دوران أساسيان أثناء اطلاق الصاروخ، هما توفير الإستقرار والتحم فى الصاروخ أثناء المناورات لتغيير اتجاهه.



الشكل (7-6) مكونات الصاروخ الأساسية.

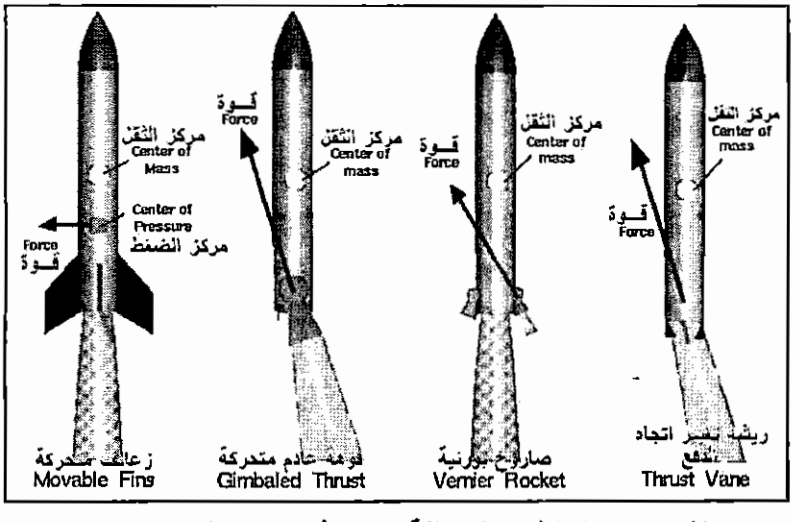
لقد تم تطوير طرق مختلفة للتحكم فى الصاروخ أثناء الطيران. والشكل (7-7) يوضح الطرق الأربعة. فحركة الصاروخ أثناء الطيران تكون مجموع حركة مركز الثقل الانتقالية ودوران الصاروخ حول مركز الثقل، وجميع طرق التحكم تولد عزم دوران حول مركز الثقل الذى يسبب تغيير اتجاه الصاروخ.

فى أنواع الصواريخ السابقة استخدمت الزعانف المتحركة فى نهاية الصاروخ، وهى تتحكم فى مقدار تأثير قوة الهواء الديناميكية على الصاروخ. وفى الشكل (7-7) الإيسر يوضح انحراف الحافة الخلفية للزعنفة المقابلة لنا ناحية اليمين. وينتج من ذلك تحريك مقدمة الصاروخ إلى اليمين.

أغلب الصواريخ الحديثة تستخدم فوهة عادم متحركة فى اتجاهات مختلفة تبعا للإتجاه المراد وبذلك ينتج عزم يستخدم للتحكم الشكل (7-7) الثالث من اليمين. وفى نظام الدفع المتحرك فإن اتجه الدفع يتغير بالنسبة لمركز الثقل. وفى الشكل انحرفت فوهة العادم ناحية اليمين فحركت قوة الدفع الناتجة مقدمة الصاروخ ناحية اليمين أيضا.

فى بعض الصواريخ مثل أطلس، استخدم محركات أضافية صغيرة vernier rockets عند مؤخرة الصاروخ لتوليد عزم يتحكم به فى حركة الصاروخ. وفى الشكل (7-7) الثانى من اليمين يستخدم المحرك الأيمن الصغير لتوجيه مقدمة الصاروخ ناحية اليمين، وبسبب الوقود الإضافى المستخدم لتشغيل تلك المحركات لم تعد تستخدم تلك الطريقة الآن.

فى بعض الصواريخ استخدمت ريش دفع صغيرة thrust vanes عند فوهة العادم لتغير اتجاه خروجه من الفتحة الشكل (7-7) الأيمن. وانحراف خروج العادم فى اتجاه اليمين يولد عزم تجعل مقدمة الصاروخ تنحرف ناحية اليمين أيضا.



الشكل (7-7) الطرق المختلفة للتحكم فى توجيه الصاروخ.

الفصل الثامن

قوة دفع الصواريخ

8-1 : قوة الدفع

8-2 : العزم

8-3 : الإشتعال وسرعة العادم

8-4 : الدفع

8-5 : المحركات وفوهاتها

8-6 : تعدد مراحل الصواريخ

قوة دفع الصواريخ[27]
Rocket Propulsion

ينص قانون اسحاق نيوتن الثالث للحركة علي أن (لكل فعل رد فعل مساو له في المقدار ومضاد له في الاتجاه). وبهذا القانون تعمل الصواريخ. حيث يتجمع الوقود في غرفة الاشتعال Combustion Chamber لتتحد كيميائيا وتنتج غازات ساخنة تزيد سرعتها وتقذف بسرعة عالية جدا من فوهة العادم الضيقة Nozzle. وقوة الدفع لمحرك الصاروخ تنتج من كفاءة التصميم الخاص للمحرك الذي يدفع الغازات بسرعة عالية جدا. وهذه نفس الظاهرة التي نشاهدها عند اندفاع الماء بشدة من من خرطوم مياه الحديقة عندما يكون ملقي علي الأرض فنشاهد حركة الخرطوم تكون عكس اتجاه اندفاع المياه منه. أو مشابهه لإرتداد البندقية أو المدفع للخلف عند إنطلاق القذيفة منه للأمام.

8-1 : قوة الدفع :

الدفع Thrust هو القوة التي تدفع الصاروخ أو المركبة الفضائية وتقاس بالرطل أو الكيلوجرام أو النيوتن، وهي تنتج من الضغط P_c الذي يؤثر علي جدار غرفة الإحتراق. ويوضح الشكل (8-1) غرفة الإحتراق وفوهة العادم التي يخرج منها الغاز. والضغط في غرفة الإحتراق غير متماثل، حيث يتغير الضغط داخل غرفة الإحتراق قليلا، لكن قرب الفوهة يتناقص الضغط إلي حد ما. والقوة الناتجة من ضغط الغاز في الغرفة لا تساوي قوة الضغط P_a خارج الغرفة، وتنتج قوة أو طاقة من الفرق بين الضغط الخارجي والضغط الداخلي. ويندفع الصاروخ في اتجاه مضاد لاتجاه خروج الغاز، ويكون الدفع إلي أعلى.

للحصول على أعلى سرعة للغازات الناتجة من الإحتراق يجب توفر درجة حرارة مرتفعة جدا وضغط مرتفع ينتج من الإحتراق، بإستخدام وقود عالي الطاقة يوفر أقل وزن جزئي ممكن للغازات الناتجة من الإحتراق. ومن الضروري تقليل ضغط الغاز

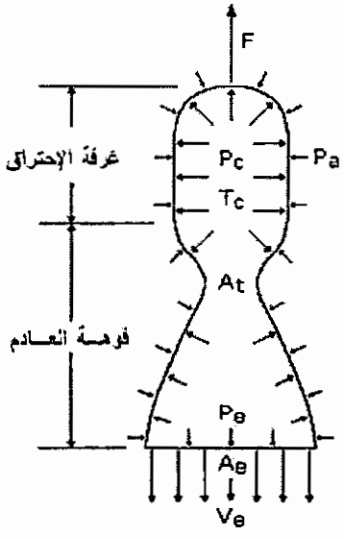
---

[27] هذا الباب من موقع : http://www.braeunig.us/space/propuls.htm

باسرع ما يمكن داخل الفوهة بتصميم نسبة كبيرة لمقطع الفوهة وتعرف نسبة المقطع بنسبة مساحة فوهة الخروج A_e إلي مساحة الفتحة التي بين غرفة الإحتراق وفوهة الخروج A_t وتسمي الحلق. أي يلزم أن تكون A_e أكبر بكثير من A_t .

2-8 : العزم الثابت Conservation Momentum :

عزم الجزىء هو حاصل ضرب الكتلة في السرعة $p= mv$. وقانون نيوتن الثاني للحركة ينص علي أن "القوة المؤثرة علي جسم مساوية لمعدل تغير العزم للجسيم" أى $F = \frac{dP}{dt} = m\,a$. إذا كان لدينا نظام من الجسيمات فإن العزم الكلي



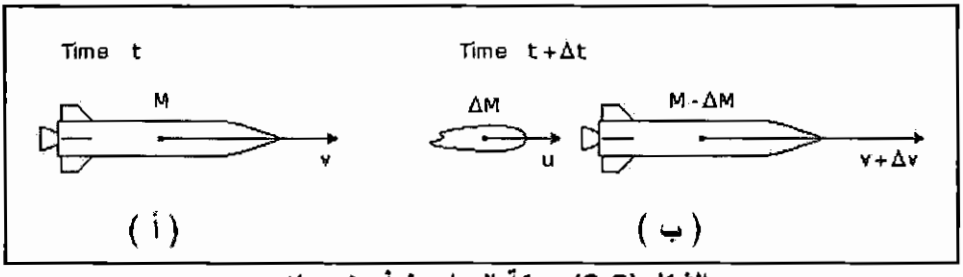
الشكل (1-8) شكل تخطيطي مبسط لمحرك الصاروخ.

لهذا النظام يكون مساويا لمجموع عزم كل جسيم. وإذا لم توجد أي قوة خارجية تؤثر علي النظام فإن العزم الكلي للنظام يظل ثابتا. ويسمي هذا بقاعدة ثبات العزم. دعنا نري كيف نطبق هذه القاعدة علي ميكانيكا الصواريخ.

نتصور صاروخ يتحرك في فضاء خالي من الجاذبية، سيتم اشعال محرك الصاروخ لفترة زمنية مقدارها Δt وأثناء هذه الفترة تندفع الغازات منه بمعدل ثابت وبسرعة ثابتة بالنسبة للصاروخ Exhaust velocity. وبفرض عدم وجود قوي خارجية مثل الجاذبية أو مقاومة الهواء.

يوضح الوضع (أ) في الشكل (2-8) وضع الصاروخ عند الإطلاق عند الزمن T، والكتلة الكلية للصاروخ والوقود M ، تتحرك بسرعة V بالنسبة لنقطة ما

ثابتة. بعد فترة زمنية Δt نجد أن وضع الصاروخ تغير إلي الوضع (ب) في الشكل (8-2) حيث نجد أن الكتلة التي قذفت من الصاروخ علي هيئة وقود ΔM بسرعة U بالنسبة لراصد ما. لذلك نجد أن كتلة الصاروخ أصبحت $M-\Delta M$ وسرعة الصاروخ V أصبحت $V+\Delta V$. ولعدم وجود أي قوي خارجية علي الصاروخ فإن عزم الصاروخ ثابت أي $\frac{dP}{dt}=0$ ، لهذا نجد أن الدفع الذي يكتسبه الصاروخ ناتج عن الكتلة التي فقدها كوقود محترق مندفع بسرعة في الاتجاه الآخر.



الشكل (8-2) حركة الصاروخ في زمن Δt.

3-8 : الإشتعال وسرعة العادم Combustion and exhaust velocity

إن عملية الإحتراق تعني أكسدة مركبات الوقود القابلة للتأكسد. وأثناء الإحتراق تظل كتلة كل عنصر كما هى. فمثلا معادلة التفاعل التالية بين الميثان والأكسجين :

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

تنص علي أن جزىء من الميثان CH_4 تفاعل مع جزئين من الأكسجين $2O_2$ لتكوين جزىء من ثاني أكسيد الكربون CO_2 وجزئين من الماء $2H_2O$. وهذا يعني أيضا أن 16 جرام من الميثان تتفاعل مع 64 جرام من الأكسجين لتكوين 44 جرام من ثاني أكسيد الكربون و 36 جرام من الماء.

والمثال السابق للتفاعل يوضح ضرورة توفير كمية أكسجين كافية للتفاعل الكيميائي مع الوقود بالكامل. وأعلي درجة حراره للهب التفاعل يمكن الوصول إليها تحت ظروف هذا التفاعل.

لذلك يجب اشعال محرك الصاروخ عند توافر نسب مثالية لخليط الوقود. وهذه النسبة تحدد معدل إنسياب كتلة المؤكسد مقسومة علي معدل إنسياب كتلة الوقود. ولو أخذنا تفاعل الكيروسين مع الأكسجين نجد أن:

$$C_{12}H_{26} + 12.5\ O_2 \rightarrow 12\ CO + 13\ H_2O$$

حيث وزن جزئي الكيروسين $C_{12}\ H_{26}$ هو 170 ووزن جزئي الأكسجين O_2 هو 32 لذلك تحصل علي نسبة الخليط المؤكسد إلي الوقود وهي :

$$O/F = (12.5 \times 32) / 170 = 2.35$$

وهي النسبة المثالية للعديد من الصواريخ التي تستخدم الكيروسين. ونبضة الدفع لمحرك الصاروخ تحدد بحاصل ضرب نسبة إنسياب كتلة الوقود مع سرعة العادم المقذوف من الصاروخ.

نجد أن نسبة الحرارة النوعية تعتمد علي تركيب خليط الوقود ودرجة حرارة غازات العادم وتكون هذه النسبة في العادة 1.2. ودرجة حرارة اللهب تتراوح بين 2500 ° إلي 3600° مئوية (C). وضغط غرفة الإحتراق يمكن أن يتراوح بين 7 حتى 250 ضغط جوي. والضغط عند الفوهة P_e يجب أن يساوي الضغط الخارجي المحيط بالمحرك.

وجد أن أعلى ضغط ودرجة حرارة لغرفة الإحتراق وأقل وزن جزئي لغاز العادم المقذوف من الفوهة ينتج أعلى سرعة قذف للغاز، وبالتالي أعلى قوة دفع. واستنادا لهذه المعايير نستنتج لماذا كان الهيدروجين السائل مرغوب فيه جدا كوقود للصواريخ.

يجب أن نشير إلي أن عملية الإحتراق ينتج عنها تفكك الجزئيات. حيث يسبب ارتفاع درجة حرارة الغرفة انفصال الجزئيات إلي أبسط المكونات التي تكون قابلة للإتحاد مرة أخرى. فإذا أخذنا التفاعل بين الكيروسين والأكسجين نجد أن ناتج الإحتراق مزيج متوازن من الذرات والجزئيات التي لها تأثير قوي في رفع درجة حرارة لهب الإشتعال وتتكون من C كربون، CO اول أكسيد الكربون ، CO_2 ثاني أكسيد الكربون ، H ذرة هيدروجين، H_2 جزئ هيدروجين، H_2O ماء ، HO هولميوم، O_2 جزئ أكسجين،O ذرة أكسجين.

4-8 : الدفع النوعي :

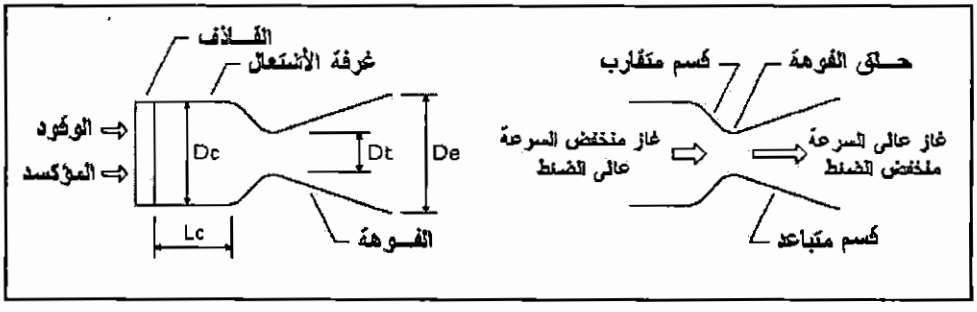
الدفع النوعي Specific Impulse للصاروخ هو نسبة قوة الدفع لمعدل انسياب الكتلة المقذوفة ويعبر عن الدفع النوعي بالثواني. عندما يكون الدفع ومعدل انسياب الوقود ثابت أثناء احتراق الوقود يكون الدفع النوعي للصاروخ هو الفترة الزمنية التي يمد فيها المحرك الصاروخ بقوة دفع مساوية لوزن الوقود المستهلك.

يختلف الدفع النوعي لمحرك معين تبعا للبيئة الموجود فيها الصاروخ أي عندما يكون الصاروخ علي الأرض أو في الفضاء لتغير مقدار الضغط المحيط بالصاروخ من الخارج. لهذا يكون من المهم أن نحدد ان قيمة الدفع النوعي عند مستوى البحر أو في الفضاء.

5-8 : المحركات وفوهاتها Engines and Nozzles :

المحركات المثالية للصواريخ تتكون من غرفة احتراق وفوهة وقاذف أوحاقن كما هو موضح بالشكل (8-3). غرفة الإحتراق يتم فيها حرق الوقود عند ضغط

عالي. يجب أن يكون جدار الغرفة سميك ليتحمل الضغط العالي ودرجة الحرارة الناتجة من الإحتراق. ويجب أن تكون غرفة الإحتراق لها طول مناسب L_c لتوفر احتراق كامل للوقود قبل أن يدخل الغاز فوهة العادم.

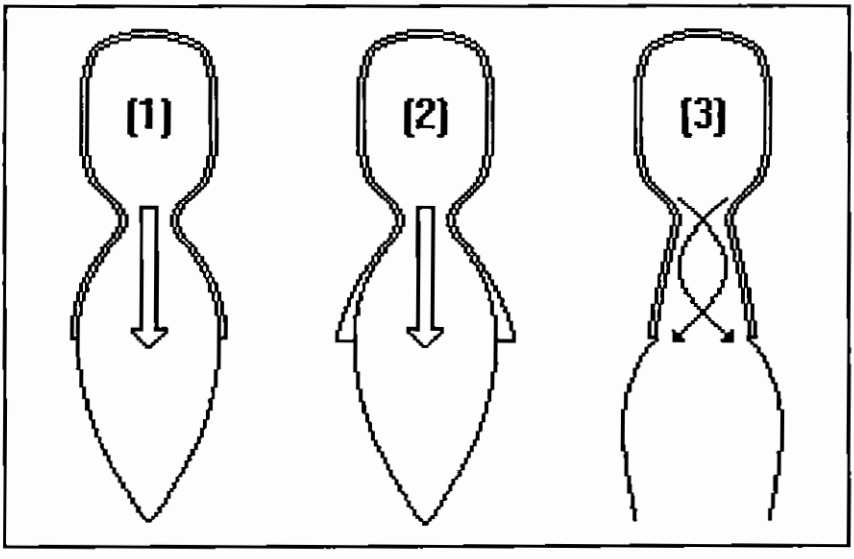


الشكل (8-3) وصف غرفة الإحتراق وفوهة العادم.

ومهمة فوهة العادم تحويل الطاقة الكيميائية الحرارية المتولدة في غرفة الإحتراق إلي طاقة حركة. وفوهة العادم تحول الغاز المتحرك بسرعة منخفضة وضغط شديد ودرجة حرارة عالية في غرفة الإشعال إلي غاز ذو سرعة عالية وضغط ودرجة حرارة منخفضتان. وحيث ان الدفع هو حاصل ضرب الكتلة فى السرعة، فإن المطلوب الحصول علي غاز ذو سرعة عالية. وفوهة العادم تحتوي علي قسمين الأول داخل غرفة الإشتعال متقارب لتقليل مقطع غرفة الإشتعال D_C ليناسب مقطع حلق الفوهة D_t، والقسم الآخر فى فوهة العادم متباعد ليزيد مقطع حلق الفوهة لتصبح مناسبة مع مقطع الفوهة D_e. وأقل مساحة انسياب للغاز تكون بين القسم المتقارب والقسم المتباعد. ويسمي هذا الجزء بزور أو حلق الفوهة. مساحة الأنسياب عند نهاية القسم المتباعد تسمي مساحة مخرج الفوهة. وطول الفوهة يكون عادة طويل بدرجة كافية (أو تكون

مسافة الخروج طويلة جدا) لتقليل ضغط غرفة الإحتراق عند مخرج الفوهة لمقدار الضغط الموجود خارج الفوهة. لتكون P_e مساوية P_a **حيث** P_e الضغط عند مخرج الفوهة، P_a الضغط خارج الفوهة.

لذلك نجد أن تصميم الفوهة يتم تبعا للارتفاع الذي سيعمل فيه الصاروخ (أي تصمم وفقا لقيمة الضغط الذي سيكون حول الصاروخ من الخارج. لهذا يوجد لدينا أنواع مختلفة من المحركات والفوهات أحداها مخصص للمرحلة الأولى من الصاروخ التي تعمل في الغلاف الجوي. وأخرى للمراحل الثانية والثالثة أو التي تتحكم في توجيه المركبة الفضائية في الفضاء. و يوضح الشكل (8-4) ثلاثة أنواع مختلفة من فوهات العادم. وأكثرهم فاعلية الفوهة رقم (1) وهي تحيط بغاز العادم لتسمح للغازات المنطلقة بالتمدد بدرجة كافية لتملأ الفوهة. أما الفوهات التي تسمح للغاز بالتمدد أكثر من اللازم رقم (2) أو أقل من اللازم رقم (3) فهى تبدد الطاقة وقوة الدفع.



الشكل (8-4) الأشكال المختلفة لفوهة العادم.

6-8 : تعدد مراحل الصواريخ Staging :

تسمح الصواريخ متعددة المراحل بزيادة الحمولة التي تطلقها هذه المراحل مثل اطلاق مركبات فضائية أو مسبارات إلي الكواكب. في الصواريخ متعددة المراحل يخزن الوقود في خزانات أصغر ومنفصلة عن الخزان الكبير الواحد الذي تستعمله صواريخ المرحلة الواحدة. حيث ينفصل كل خزان وقود عندما يشتعل وقودة بالكامل حتي لاتستنفذ الطاقة في حمل الخزانات الفارغة عندما نرغب في الحصول علي أعلي سرعة كلية ΔV . ويستغل ذلك في رفع حمولة أكبر كتلة بنفس السرعة الكلية ΔV . والمراحل المختلفة لصاروخ الإطلاق ليست متشابه في الوقود والحجم ولكن تعتمد كل مرحلة علي الحمولة التي ترفعها والسرعة المطلوبة لهذه المرحلة. لهذا نجد أن المرحلة الأولي أكبر حجما ووقودا.

قائمة المـراجـع

- Fernand Verger, Isabelle Sourbes-Verger and Raymond Ghirardi; The Cambridge Encyclopedia of space; Cambridge, University press, 2003.
- Roger R. Bate, Donald D. Muller and Jerry E. White; Fundamental of astrodynamic; New York, Dover Publications Inc.,1971
- http://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Space_Telescopehttp://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Space_Telescope
- http://en.wikipedia.org/wiki/Highly_Elliptical_Orbit
- http://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Space_Telescope
- http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_orbits
- http://en.wikipedia.org/wiki/Low_Earth_Orbit
- http://en.wikipedia.org/wiki/Molniya_orbit
- http://en.wikipedia.org/wiki/Medium_Earth_orbit
- http://en.wikipedia.org/wiki/Parking_orbit
- http://en.wikipedia.org/wiki/Parking_orbitjioujhb
- http://en.wikipedia.org/wiki/Voyager_1
- http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/shortr.html
- http://msp.gsfc.nasa.gov/tdrss/oview.html
- http://www.braeunig.us/space/propuls.htm
- http://www.fc.up.pt/lic_eg/imagens/gps-const.jpg
- http://www.jpl.nasa.gov/basic/bsf-toc.html
- http://www.nasm.si.edu/exhibitions/GAL100/viking.html
- http://www2.jpl.nasa.gov/basics

دليـــــــل الكـــتـــــاب

أ

أبوللو ...24، 153، 161، 287، 293، 294، 295، 296، 297، 298، 301، 303، 306، 308، 309، 310، 313، 315، 493

أجهزة الاستشعار ..... 45، 46

أجهزة الرادار ..... 171، 280

أجينا 160

أحزمة فان آلن ..... 73، 75

آريان ..... 161، 252

استطالة المدار ..... 83، 91، 141

أطلس ..... 228، 250، 350

أقمار الاستشعار ..... 129، 168، 171

أقمار جلوناس 155

أقمار سبوت ..... 277، 280

أقمار صناعية ..... 53، 78، 138، 457

أقمار طبيعية .....33، 502، *See* التحكم البيئ 289

الإتصال ..... 192، 318، 331

الأحزمة الطيفية..... 266، 281

الإستقبال..... 290

الإشعاع...39، 41، 47، 49، 76، 77، 105، 270، 271، 280، 282، 292، 365

الإشعاع الشمسي.....39، 41، 47، 49، 77، 105، 282

الأشعة الحمراء 283

الأشعة السينية..... 41، 74، 201، 425

الأشعة الكونية..... 74، 75

الأشعة تحت الحمراء ..23، 201، 203، 283، 284، 337، 375، 376

الأقمار الطبيعية .....64، 84، 138

الالواح الشمسية ..... 428، 482، 486، 487

الألواح الشمسية . 46، 49، 172، 182، 186، 435، 448، 490

الانقلاب الشتوي.....172

الانقلاب الصيفي .....171، 183

الأوج... 83، 85، 86، 91، 98، 105، 108، 109، 118، 119، 124، 130، 131، 132، 156، 177، 382، 394، 395

الأيونوسفير ... 69، 73، 75، 76، 340

البارسك 60

البلازما ..... 58، 69، 75، 76، 328، 329، 352، 358، 361، 369

البيوت الزجاجية.....289

التأين .....71، 74

التحكم البيئ.....446، 492

التليمتري.....51

التوجيه .... 25، 47، 227، 306، 307

التوصيل الفائق 468

الثرموسفير ..... 70، 73، 153، 452

الثور 259

الجاذبية .... 37، 38، 46، 142، 149، 151، 184، 214، 215، 217، 234، 388، 437، 446، 450، 468، 470، 483، 491

الجسيمات المشحونة.....40، 213

الجيروسكوبات 488

الحرارة النوعية 237

الحزم الطيفية 282

الحصة الحقيقية .....92، 94، 97

الحضيض 83، 85، 86، 91، 92، 94، 97، 98، 99، 100، 101، 103، 105، 106، 107، 108، 109، 118، 119، 124، 131، 132، 168، 177، 269، 343، 394، 395، 396، 397، 461
الحطام الفضائي..... 138
الحمولة .....33، 45، 46، 216، 227، 240، 246، 247، 249، 262، 452، 456
الخط العقدي88، 90، 91، 131، 162، 170، 178
الدفع 45، 46، 47، 153، 159، 177، 203، 208، 210، 211، 221، 222، 227، 228، 230، 232، 233، 235، 237، 238، 239، 240، 245، 459
الدفع النوعي..... 230، 238
الدورة الشمسية..... 68
الذيل المغناطيسي..... 363
الرياح الشمسية.....41، 71، 75، 150، 328، 337، 383
الزهرة....25، 64، 191، 193، 195، 196، 197، 325، 338، 340، 341، 342، 343، 344، 369، 380
السبق العقدي.....102، 162، 163
السقوط الحر ..... 154، 491
السنة الضونية..... 60
الشحن المزدوج..... 277
الشفق القطبي..... 75
الشقوق القطبية..... 75
الشهب 42
الصواريخ الهجين..... 245
العزم..209، 222، 225، 230، 233، 234
العقدة الصاعدة.90، 91، 92، 96، 97، 124، 128، 170
العقدة الهابطة..124، 165، 169، 181
العمر الافتراضي.....105، 107
الغلاف الجوي. 37، 38، 39، 42، 47، 48، 58، 69، 70، 74، 75، 78، 153، 154، 189، 193، 194، 195، 196، 201، 239، 281، 283، 298، 404، 411، 413، 414، 422، 436، 441، 443، 451، 452، 453، 454، 458، 461، 488، 489، 491، 493
الفضاء البعيد ..... 60، 65، 77، 199، 203، 375
الفضاء القريب.....58، 69، 77
القطر الأعظم 82، 87، 91، 92، 103، 141، 390
القمر أيرس 281
الكرة السماوية..... 63
الكواكب الأرضية 63
الكواكب العملاقة 63، 64، 290، 325، 361
الكويكبات .. 26، 65، 67، 247، 325، 372، 373، 374، 376
الماجنيتوسفير..... 58، 69، 71، 75
الماسح 275
الماسحات .....266، 274، 276
المجال المغناطيسي. 71، 73، 75، 295
المحركات الكهربائية.....213
المحطة الفضائية .... 154، 161، 409، 410، 412، 420، 421، 430، 431، 440، 446، 448، 450، 452، 463، 464، 465، 466، 469، 470، 471، 473، 474، 475، 476، 480، 483، 489، 490، 491، 492، 495
المحطة الفضائية الدولية .....29، 154، 440، 446، 452، 463، 469، 471، 473، 475، 476، 483، 489، 490، 492، 495

المدار الثابت ..... 135، 173
المدار المتزامن ..... 135، 139، 143، 145، 170
المدار المريخي 145
المدارات الانتقالية 161
المدارات الثابتة ..... 135، 173
المدارات المتزامنة... 139، 162، 165، 167، 170
المدارات المرتفعة 37
المراصد الفضائية..... 203
المرصد الشمسي..... 148
المركبة القمرية ..... 292، 293، 295، 300، 301، 302، 304، 306، 308، 309، 310، 311، 312، 318
المركبة المدارية ..... 245، 311، 369، 371، 453، 456
المسابر 291، 317، 328، 333، 351
المسار الأرضي 54، 111، 113، 114، 115، 116، 117، 118، 119، 121، 122، 123، 124، 125، 126، 128، 129، 130، 143، 158، 277، 280
المستشعرات البصرية 280
المستشعرات اللاتصويرية..... 281
المشتري.. 25، 26، 190، 191، 192، 193، 195، 199، 291، 330، 349، 350، 351، 352، 356، 358، 360، 361، 362، 363، 364، 366، 369، 372، 374
المكوك الفضائي .46، 78، 161، 178، 245، 254، 256، 259، 350، 376، 450، 452، 471، 473
الموجات الراديوية 337
المؤكسد..... 212، 236
الميزوسفير ..... 70، 76
النظير ..24، 272، 275، 276، 277، 279، 280
النفايات..... 42، 492
الهتروسفير ..... 69، 70
الهوبوبوز 69
الهوموسفير 69
الوقود ..... 50، 51، 54، 102، 109، 160، 194، 208، 211، 212، 216، 228، 232، 235، 236، 237، 238، 240، 245، 246، 250، 251، 252، 255، 256، 257، 259، 308، 309، 346، 400، 453، 473
الوهج الشمسي..... 41
انتربريس 452
انحراف .. 48، 94، 117، 178، 184، 222، 224، 225، 228
انعدام الوزن ..... 154، 215، 491
أوليسيس ..... 25، 193، 329، 331
ايكونوز 269

ب

بانفايندر ..... 197، 334
بالون المريخ..... 196
بايونير . 25، 191، 195، 196، 292، 327، 328، 342، 345، 350، 351، 353
بحار..... 319
بروتون ..... 180، 335، 412، 425، 470، 473
بروجرس 27، 28، 415، 417، 420، 425، 433، 438، 440، 441، 442، 489
بريرودا 27، 406، 427، 429، 430، 438
بمقاومة الغلاف الجوي..... 36
بوران . 427، 434، 437، 442، 443
بؤرة المدار ..... 137، 141
بيجاسوس ..... 24، 258، 260
بيرس..... 28، 476، 478، 488

ت

ترانكويلتي..... 472، 473، 480، 481
تيتان ..196، 248، 249، 352، 354، 369، 370، 371
تيكو 320

ث

ثابت الجذب ..... 84، 214

ج

جاليليو ....22، 26، 155، 161، 192، 194، 196، 255، 290، 358، 361، 362، 363، 364، 365، 366، 367، 368، 371، 374، 375
جانيميد 352، 355، 363، 365، 368
جوانا ..... 135، 177، 252
جيروسكوبات ..... 47، 434
جيمني 153
جيوتيل..... 317

ح

حزام الكويكبات ..... 372، 374
حزام كيبر 65

خ

خسوف .77، 135، 171، 182، 183، 184
خط طول العقدة ..... 90، 96
خطوط المسح 275
خلايا شمسية ..... 412، 428

د

دائرة الاستواء ..52، 54، 70، 87، 90، 92، 103، 113، 119، 123، 125، 126، 128، 129، 140، 141، 165، 166، 168، 170، 174، 175، 177، 178، 182، 259
دائرة البروج..... 65، 89، 141، 147، 182، 329، 356، 379
دفع الصاروخ..205، 210، 213، 223
دوران.... 38، 46، 48، 51، 52، 54، 76، 90، 102، 103، 104، 106، 113، 114، 115، 116، 119، 125، 131، 144، 147، 148، 157، 168، 183، 205، 220، 221، 222، 227، 228، 257، 259، 260، 289، 343، 358، 363، 487
دوس . 406، 407، 409، 410، 411، 418، 421، 423
ديستني .....471، 475، 488، 492
ديسكفرى.....330
ديسكفري.....330، 453، 471
ديموس .....332، 333

ر

رادارسات.....171
راصد المريخ.....248، 334، 335
رانجر 158
رائد الفضاء.... 35، 295، 304، 309، 311، 464
رواد الفضاء25، 50، 51، 154، 215، 297، 304، 315، 316، 400، 413، 418، 432، 435، 437، 443، 449، 452، 462، 471، 475، 476
روزيتا .....26، 382، 384
ريدستون.....309
رينجر.....292، 311

ز

زاريا ..... 27، 29، 419، 470، 473، 474، 486، 490

زاوية الطور 68
زحل.....26، 63، 192، 196، 248، 350، 353، 359، 370
زفيزدا ..27، 407، 419، 471، 474، 475، 489، 492
زمن الدورة 87
زوند 317

س

ساتيرن248، 293، 298، 308، 309، 310، 448، 449، 450
ساكيجاك..... 381
ساليوت ...27، 30، 405، 406، 408، 409، 410، 411، 412، 413، 415، 416، 417، 418، 420، 421، 422، 423، 433
سبق عقدي 162
سبكتر....28، 428، 438، 439، 440
ستاردست 381
سرعة العادم ..... 211، 237
سرعة الهروب..... 64، 142، 143
سكايلاب.....412، 416، 445، 448، 449، 450
سنتوري 246
سوجورنير ..... 23، 198، 199، 201
سويزي..... 381
سويوز 409، 410، 411، 413، 415، 425، 432، 433، 434، 435، 437، 439، 441، 450، 471، 473، 474، 476، 480، 489
سي سات 284
سيرفوير 293

ش

شالنجر ..... 361، 452

ص

صاروخ الإطلاق..... 34، 175، 246، 262، 293، 298، 309، 310، 411
صاروخ دلتا 246
صواريخ دافعة.....33، 310

ظ

ظل الأرض..... 49، 77، 172، 182، 183، 487

ع

عطارد ..... 63، 64، 68، 146، 153، 192، 289، 290، 325، 327، 340، 346، 347، 349، 371
عناصر المدار 80، 89، 94، 96، 101

غ

غالق الهواء.... 28، 437، 471، 475، 477
غرفة الاحتراق 212
غرفة الاشتعال.....232

ف

فايكنج .....197، 198، 291
فجوات كيركوود.....372
فوبوس .....331، 332، 333
فوجيير ... 25، 26، 350، 351، 352، 353، 354، 355، 356، 357، 358، 359، 360، 366، 368، 371
فوق البنفسجية ..... 69، 70، 74، 337، 340، 360، 361، 425
فوهة العادم .. 208، 211، 213، 220، 222، 228، 229، 232، 238، 239
فيجا .... 25، 195، 196، 339، 341، 380

فينيرا ..... 197، 338

ق

قانون نيوتن ..... 80، 84
قنطورس ..... 160، 352، 369
قوانين كبلر 85
قوة الدفع ..... 179، 208، 210، 216، 228، 230، 233، 238
قوة الرفع ..... 208، 210، 217، 218، 224، 225
قوة الطرد المركزية 215
قوى الهواء الديناميكية ..... 205، 209، 210، 217

ك

كاب كانفرال .. 135، 178، 180، 248، 249، 310
كاسيني .26، 192، 196، 248، 369، 370
كاليستو 351، 352، 355، 365، 368
كاميرا الصور الثابتة .. 24، 266، 271، 273
كريستال ..... 407، 427، 428، 435، 436، 437، 442، 443
كفانت .406، 425، 426، 427، 433، 434، 435، 436، 437
كفانت-1 ..... 425، 426، 433
كفانت-2 272، 426، 427، 435، 436، 437
كندرام 471
كورو .... 55، 177، 178، 179، 252
كوزموس ..... 78، 269، 406، 412، 417، 421
كولومبس ..... 472، 479
كولومبيا ..... 297، 311، 315، 452، 462، 471
كويكب سيرس 373
كويكبات ..... 65، 372
كيبو ..... 472، 479، 480، 481

ل

لاندسات ..... 169، 273، 277
لزوجة الهواء 218
لقانون كبلر الثالث 36
للمدارات المتزامنة 38
لونا 291، 316، 317

م

ماجلان. 25، 193، 343، 344، 345، 347
مارينر 191، 192، 331، 332، 338، 340، 342، 346، 350، 382
ماسينجر 192
متجول قمري 296
متيوسات ..... 270، 275، 276
مجرة درب التبانة 138
محرك الصاروخ .... 208، 211، 234، 236
محركات الدفع الحضيضية 179
محركات كيميائية 211
محور التماثل 221
مدار أرضي . 138، 139، 141، 246، 255، 257، 452
مدار أرضي عالي 139
مدار استوائي ..... 141، 176
مدار الانتظار .. 46، 158، 159، 161، 179، 181
مدار الإنتظار 388
مدار الانحراف 177
مدار القمر الطبيعي 147
مدار الهروب 143
مدار انتقالي 142
مدار أهليجي ..... 85، 389، 441
مدار بروجي 141
مدار تقهقري ... 122، 129، 148، 162
مدار تندرا ..... 144، 157

مدار ثابت 176
مدار خارجي..... 147
مدار دائري...109، 124، 141، 142، 144، 177، 179، 393
مدار قطبي ...117، 119، 140، 168، 248
مدار قمري .....138، 147، 318
مدار كلارك..... 144
مدار مائل ..... 140، 147
مدار مباشر..... 147، 148
مدار متزامن .139، 144، 145، 146، 168، 252، 255، 257
مدار متوسط..... 139، 155
مدار مريخي ..... 138، 145
مدار مولنيا ..... 144، 157
مدار نصف متزامن..... 143
مدار هومان ....26، 142، 385، 390، 393، 394، 400، 402
مدارات الانتظار 161
مدارات قطبية 53
مدارات مغلقة ..... 33، 82
مدارات مفتوحة ..... 33، 82
مدارات منخفضة..... 36، 153، 154
مذنب هالي ..... 195، 291، 378
مذنبات..... 381، 383
مركبات الغلاف الجوي..69، 73، 187، 193
مركبات الملاحة ..... 187، 203
مركبات فضائية مخترقة..... 187، 198
مركبات فضائية مدارية ..... 187، 189، 191
مركبة الخدمة ..... 295، 297، 309
مركبة القيادة ...24، 293، 295، 298، 299، 306، 308، 310، 315
مركبة المرصد الفضائي..... 187، 200
مركبة الهبوط ..24، 302، 306، 341، 362، 363
مركبة هبوط..... 300، 361
مركز الثقل... 209، 210، 211، 216، 218، 219، 221، 222، 224، 225، 228
مركز الضغط 209، 210، 217، 221، 225
مركز المجرة 137
مركز ثقل .....208، 220، 221، 223
مركز كنيدي الفضائي.....55
مركز كيندي الفضائي.....459
مسارات زائدية 142
مسارات مكافئة 142
مستشعرات الخلايا النشطة.....277
مستكشف المريخ .....335، 336
مطياف ألفا المغناطيسي.....469، 472
معمل الفضاء 412، 416، 445، 448، 481
مقاومة الهواء 208، 210، 213، 217، 218، 224، 234، 458، 488
مكوك الفضاء 28، 42، 44، 53، 153، 162، 214، 284، 425، 427، 428، 437، 442، 443، 446، 450، 451، 455، 456، 457، 458، 459، 462، 471، 476، 486، 488، 489
مناورات ..... 102، 177، 179، 180، 209، 211، 221، 382
منطقة التغطية 122
منظار شاندرا.....23، 202
منظار هابل..... 23، 201، 202، 204
مواقع التحام 480
موجات الميكروويف 284
موجات تحت الحمراء.....41، 284
موجات كهرومغناطيسية 41
مير27، 28، 405، 406، 407، 417، 418، 419، 420، 422، 423، 424، 425، 427، 428، 429، 430، 431، 432، 433، 434،

435، 436، 437، 438، 439،
441، 442، 443
ميل المدار 54، 92، 102، 103، 122،
125، 127، 143، 156، 162،
163، 177، 179، 186، 259

ن

نافذة الإطلاق..... 54، 159، 260
نبتون ..... 65، 358
نظام دعم الحياة ..... 29، 494
نقاط لاجرانج 135، 148، 149، 150،
151
نقطة الحقن ..... 96، 97
نووا..... 268، 270، 277
نيازك 77

ه

هارموني..... 472، 476، 479
هوائي المركبة..... 190
هوائيات 305
هيجينز ..... 23، 196، 197

و

وزن الصاروخ ..... 208، 216
وقود سائل 212
وقود صلب ..... 212، 246، 249

ي

يورانوس..... 64
يوربا 371
يوم نجمي ..... 143، 144
يونتي..... 473، 488

معجم المصطلحات

الإتصال الهابط downlink: هو العملية التي ترسل بها المعلومات من الأقمار الصناعية في الفضاء الى الارض. حيث يحول القمر الصناعي معلوماته في الكمبيوتر إلى موجات راديوية، وترسل هذه الموجات إلى الأرض عن طريق الهوائي. وعلى الأرض، يوجد هوائي آخر، عادة يكون على شكل طبق، ليلتقط موجات الراديو التي يحولها مرة آخرى على شكل يمكن فهمه بأجهزة الكمبيوتر.

الإرسال repeater: جهاز يتلقى الإشارات، ثم يعيد القمر بثها في أي وقت قريب لتكون على اتصال مع محطة أرضية.

الأرسال الصاعد من الأرض uplink : العملية التي من خلالها ترسل المحطة الأرضية المعلومات والتعليمات إلى الأقمار الصناعية. في كثير من الأحيان، يرسل العلماء على الأرض تعليمات إلى الكمبيوتر على متن أحد الأقمار الصناعية. فالمحطة الأرضية تترجم معلومات الكمبيوتر إلى موجات راديو، وترسل هذه الموجات إلى القمر الصناعي عن طريق هوائي، وعادة يكون على شكل طبق. ويوجد هوائي آخر، على الأقمار الصناعية، يلتقط موجات الراديو المرسلة من الأرض، ويترجمها مرة أخرى إلى بيانات يمكن فهمها بأجهزة الكمبيوتر على متن القمر الصناعي.

الاستشعار عن بعد remote sensing: عملية جمع البيانات عن شيء ما من بعيد. يرصد القمر الأرض، لذلك، يستخدم أجهزة للاستشعار عن بعد.

استطالة المدار eccentricity : الاستطالة هي مقياس لمدى دائرية مدار القمر الصناعي. للمدار الدائري تماما تكون الإستطالة مساوية للصفر ؛ تكون استطالة المدارات البيضاوية بين الصفر والواحد.

الاستقطاب polarization: ظاهرة تنتج من مرور الضوء من خلال مرشح يجعل الضوء ينتقل في جميع الاتجاهات مختلفة، مما يجعل الأشعة المختلفة للضوء تسلك سلوكا مختلف عن بعضها البعض. ويطلق على المرشح اسم مرشح الاستقطاب.

الإشعاع radiation: تركيبة الضارة للموجات والجزيئات تعرف بالأشعة عالية الطاقة، التي تنبعث من مصدر.

الأشعة تحت الحمراء infrared: موجات ضونية وهي أطول قليلا من موجات الضوء المرئي. وهي توجد على يمين الضوء المرئي في الطيف الكهرومغناطيسي. تنتج الأشعة تحت الحمراء أغلب الحرارة من أشعة الشمس والمصابيح المتوهجة.
الإقلاق Perturbation: هي القوى التي تؤثر على حركة جسم حول جسم آخر (مقاومة الهواء- عدم كروية الجسم الرئيسى-ضغط الإشعاع الشمسي- وجود أجسام أخرى مؤثرة) غير قوة التجاذب المتبادلة التي تحكم حركة الجسمين ببعضهما.

أقمار الاتصالات communications satellite : نوع من الأقمار يستخدم للاتصالات على الأرض من خلال موجات الراديو والتلفزيون والهاتف لإرسال لأي مكان في العالم. قبل الأقمار الصناعية، كان البث صعب أو مستحيل للمسافات الطويلة. الإشارات التي تنتقل في خطوط مستقيمة، لا يمكن أن تنحني حول الأرض المستديرة للوصول الى مكان بعيد. ولأن أقمار الاتصالات تكون في مدار عالية، فيمكنها إرسال إشارات إلى الفضاء، وعلى الفور يتم إعادة توجيهها إلى قمر آخر أو مباشرة إلى موقع استقبالها على الأرض.

أقمار الاستطلاع reconnaisance satellite: وتسمى أيضا بأقمار التجسس لأنها تستخدم للتجسس على الدول الأخرى. ويمكن أن توفر معلومات استخبارية عن الأنشطة العسكرية، والكشف عن إطلاق الصواريخ الأرضية أو التفجيرات النووية، والتقاط وتسجيل موجات الراديو والرادار أثناء مرورها عبر البلاد. ويمكن أيضا استخدامها كسلاح مداري عن طريق وضع رؤوس حربية على أقمار في مدار منخفض للانطلاق على هدف على سطح الأرض، ولكن هذا غير مرغوب فيه.

الأقمار الصناعية الفلكية astronomy satellite : هي مناظير فضائية تدور حول الأرض. وهذه المناظير لايعيقها سحب مثل سحب الغلاف الجوي للأرض، مثل ما يحدث للمناظير على الأرض. وتدرس المناظير الفضائية الظواهر النجمية مثل الثقوب السوداء وأشباه النجوم والمجرات البعيدة. وهذه المناظير لاتتعارض مع أقمار استكشاف الفضاء، التي تدرس أيضا هذه الظواهر.

الأقمار الصناعية للاستشعار عن بعد remote sensing satellite: نوع من الأقمار الصناعية التي تقوم بالاستشعار عن بعد من الفضاء. أقمار الاستشعار عن بعد ترصد عموما الموارد الهامة بالنسبة للبشر. على سبيل المثال، يمكن استخدامها لتعقب الحيوانات المهاجرة، وتحديد الرواسب المعدنية، وملاحظت المحاصيل الزراعية التي اتلفها الطقس، أو رؤية مدى السرعة التي يتم بها قطع الغابات باستمرار. لأنهم في الفضاء، واقمار الاستشعار عن بعد هي مثالية لرصد المناطق ذات المناخ القاسي أو تضاريس صعبة.

أقمار الطقس weather satellite: هي نوع من الأقمار الصناعية تستخدم لإعطاء خبراء الارصاد الجوية معلومات حول الطقس. أقمار الطقس يمكن أن تفعل أشياء مثل التقاط صور لغطاء السحب، ورصد نظم الطقس الخطيرة مثل الأعاصير، وقياس درجة حرارة الهواء والبحار، بصفة عامة تعطي خبراء الأرصاد الجوية المعلومات التي يحتاجونها للتنبؤ بالطقس.

أقمار دراسة الغلاف الجوي atmospheric studies satellite : هي نوع من الأقمار الصناعية العلمية التي تدرس الغلاف الجوي للأرض. وهذه الأقمار الصناعية كانت الأولى التي أطلقت في الفضاء، بما في ذلك القمر الكندي الأول اليوت Alouette.

أقمار كوسبس- سارسات Cospas-Sarsat satellites : هي أقمار للبحث والانقاذ تدور في مدارات قطبية. نظام كوسباس- سارسات، هو شراكة بين عدد من البلدان تشمل الولايات المتحدة وكندا و روسيا. وأطلق أول قمر صناعي في هذا النظام عام 1982، وبدأ تشغيل النظام بحلول عام 1984.

الإلكترون electron: هي جسيمات صغيرة تحمل شحنة سالبة. كل ذرة تحتوي على الالكترونات. يختلف عدد الإلكترونات في كل عنصر. ونقل الالكترونات من أو إلى الذرة ينتج الكهرباء.

قمر أنيك-أ Anik A: قمرا صناعيا للاتصالات أطلقتها مؤسسة كندا تيليسات عام 1972. جعل أنيك-أ كندا أول بلد في العالم يمتلك قمرا صناعيا في مدار ثابت بالنسبة للأرض لأغراض الاتصالات المحلية. حسن أنيك-أ اتصالات الهاتف واتصالات التلفزيون، وبذلك قارب بين الكنديين.

قمر أنيك-ب Anik B : قمرا صناعيا للاتصالات أطلقتها شركة تيليسات كندا يوم 16 ديسمبر 1978 ليحل محل القمر الصناعي أنيك-أ. وكان الغرض من الأقمار الصناعية أنيك تحسين الاتصالات في جميع أنحاء كندا، وخاصة لأولئك الكنديين الذين يعيشون في المناطق النائية.

قمرأنيك-هـ Anik E : قمرا صناعيا للاتصالات أطلقتها شركة تيليسات كندا عام 1991. وأنيك-هـ كان سلسلة من قمرين صناعيين – أنيك-هـ1 وأنيك هـ2. وهما من الجيل الخامس من أقمار أنيك، وأنها لا تزال تساهم بجزءا كبيرا من الاتصالات الكندية.

ايون ion : ذرة أو جزيء يفقد أو يكتسب إلكترون. ويعرف الايون بانه جسيم مشحون. تكون الأيونات عادة أكثر رد فعل من الجسيمات المحايدة، أي الجسيمات غير المشحونة. أنها سبب كل من الكهرباء الساكنة والتفاعلات الكيميائية مثل الضباب الدخاني، والعمليات الحيوية في الجسم مثل التنفس الخلوي والهضم.

الأيونوسفير ionosphere: منطقة من الغازات توجد على ارتفاعات عالية جدا في الغلاف الجوي، وتحتوي على الغازات المؤينة.

البلازما plasma: غاز يحتوي على أعداد كبيرة جدا من الأيونات (الجسيمات المشحونة). في البلازما، تكون أعداد الإلكترونات الحرة هو تقريبا نفس أعداد الأيونات الموجبة.

تأثير دوبلر doppler effect: ازاحة ظاهرية تحدث في تردد الموجة. على سبيل المثال، عندما يقوم شخص ما بالاستماع إلى صوت صفارات إنذار سيارات الإسعاف، وهذا الشخص يكون ثابت وسيارة الإسعاف تكون متحركة، سوف يسمع الشخص تغيير في نغمة صفارة سيارة إسعاف. وهذا التغيير يحدث عن طريق تأثير دوبلر. تردد موجة الصوت يحدد النغمة، والمسافة بين مصدر الصوت والشخص الذي يسمعه يحدد مقدار الإزاحة في التردد، والمعروفة باسم ازاحة دوبلر.

التأين ionization : عملية التحول إلى أيونات.

التحكم بالموضع attitude control: استقرار الموضع للقمر الصناعي في (اتجاه) في مداره. ويمكن القيام بالتحكم بالموضع بدوران القمر حول نفسه، أو عن طريق استقرار القمر بالنسبة لمحاور ثلاثة باستخدام جيروسكوب داخلي أودفعات صغيرة من محركات القمر.

التحليل الطيفي spectroscopy: علم دراسة الطيف الكهرومغناطيسي.
التردد frequency: عدد مرات اكتمال دورة موجة في وحدة الزمن. يحدد تردد الموجة الصوتية نغمتها. عادة، يتم قياس التردد بالهرتز Hz والذي هو عدد دورات الموجة في الثانية الواحدة.

التروبوسفير troposphere: أدنى طبقة من الغلاف الجوي. هي طبقة التروبوسفير وتوجد فيها الرياح وتتكون فيها السحب، وتنخفض فيها درجة الحرارة بدرجة ملحوظة جدا مع الارتفاع. وارتفاعها من 10 إلى 16 كم من سطح الأرض.

التقهقر العقدي Nodal regression: حركة العقدة الصاعدة وبالتالي العقدة الهابطة على الدائرة التي يتقاطع معها مدار القمر في اتجاه تناقص خط الطول العقدي.

الجسيمات particle: قطعة صغيرة جدا من مادة تتحرك ولها طاقة. والجسيمات هي الأشياء الأساسية التي تشكل الكون.

الجسيمات المشحونة charged particle : تعرف ايضا باسم الأيونات.

جهاز التأين ionosonde : جهاز يستخدم لقياس لتأين الغازات في الغلاف الجوي لكوكب الأرض أو القمر.

حزم التردد frequency bands: هي تجمع الموجات الكهرومغناطيسية المتماثلة التردد. في الدراسات الطيفية، نوع واحد من موجة الطيف الكهرومغناطيسي تظهر كحزمة من الألوان التي يمكن أن تفيسرها كحزمة تردد. وهذا يسمح للعلماء معرفة ما هو نوع الطاقة الذي يأتي من مصدر معين. على سبيل المثال، الأشعة السينية تشكل حزمة تردد. بعض الحزم تكون أوسع من غيرها.

خط الاستواء equator: دائرة وهمية عظمى حول وسط الأرض مركزها مركز الكرة الأرضية. وهي تدور بين الشرق والغرب، يقاس منها خط العرض. وهي توجد في منتصف المسافة بين القطب الشمالي والقطب الجنوبي.

خطوط الزوال meridian lines: خطوط وهمية مرسومة على الكرة الأرضية للأغراض الملاحية. وهي تحدد خطوط الطول التي تتجه من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي. وهي تقسم الأرض إلى مناطق زمنية وتستخدم لتحديد الاحداثيات على الأرض. وخط طول جرينتش هو خط الطول المركزي الذي تنسب اليه جميع المناطق الزمنية.

دائرة زوال غرينتش Greenwich meridian: دائرة زوال مركزية والتي ينسب اليها جميع المناطق الزمنية على سطح الأرض.

زاوية الميل angle of inclination : الزاوية التي يميل بها مدار قمرا صناعيا على دائرة استواء الكرة الأرضية. وعندما تكون زاوية الميل 90 درجة يسمى مدار القمر الصناعي مدارا قطبيا. واذا كانت زاوية الميل صفرا يصبح المدار استوائيا.

السرعة velocity: قياس سرعة جسم يتحرك في اتجاه معين.

السنة الضوئية light year: المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة. بسرعة x108 3.0 متر في الثانية، بذلك يسافر الضوء لمدة عام واحد مسافة اجمالية 1013 x 946،08 متر. وحيث أن هذا عدد كبير جدا، لذلك من الاسهل عليه اسم السنة الضوئية.

الشفق القطبي aurora borealis: يعرف أيضا باسم الشفق القطبي الشمالي. وهي تيارات من ضوء ملونة تظهر في ليل السماء الشمالية، غالبا في فصل الشتاء. وهي ناجمة عن اضطرابات في طبقة الايونوسفير.

الطول البؤري focal length: المسافة بين عدسة العينية وعدسة الشيئية لجعل الجسم مرئي وفي البؤرة. العين البشرية لها أطوال بؤرية مختلفة تبعا لمدى عمل عضلات العين حول عدسة العين.

الطيف الكهرومغناطيسي electromagnetic spectrum: يمكن تصنيف الأنواع المختلفة من الموجات الكهرومغناطيسية عن طريق أطوالها الموجية wavelenghts. وهي مصنفة إلى أقسام تسمي الحزم bands . الطيف الكهرومغناطيسي هو مجموعة من هذه الحزم. الأنواع التالية من الموجات تشكل الطيف الكهرومغناطيسي : أشعة جاما gamma rays، والأشعة السينية x-rays، والأشعة فوق البنفسجية ultraviolet rays، الضوء المرئي visible light، وموجات الأشعة تحت الحمراء infrared waves ، وموجات الراديوradio waves . ويتراوح طول هذه موجات بين 10-12 مترا إلى 102 مترا، وهو ما يعرف بالطول الموجي.

الطيف المرئي visible spectrum: الضوء المرئي لايشكل سوى جزء صغير من الطيف الكهرومغناطيسي. ويمكن تقسيم طيف الضوء المرئي إلى أطوال موجية مختلفة من الضوء. الطول الموجي للضوء يحدد لون هذا الضوء. طيف الضوء يبدأ من البنفسجي إلى الأحمر حيث الأحمر هو أطول طول موجي.

العقدة الصاعدة Ascending node: هي أحدي عقدتي المدار الناتجتان من تقاطع المدار مع دائرة الاستواء أو أي دائرة أخرى وتكون حركة القمر فيه من أسفل هذه الدائرة إلى اعلاها.

العقدة الهابطة Descending node: هي أحدي عقدتي المدار الناتجتان من تقاطع المدار مع دائرة الاستواء أو أي دائرة أخرى وتكون حركة القمر فيه من أعلى هذه الدائرة إلى اسفلها.

عناصر المدار Orbital elements: هي ستة عناصر تحدد للمدار حجمه وشكله واتجاهه في الفضاء وميله على دائرة الاستواء.

الغلاف الجوي atmosphere: تطلق على الطبقات الكثيرة من الغازات التي تحيط بكوكب ما. يتألف الغلاف الجوي للأرض من عدة طبقات من الغازات التي تفصل كوكبنا من الفضاء. الغازات الرئيسية في الغلاف الجوي للأرض هي النيتروجين والأكسجين. والهواء الذي نتنفسه هو جزء من الغلاف الجوي.

القمر البرازيلي Brazilsat : تعاقدت البرازيل مع شركة سبار الكندية الفضائية المحدودة Spar Aerospace Ltd. لبناء القمر البرازيلي برازيل سات-1 Brazilsat 1 و 2. كان المقصود من هذه السلسلة من الاقمار الصناعية منح البرازيل القدرة على الاتصال الداخلي في البلد بأكمله عن طريق الأقمار الصناعية لأول مرة. أطلق برازيل سات-1 Brazilsat 1 في 8 فبراير 1985 على متن صاروخ آريان-3 الفرنسي.

القمر الصناعي satellite: جسم يتحرك في مدار حول جسم آخر. القمر هو قمر طبيعي يور حول الأرض، على سبيل المثال. والقمر الصناعي هو قمر صناعي تم بناؤه، ووضعه في المدار من قبل البشر.

القمر القطبي Polar: قمر صناعي أطلق يوم 24 فبراير 1996 من قبل وكالة ناسا في المشروع العالمي للعلوم جيوسبيس Global Geospace Science. القمر القطبي هي أقمار تقوم بدراسة الغلاف الجوي في مدار قطبي. أحد أهداف القمر القطبي هو جمع المعلومات التي تساعد العلماء على حماية الأقمار الصناعية في المستقبل من الإشعاع في الغلاف الجوي والأخطار الأخرى.

قمر الملاحة الفضائية navigation satellite: هو نوع من الأقمار الصناعية التي تحدد احداثيات السفن والطائرات على الأرض. تم تطوير أقمار الملاحة عام 1950، وهي تعتمد على ظاهرة تأثير دوبلر لحساب موقع السفن التي تنبعث منها إشارة الراديو. تستخدم أقمار الملاحة أيضا على نطاق واسع في الجيش.

قمر فايكنج السويدي Swedish Viking: أطلق هذا القمر الصناعي العلمي في فبراير 1986. حملت فايكنغ جهاز وكالة الفضاء الكندية لتصوير الشفق القطبي بالأشعة فوق البنفسجية وقدمت معلومات جديدة وهامة حول الشفق القطبي الشمالي.

قمر هيرميس Hermes: أول قمر صناعي تم تجربتة بأطباق استقبال صغيرة للإرسال التلفزيوني. هذا جعل استقبال التقارير الأخبارية الحية مباشرة ممكنا من المواقع النائية. وتم إطلاق القمر الكندي هيرميس في 17 يناير 1976.

المجنيتوسفير magnetosphere: فضاء حول الأرض تتحكم فيه الأيونات (الجسيمات المشحونة) بواسطة المجال المغناطيسي الأرضي.

محاور الاستقرار الثلاثية three-axis stabilized: تتم بفعل الجيروسكوب الداخلية ودفع المحركات. فإن الدوران المستقر للجيروسكوبات يمكن أن يستخدم كمستشعر لإنذار القمر عندما يتغير موقعه في الفضاء. عندئذ يمكن للقمر الصناعي تصحيح المشكلة باستخدام الدفع. هذا هو أحد نماذج التحكم في الموقع.

محور الإنعراج yaw axis : يكون محور متعامدا على محور الدوران، ويمر بمركز الثقل. والحركة حول محور الإنعراج ينتج عنها توجيه مقدمة الصاروخ إلى يمين أو يسار محور الدوران.

محور الدوران roll axis : أغلب الصواريخ لها خط تماثل يمر بطول الصاروخ من قمة مقدمته إلى مركز فوهة العادم. ويسمى هذا الخط بمحور الدوران **roll axis**، والحركة حول هذا المحور تسمى بالحركة الدورانية.

محور الميل أو الإنحدار pitch axis : يكون متعامدا على محورى الدوران والإنعراج ويمر بمركز الثقل. وحركة الميل أو الإنحدار توجه مقدمة الصاروخ لإعلى وأسفل محور الدوران.

مخزن الحمولة Payload Bay: حجرة تخزين في المكوك الفضائي التابع لناسا. خليج الحمولة، يوجد في الجزء العلوي من مكوك الفضاء، وله أبواب كبيرة تفتح في الفضاء. عندما نرسل أقمار صناعية الى الفضاء على متن المكوك الفضائي، فإنها توضع في مخزن الحمولة.

المدار orbit: هو مسار قمر صناعي، أو كوكب، أو جسم سماوي حول جسم آخر أكبر، في الفضاء. على سبيل المثال، مدار الأرض حول الشمس. مدار القمر حول الأرض. تختلف المدارات في استطالتها.

المدار الأرضي المنخفض low Earth orbit: مدار داخل الغلاف الجوي للأرض، ولكن في أعلى مستويات طبقاته. ويمكن لأي قمر صناعي في مدار أرضي منخفض عمل ارصاد للأرض.

المدار الاستوائي equatorial orbit: يطير القمر الصناعي فوق دائرة استواء الكرة الأرضية. تكون المدارات الاستوائية مفيدة للاقمار المدارية لمراقبة الطقس الاستوائي، كما يمكن رصد ظروف السحب في جميع أنحاء العالم.

المدار الثابت بالنسبة للأرض (التزامني) geostationary (geosynchronous) orbit: مدار يبدو فيه القمر الصناعي ثابت في نفس المكان في السماء طوال الوقت. عندما يكون القمر الصناعي في المدار الثابت بالنسبة للأرض، فإنه يتحرك بنفس سرعة دوران الأرض تحته حول نفسه. القمر الصناعي في المدار الثابت بالنسبة للأرض على ارتفاع 35850 كيلومترا فوق الأرض. وتقع دائما الأقمار الصناعية الثابتة مباشرة فوق دائرة الاستواء. المنطقة التي يغطيها قمر الاتصالات الصناعي في المدار الثابت بالنسبة للأرض تسمى منطقة التغطية footprint.

المدار الفجري - الغسقي dawn-to-dusk orbit: هو نوع من المدارات المتزامنة مع الشمس حيث يواجه القمر الصناعي الشمس دائما. وهذا يسمح للقمر الصناعي بامداده بالطاقة من الواحها الشمسية بطريقة متواصل.

المدار القطبي polar orbit: تكون زاوية ميل هذا المدار عادة 90 درجة على خط الاستواء. عند كل المرور حول الأرض، فإنه يمر فوق كل من القطب الشمالي والقطب الجنوبي. لذلك، مع دوران الأرض نحو الشرق تحت القمر الصناعي فإنه يتحرك من الشمال إلى الجنوب، لذلك فاالقمر القطبي يغطي سطح الأرض بأكمله. ويغطي القمر القطبي الكرة الأرضية بالكامل كل 14 يوما.

مدار متزامن مع الشمس sun-synchronous orbit: نوع خاص من المدار القطبي. في المدار المتزامن مع الشمس، يمر القمر الصناعي كل يوم على نفس الجزء من الأرض في الوقت نفس التوقيت المحلي تقريبا. المدارات المتزامنة مع الشمس تكون عادة مدارات متوسطة أو منخفضة.

المدار الاهليلجي elliptical orbit : هو مدار على شكل قطع ناقص أو بيضاوي كبيرة يتحرك فيه القمر الصناعي . يقترب القمر الصناعي في المدار البيضاوي الشكل من الجسم الذي يدور حوله و يبتعد. عندما يقترب القمر تكون سرعته بالنسبة للجسم الذي يدور حوله عالية وتكون سرعته صغيرة اذا ابتعد من الجسم. المدارات البيضاوية عالية الإستطالة تكون مفيدة لأقمار الاتصالات.

المسار الأرضي Ground Track : هو دائرة على سطح الأرض ناتجة من تقاطع مستوى مدار القمر الصناعي مع الأرض. أو ناتج من مرور القمر فوق هذه الدائرة أثناء الدورة الكاملة.

مصور الشفق Auroral Imager : ركبت أجهزة وكالة الفضاء الكندية على متن القمر الصناعي العلمي السويدي فايكنغ Viking عام 1986. لقياس الاتجاه، والطاقة، ونوع الجزيئات التي تصل إلى الأرض وتسبب الشفق القطبي.

مصور تداخل الرياح (WINDII) Wind Imaging Interferometer: في عام 1991، أطلق هذا الجهاز WINDII الكندي على متن قمر ناسا لإبحاث الغلاف الجوي وقد وفر المعلومات لدرجات الحرارة على مستوى العالم، وأنماط الرياح، وتركيز الغازات الهامة في الغلاف الجوي العلوي.

المطياف spectrograph: جهاز ينشرspreads out الضوء الذي يجمعه المنظار لتحليلها لتحديد الخصائص المختلفة للأجسام السماوية. وتشمل هذه الخصائص التركيب الكيميائي وفرة بعض العناصر المختلفة، ودرجة الحرارة، السرعة نصف القطرية، سرعة الدوران، والمجالات المغناطيسية.

المغناطيسية الأرضية geomagnetic: وبعد أن تفعل مع الخصائص المغناطيسية للأرض. النشاط الجيومغنطيسية يشمل كل التغييرات في أعداد الجسيمات المشحونة الموجودة في منطقة واحدة من الأرض.

مقاومة الهواء Drag: هي تأثير الغلاف الجوي للأرض على حركة القمر الصناعى حولها والتي تجعل المدار البيضاوى للقمر يصبح مدار دائرى مع الزمن وبعد ذلك يضمحل المدار ليقترب أكثر من الأرض ليسقط بعد فترة.

مقياس الاشعاع radiometer: جهاز لقياس التغير في مستويات الإشعاع، وكذلك الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء. ويمكن أن تنتج صور السحب حتى في الليل.

مقياس التلوث في طبقة التروبوسفير Measurements of Pollution in the Troposphere (MOPITT): جهاز كندي ، صمم لقياس التوزيع العالمي للأول أكسيد

الكربون وغاز الميثان في الغلاف الجوي. وكان الجهاز على متن أول نظام رصد للأرض تابع لناسا أطلق في عام 1998.

المقياس الصوتي sounder: هو نوع خاص من مقياس الاشعاع الذي يقيس التغيرات في درجة حرارة الغلاف الجوي والتغييرات في محتوى بخار الماء لهواء الجو على ارتفاعات مختلفة في الغلاف الجوي.

مقياس الطيف spectrometer: جهاز يستخدم لدراسة الطيف الكهرومغناطيسي.

تعريفات علمية scientific notation: النظام المستخدم عندما نتحدث عن كميات صغيرة جدا أو كبيرة جدا. في الملاحظات العلمية هناك دائما وحدة أساسية، على سبيل المثال المتر، الهيرتز، الجرام. بدلا من استخدام الكثير من الأصفار، فالوحدات العلمية تستخدم البادئات لتشير إلى مضاعفات الرقم 10. فمثلا :

10^{-12} بيكو - عرض فيروس
10^{-2} السنتيمتر - عرض جهاز الكمبيوتر
10^{-3} ملي - رأس دبوس
10^{3} الكيلو - وزن الشخص
10^{-6} ميكرو - عرض الأنسجة البشرية
10^{6} الميجا - المسافة حول الأرض
10^{9} الجيجا - عدد من الهيرتز التي تنقل بها الأقمار الصناعية الاشارات.
10^{-9} نانو - الطول الموجي للضوء المرئي

المنظار telescope: جهاز يستخدم في علم الفلك لرؤية الأشياء البعيدة. معظم المناظير تستخدم العدسات والمرايا لتكبير الضوء القادم من ظواهر في عمق الفضاء. وهذا يجعل الأجسام تبدو أكبر وأقرب. أحدث المناظير، يستخدم الموجات الراديوية، والأشعة تحت الحمراء والليزر، وتكنولوجيا الرادار.

قمر ميتيوسات Meteosat: قمر صناعي للطقس ثابت بالنسبة للأرض أطلقته وكالة الفضاء الأوروبية (ESA). وتم إطلاق النسخة الأحدث من متيوسات في يونيو 1988. وهو يوفر التصوير الجوي للأرض في كل من موجات الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء.

الميكروويف microwave: هو شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي خارج نطاق طيف الضوء المرئي. موجات الميكروويف لها ترددات عالية جدا، وطول موجي من 1 ملم الى 50 سم.

النظام الدولي للوحدات SI (International System of Units) : هذا النظام هو نظام كندا الرسمي للقياس. المتر والهيرتز هما من بين الوحدات المستخدمة في هذا النظام.

النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System (GPS) : تستخدم تكنولوجيا الأقمار الصناعية رياضيا لحساب موقع مكان على سطح الأرض في ثلاثة أبعاد (خط

عرضع وطوله، وارتفاعه) عن طريق قياس الوقت الذي تستغرقه موجات الراديو للأقمار الصناعية، للإنتقال بسرعة الضوء، للوصول إلى جهاز الاستقبال على الأرض. يستخدم هذا النظام في الفضاء مجموعة من الأقمار الصناعية. تطبيقات هذه التقنية تشمل تحديد الموقع على سطح الأرض، وقياس حركة الأرض بعد وقوع زلزال، أو تحديد نقاط لإسقاط إمدادات الإغاثة الجوية.

نقطة الأوج Apogee: هي النقطة التي يكون فيها القمر الصناعي أو الطبيعي أو أي جسم آخر أبعد ما يمكن من الجسم الرئيسي (الأرض أو الكوكب) الذي يدور حوله.

نقطة الحضيض Perigee: هي النقطة التي يكون فيها القمر الصناعي أو الطبيعي أو أي جسم آخر أقرب ما يمكن من الجسم الرئيسي (الأرض أو الكوكب) الذي يدور حوله.

الهوائي antenna : قطعة من المعدات التي تسمح بإرسال واستقبال إشارات الراديو. وتحتاج الاقمار الصناعية لهوائيات للاتصال مع الأرض. قد تحتاج الأقمار الصناعية لإستقبال أوامر أو تعليمات من الأرض وارسال البيانات التي تجمعها إليها، أو تعيد ارسال المعلومات التي ارسلت اليها لموقع آخر على سطح الأرض. لأن المعلومات تبث باستخدام موجات الراديو، التي تتحرك بسرعة الضوء، وهذا الأسلوب يسمح لإتصالات سريعة جدا (فقط تأخير زمني صغير جدا).

هوائيات STEM antennas: هي اختصار لعضو أنبوبي متمدد قابل للتخزين Storable Tubular Extendible Member. ويتم تخزين هذه الهوائيات في جسم القمر صناعي لتوفير مساحة عند الاطلاق وفردها عندما يصل القمر إلى المدار. استخدم القمر الصناعي الأول في كندا، اليوت، أربعة من هذه الهوائيات.

هيرتز Hertz: وحدة لقياس التردد. ويقاس بعدد الدورات في الثانية حيث الدورة الواحدة هي حركة موجية كاملة. رمز الهيرتز هو Hz ؛ ومليون هرتز يعرف بالميغاهرتز MHz ؛ وبليون هرتز يعرف بالجيجاهيرتز GHz .

الوقود السائل Liquid fuel: يتكون من وقود سائل يمكن وقف الاحتراق فى أى لحظة وبالتالى وقف دفع العادم من فوهة الصاروخ وذلك بإيقاف المضخات التى تضخ الوقود والمؤكسد إلى غرفة الاحتراق. الصواريخ التى تستخدم الوقود السائل تكون أكثر وزنا وتعقيدا لإنها تحتوى على مضخات لضخ الوقود والمؤكسد وكذلك على أسطوانات أضافية لفصل الوقود عن المؤكسد.

الوقود الصلب Solid fuel: يكون من وقود صلب ومؤكسد ممتزجان مع بعضهما البعض ومعبأة فى اسطوانات. ويتم اشعال الوقود عند السطح ويمتد الاحتراق بعد ذلك لباقى الوقود. اشعال الوقود الصلب يستمر حتى ينتهى الوقود بالكامل ولا نستطيع إيقاف الاحتراق بعد اشعاله.

كتب للمؤلف

- كتاب كيف تكون راصدا فلكيا. قم الإيداع بدار الكتب : 2001/8819.
- إسهامات الحضارة العربية والإسلامية فى علم الفلك. بتكليف من مركز توثيق التراث (مكتبة الإسكندرية) مع آخرين رقم الإيداع : 2005/10488 .
- كتاب الأقمار الصناعية. أكاديمية البحث العلمى رقم 7/9/787- 2007/130/400.
- كتاب مبادئ علم الفلك الحديث (الدار المصرية اللبنانية للكتاب وأعيد طباعته بمكتبة الأسرة) رقم الإيداع 2009/23735.
- كتاب أسرار القمر أكاديمية البحث العلمى رقم 1000/250/2012/6/14/968.