الفصل الأول
مرحلة الاطـلاق

1-1 : مركبة الإطلاق

1-2-1 : مجموعة صواريخ دلتـــا

1-2-2 : تـيتـان

1-2-3 :أطلـس

1-2-4 : اريـــان

1-2-5 : بروتـــون

1-3 : نظام النقل الفضائي

1-4-1 : بيجـاسوس

1-4-2 : الثـــور

1-5 : مواقـع الإطلاق

1-6 : نوافـذ الإطلاق

1-7 : الأعمال التحضيرية للإطلاق

1-8 : شراء خدمة الإطلاق

1-9 : يـوم الإطلاق

مرحلة الإطلاق[1]
Launch phase

سنتمكن في هذا الفصل من معرفة دور مواقع الإطلاق التي تقوم به في تحديد الطاقة الكلية للإطلاق، وتحديد خواص مركبات الإطلاق المختلفة (الصواريخ) وتحديد العوامل التي تساهم في تحديد نوافذ الإطلاق. وسوف نستطيع معرفة أي يوم من السنة وأي ساعة من اليوم تؤثر في طاقة الإطلاق في رحلات ما بين الكواكب Interplanetary Missions، كذلك تحديد العوامل الرئيسية التي تشارك في التحضير لعملية الإطلاق.

1-1 : مركبة الإطلاق Launch Vehicles :

الطريقة الوحيدة حتي الآن لإنتاج الطاقة الدافعة لإطلاق المركبة الفضائية من الأرض هي اشتعال الوقود الكيميائي. ومحركات الدفع الأيونية سواء كانت تعمل بالطاقة الكهربائية الضوئية (الناتجة من الخلايا الشمسية) أو المفاعلات النووية، ليست مفيدة في الإطلاق فقط ولكن في زيادة تسريع المركبة المدارية حول الأرض أو ما فوق ذلك. يوجد مجموعتين من الوقود للاحتراق الكيميائي في الصواريخ، وهما مجموعة سائلة ومجموعة صلبة. يشمل الكثير من عمليات أطلاق الصواريخ استخدام كلا النوعين من الوقود. علي سبيل المثال تلحق الصواريخ ذات الوقود الصلب بالصواريخ ذات الوقود السائل. وهناك الصواريخ الهجين (المختلطة) التي يستخدم فيها مزيجا من الوقود السائل والصلب والتي يتم تطويرها الآن. والصواريخ الصلبة تكون عاما أبسط من الصواريخ السائلة ولكن لايمكن اشعالها مرة أخري بعد توقفها (أي تستخدم لمرة واحدة) . أما الصواريخ السائلة أو الهجين فيمكن اشعالها عدة مرات حسب الحاجة.

---

[1] هذا الباب من موقع : http://www2.jpl.nasa.gov/basics

مركبات الإطلاق المستهلكة تستخدم مره واحدة. ونظام النقل الفضائي الأمريكي أو المكوك الفضائي Space Shuttle صمم لكي يعاد استخدامه عدة مرات للوصول إلى المدارات القريبة من الأرض (*LEO*). حيث يتم تجديد بعض مكوناته ويستخدم لمرات عديدة.

2-1 : مراحل الصواريخ العليا Upper Stage Rockets :

تختار هذه المراحل لتكون علي قمة صاروخ الإطلاق فوق المراحل السفلي (أو تكون داخل المكوك وسط الحمولة لتوفير أعلي أداء لازم لنقل حمولة معينة). مثلا المرحلة العليا سنتوري Centour عالية الطاقة استخدمت للرحلات الآليه (بدون رواد) Robotic mission إلى القمر والكواكب لسنوات عديدة.

نماذج مركبات الإطلاق لرحلات المركبات الفضائية إلى الكواكب نذكر منها:

1-2-1 : مجموعة صواريخ دلتـــا :

صاروخ دلتا-I Delta :

الصاروخ دلتا هو عائلة من الصواريخ ذات مرحلتين أو ثلاثة تستخدم الوقود السائل، كما تستخدم مجموعة من الصواريخ ذات الوقود الصلب مختلفة الأعداد تصطف حول المرحلة الأولي من الصاروخ كحزام الشكل (1-1).

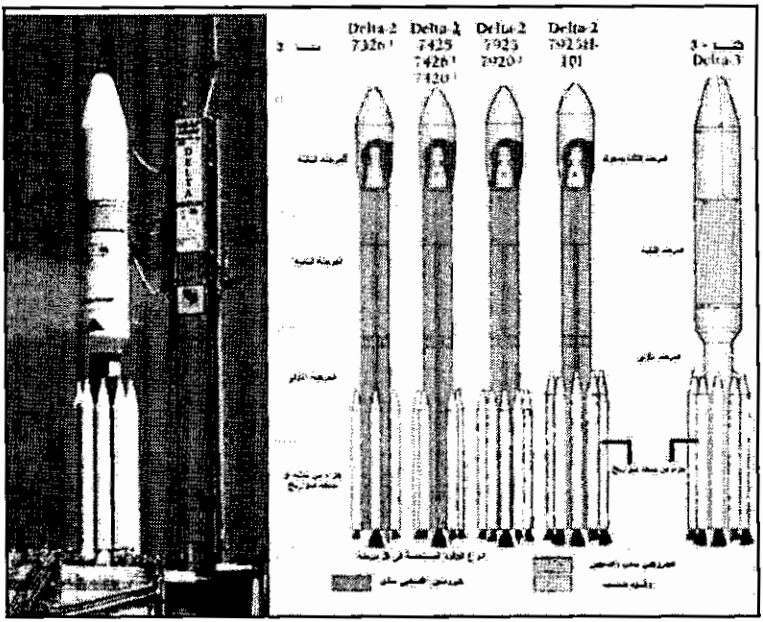
صاروخ دلتا-II :

يشتعل فيه الوقود السائل ليحرق الكيروسين والأكسجين السائل (LOX)، يحتوي الصاروخ علي مرحلتين أو ثلاثة مراحل كذلك يحتوي علي ثلاثة، أو أربعة أو تسعة صواريخ ذات وقود صلب أبوكسيه جرافيتيه. والحمولة التي ينقلها صاروخ دلتا-II إلى مدار إنتقالي متزامن (GTO) تتراوح كتلتها بين 891 إلى 2142 كجم، أو يحمل بين 2.7 إلى 6 طن متري (طن متري = 1.016 كجم) إلى مدار أرضي منخفض (LEO). صاروخ دلتا-II ذو المرحلتين يحلق في رحلات إلى المدارات الأرضية المنخفضة (LEO). بينما الصواريخ ذات المراحل الثلاثة تستخدم لحمل الحمولة إلى المدارات الإنتقالية المتزامنة GTO أو تستخدم في رحلات استكشاف الفضاء السحيق. مثلا مهمات ناسا إلى المريخ، والمذنبات، أو الكويكبات القريبة من الأرض.

صواريخ دلتا- IV :

توجد صواريخ إطلاق تستطيع حمل حمولة تتراوح بين 4210 إلى 13130 كجم إلى المدارات الإنتقالية المتزامنة. والأنواع الثلاثة من دلتا-IV تستخدم

صاروخ أساسي مشترك يستخدم محركات **RS-68** ذات الهيدروجين السائل/ والأكسجين السائل الذي ينتج قوة دافعة قدرها **KN** 2949 (663000 رطل).
التي يمكن زيادتها بإستخدام صاروخين إضافيين أو أربعة تعمل بالوقود الصلب قطر كل منها 1.5 متر.



الشكل (1-1) : عائلة صواريخ الإطلاق دلتا – 2 & 3.

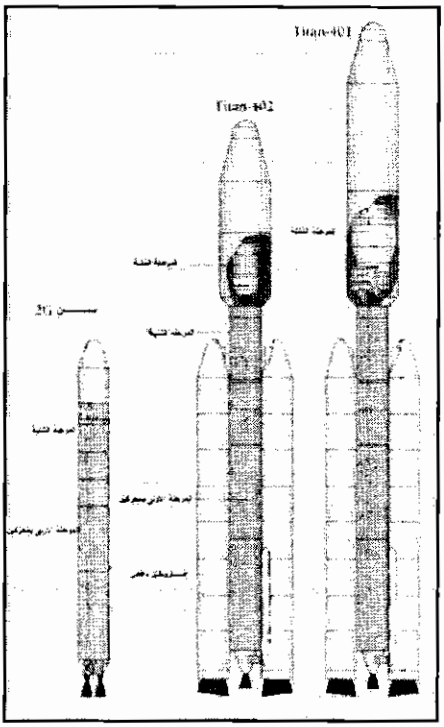
سجل إطلاق صواريخ دلتا حتى يوليو 2004 م عدد 307 رحلة بما فيها رحلات في مدار حول الأرض، ومهمات إلى الكواكب ترجع بدايتها إلى عام 1960م. ومركز كيندي الفضائي الذي أطلق منه الصاروخ ساتيرن -1 أصبح موقع لإطلاق صورايخ دلتا-**IV**.

2-2-1 : تيتان Titan :

تيتان-**IV** من أقوى الصواريخ التي تستخدم لمرة واحدة. يستطيع الصاروخ حمل حمولة مقدارها 18 طن إلى مدار منخفض أو حمل 14 طن إلى مدار قطبي أو حمل 4.5 طن إلى مدار إنتقالي متزامن. وحمل الصاروخ تيتان-**III** مركبة الفضاء فيكنج إلى المريخ عام 1975م. وتيتان-**IV** مجهز بصاروخين مطورين بوقود صلب، ومرحلة عليا عالية الطاقة (سنتور). استخدم هذا الصاروخ في إطلاق المركبة كاسيني Cassini في مدار إلى كوكب زحل عام 1997م (استغل

في هذا المدار جاذبية الكواكب الأخري لزيادة سرعة المركبة وتغير الاتجاه).
الصاروخ تيتان-**IV** اطلق إيضا المركبات فوجير-1 و 2 عام 1977م، كذلك اطلاق مركبة راصد المريخ Mars observer من قاعدة كيندي الفضائية (KSC) في كاب كانفرال عام 1992م.

يتكون تيتان-**IV** من صاروخين بوقود صلب كمرحلة إبتدائية. وصاروخ رئيسي بوقود سائل يتكون من مرحلتين وكبسولة لنقل الشحنة قطرها 5.09 متر. ولقد تم تطوير الصاروخ بزيادة الصواريخ الصلبة حوله لزيادة الحمولة بمقدار 25% تقريبا. و قد يحتوي تيتان-**IV** على مرحلة عليا (سنتور) ذات وقود صلب أو لا يحتوي علي مرحلة عليا. إطلقت صواريخ تيتان-**IV** من قاعدة فاندنبرج الجوية بكاليفورنيا و قاعدة كاب كانفرال بفلوريدا.

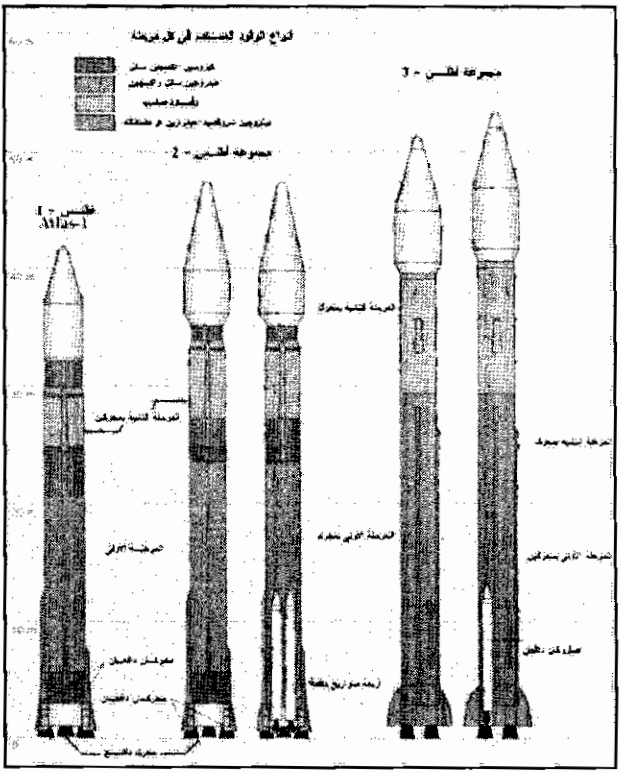


الشكل
(2-1)
مجموعة صواريخ تيتان.

3-2-1 :أطلس Atlas:

من الصواريخ التي تستخدم لمرة واحدة وتستخدم الوقود السائل:
أطلس -**II** AS يستطيع وضع حمولة 3833 كجم في مدار إنتقالي متزامن وقد تم احالة هذا الصاروخ **II A** إلى التقاعد في ديسمبر 2002م، والصاروخ أطلس **II**

للتقاعد في مارس 1998م. واعادة هندسة الصاروخ أطلس II نتج عنه أطلس III الذي حسن ادائه 5% علي الأقل. وأطلس V يستطيع حمل 8670 كجم في مدار إنتقالي متزامن وأول استخدام له كان في أغسطس 2002م.



الشكل (1-3) مجموعة صواريخ أطلـــس.

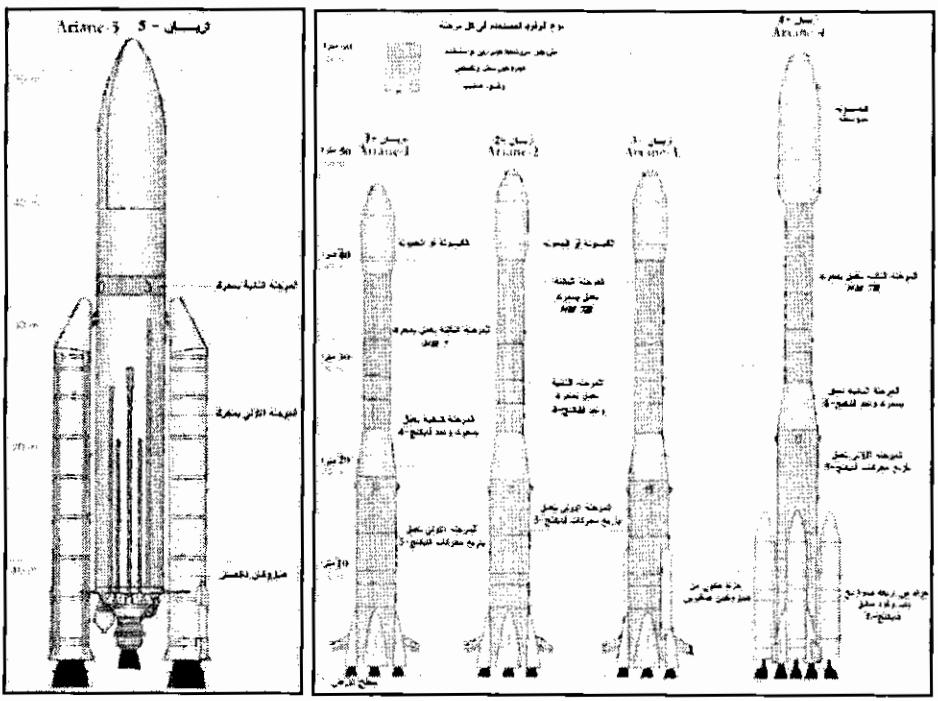
4-2-1 : اريـان Arian :

يعتبر من الصواريخ التي يمكن الإعتماد عليها حيث تستخدم الوقود السائل وتلحق به عدد من الصواريخ الصلبه أو الصواريخ السائلة. وتطلق هذه الصواريخ من قاعدة كورو في جوانا الفرنسيه بواسطة وكالة أريان الفضائية وهي أول شركة نقل فضائية في العالم تتكون من 36 شركة فضائية أوربية و13 بنك وغيرهم. وأريان–4 يستطيع حمل 4900 كجم إلى مدار إنتقالي متزامن الشكل (1-4). ولقد أطلق آريان حاملا المركبة بوسيدون/توبكس إلى ارتفاع عالى عن الأرض عام 1992م. ولقد اطلق أريان-4 في 45 رحلة ناجحة منذ ديسمبر 2000م.

أريان-5 دخل الخدمة لحمل 6.5 طن إلى مدار متزامن ثابت، وانضم لعائلة الصواريخ التي يتم تطويرها لحمل 12 طن في 2005 م. في عام 1996م فشلت أول رحلة اختبار لآريان-5 . وفي عام 1997م نجحت ثاني رحلة له ومازال في الخدمة حتى الآن.

5-2-1 : بروتـون Proton :

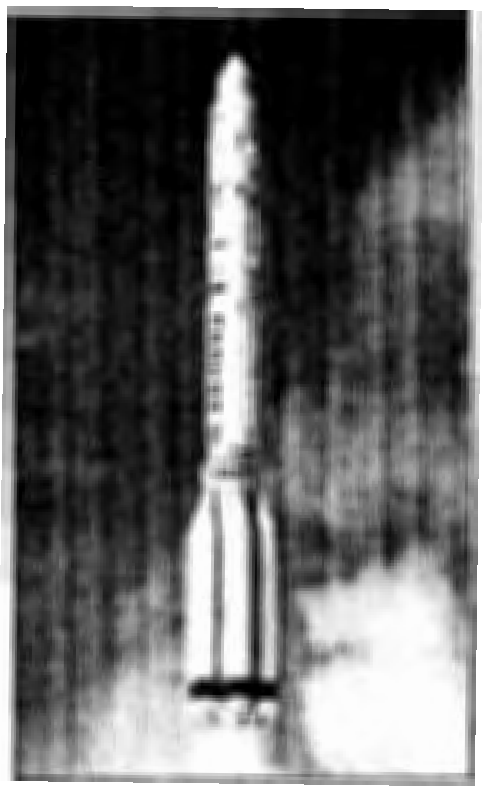
يستخدم صاروخ **بروتـون** الوقود السائل ويستطيع حمل 20 طن إلى مدار منخفض حول الأرض، طوره السوفيت واطلق من كازاخستان . اطلق بنجاح في 200 رحلة، وهو أطول الصواريخ الروسية في فترة خدمتة. واستخدم بثلاثة مراحل لإطلاق أكبر محطة فضائية في مدار منخفض حول الأرض الشكل (1-5)، وبإستخدام أربعة مراحل لحمل مركبة فضائية إلى مدار انتقالي متزامن ومدارات بين الكواكب.

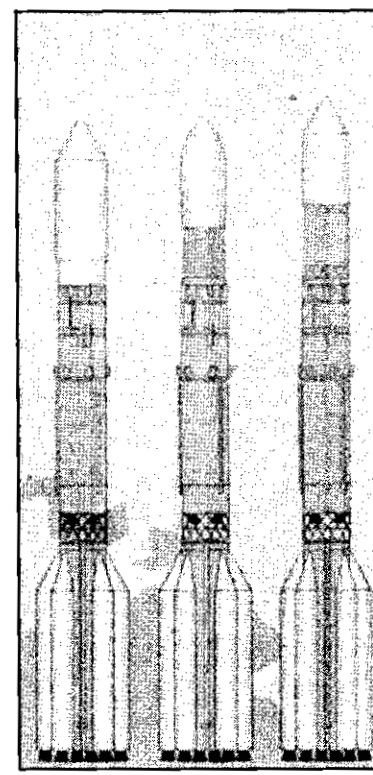


الشكل (1-4) : مجموعة صواريخ اريان.

6-2-1 : سيوز Soyus :

أثبت سيوز أنه أحد الصواريخ على مستوي العالم الذي استخدم بثقة ومرات عديدة حيث أتم حتى ديسمبر 2000 م أكثر من 1630 مهمة إلى مدارات الأقمار الصناعية الخاصة بالإتصالات ومراقبة الأرض ودراسة الطقس. لبى الصاروخ احتياجات السوق التجاري حيث يستطيع حمل 4100 كجم حتى 5500 كجم لمدار دائري على ارتفاع 450 كم.



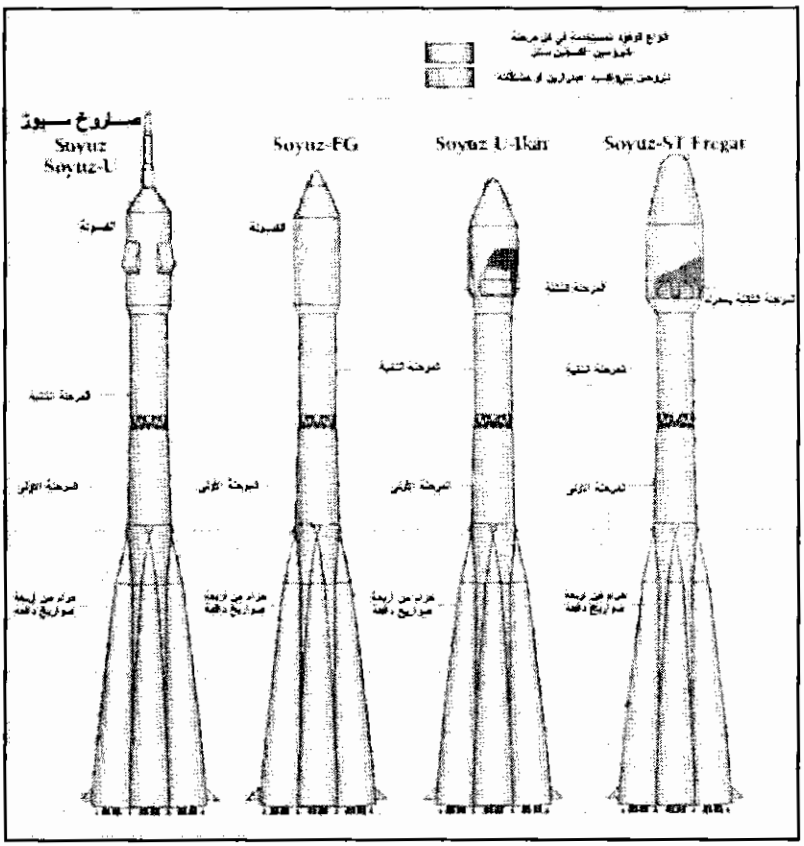


الشكل (1-5) : مجموعة صواريخ بروتـون.

3-1 : نظام النقل الفضائي :

المكوك الفضائي الأمريكي معروف كنظام نقل فضائي يعاد استخدامه حيث محركه الرئيسي يحرق الهيدروجين والأكسجين السائلين. وبعد كل رحلة للمكوك يعاد صيانة مركباته الأساسية ما عَدا خزانات الوقود الخارجية حتي يمكن استخدامه في المرة القادمة. ويستطيع المكوك حمل شحنة حتي 30 طن إلى مدار

أرضي منخفض. وبإستخدام مرحلة عليا يمكن حمل المركبة إلى مدار متزامن أو ادخاله في مدار بين الكواكب. تم اطلاق جاليليو وماجلان واليسس بواسطة هذا النظام. وبإستخدام مرحلة عليا حيث تكون المرحلتان من الوقود الصلب يمكن للنظام نقل مركبة فضائية إلى مدارها أو انقاذ الأقمار الصناعية (استعادتها) تجميع

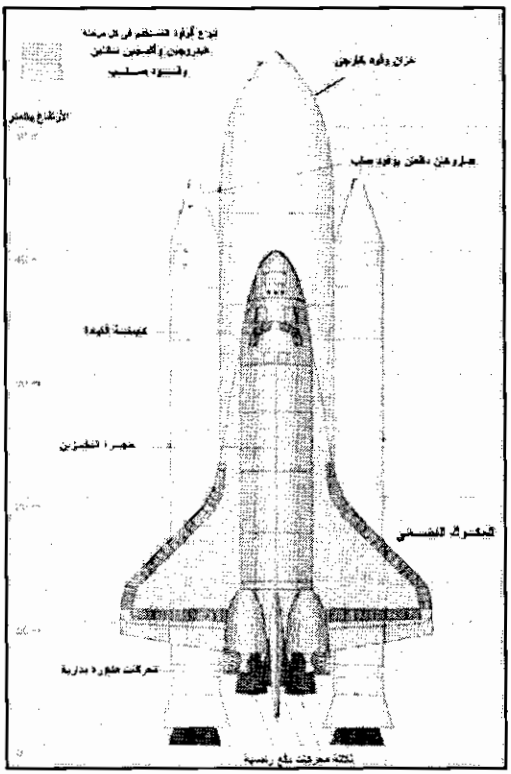


الشكل (1-6) : مجموعة صواريخ سايوز.

وخدمة المحطات الفضائية الدولية وحمل أجهزة علمية متعددة الأغراض تتراوح بين المعامل الفضائية إلى التجارب الصغيرة.

يوضح الشكل (1-7) المكوك الفضائي محمولا على خزان خارجي يحتوي على الفا متر مكعب من الهيدروجين والأكسجين السائلين المطلوبان لتشغيل محركات المكوك الثلاثة الرئيسية. وينفصل هذا الخزان ويسقط عندما يصل إلى

ارتفاع 114 كم بعد أن يؤدي مهمته. أما الصاروخان الجانبيين فانهما ينفصلان ويسقطان في البحر بمظلة بعد أن يشتعلا لمدة 120 ثانية، ويمكن استخدامهما 20 مرة.



الشكل
(7-1)
صاروخ اطلاق المكوك الفضائى.

4-1 : صواريخ الإطلاق الصغيرة :

كثيرا من أجهزة تجارب ناسا والأجهزة التجاريه العسكريه أصبحت أصغر حجما وأقل كتله. فالحمولة التي يراد نقلها تتراوح بين 100 إلى 1300 كجم، لذلك أصبحت الحاجة إلى مركبات فضائية صغيرة وازداد الطلب علي صواريخ إطلاق صغيره لهذه الحموله.

1-4-1 : بيجاسوس Pegasus :

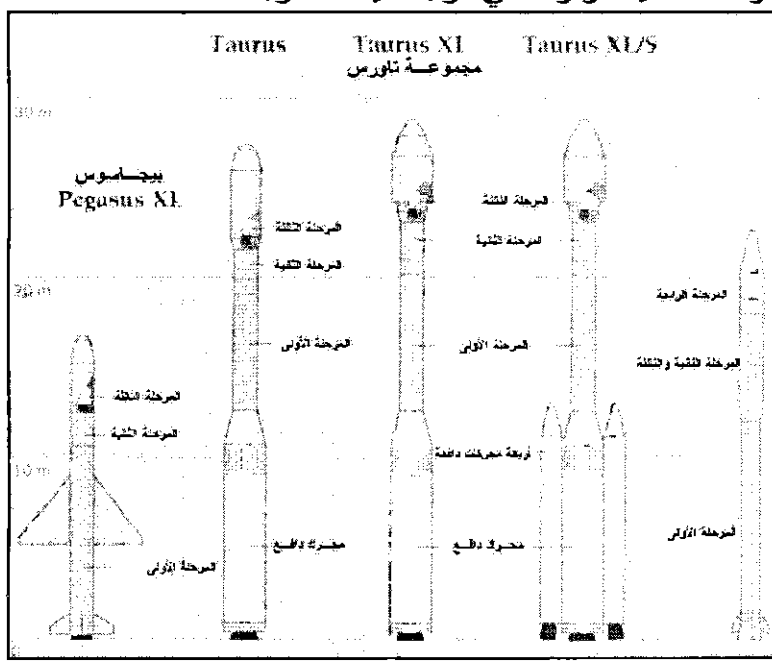
صاروخ صغير ذو أجنحه يستخدم الوقود الصلب، شكله يشبه قذيفة انسيابية. ويطلق من تحت هيكل الطائرات التي تطير علي ارتفاعات عاليه ويستطيع بيجاسو حمل 400 كجم إلى المدار الأرضي المنخفض.

2-4-1 : الثـور Taurus :

مكون من أربعة مراحل يستطيع نقل حمولة 1350 كجم إلى مدار أرضي منخفض أو 350 كجم إلى مدار متزامن .

1-5 : مواقع الإطلاق Launch Sites :

إذا تم إطلاق مركبة الفضاء من موقع قريبا من دائرة الأستواء الأرضي فإن المركبة تستفيد من سرعة دوران الأرض حول نفسها. إن مواقع الإطلاق القريبة من دوائر الاستواء تتحرك (نتيجة دوران الأرض حول محورها) بسرعة أعلى من 1650 كم/ساعة بالنسبة لمركز الأرض. وهذا يطبق علي السرعة المطلوبة لتدور المركبة حول الأرض (28000 كم/ساعه تقريبا) . بالمقارنة نجد أن اطلاق المركبة قرب الاستواء يتطلب وقود أقل أو تحمل المركبة حمولة أكبر من تلك المركبة التي يتم اطلاقها من مواقع بعيدة عن دائرة الاستواء. والمركبات الفضائية التي تدور حول الأرض في مدارات كبيره الميل لاتستفيد من سرعة دوران الأرض لانها لا تستطيع الإنطلاق في اتجاه حركة الأرض نحو الشرق. لذلك تحتاج هذه المركبات لوقود أكثر حتي تصل إلى السرعة المطلوبة للدوران حول الأرض. وتعتمد كمية الوقود علي درجة ميل المدار.



الشكل (1-8) : صواريخ الإطلاق الصغيرة بيجاسوس وتاورس.

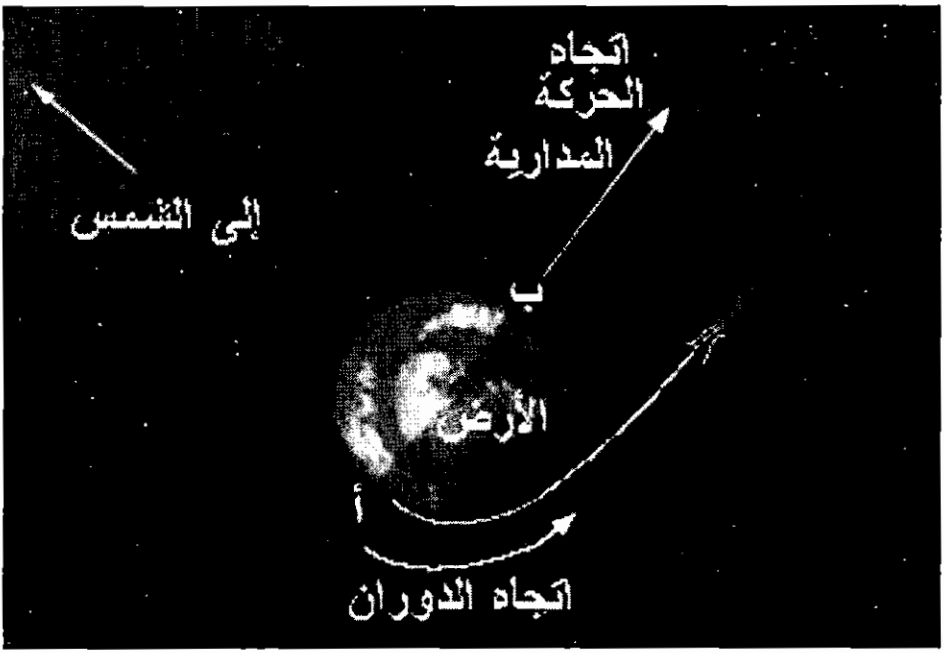
يجب أن تكون مواقع الإطلاق مكشوفة لهذا يجب الا تحلق صواريخ الإطلاق فوق الأماكن المأهوله بالسكان تحسبا لحدوث أي حادثة. عند اطلاق المكوك الفضائي تضاف قيود أكثر صرامة مثل أن تكون سرعة الرياح في ممر الهبوط مقبوله والطقس جيد وظروف الإضاءة حول موقع الإطلاق جيدة، كذلك عبر المحيط الأطلنطي لأنه في حالات الطواريء يمكن محاولة هبوطه في المحيط.

والإطلاق من الساحل الشرقي للولايات المتحدة (مركز كيندي الفضائي بكيب كانفرال بفلوريدا) مناسب فقط لإطلاق مركبات المدارات صغيره الميل، لأن أغلب التجمعات السكانية تقع تحت مسار المدارات كبيره الميل. لذلك فإن مركبات المدارات عالية الميل يتم اطلاقها من قاعدة فان بنرج للسلاح الجوي علي الساحل الغربي في كالفيورنيا حيث يمكن تجنب مرور مسار المركبة بالتجمعات السكانية، والمواقع الاستوائية غير مفضلة لإطلاق المركبات لمدارات كبيره عالية الميل. حيث يمكن اطلاقها من أي خط عرض. ويتطلب اطلاق الصواريخ الثقيلة أمكانيات أرضية معقدة ولكن الصواريخ الصغيره مثل الثور تحتاج إلى امكانيات بسيطة ويمكن نقلها من موقع لآخر. أما بيجاسوس لا يتطلب أكثر من الطائرة الأم التي ستحمل عليها أثناء طيرانها.

6-1 : نوافذ الإطلاق :

نافذة الإطلاق Launch window هي الفترة الزمنية التي يصلح فيها اطلاق المركبة ويتحقق فيها الشروط التي تحقق الأمان وأهداف المهمة. فاطلاق مركبة لرحلة كوكبية يكون مدي نافذة الإطلاق عدة أسابيع حيث ترتبط النافذة بموقع الأرض في مدارها حول الشمس حتي تسمح للمركبة بإستخدام مدار الأرض للوصول إلى الكوكب في التوقيت المناسب. ويمكن أن تتقيد نافذة الإطلاق بعدة ساعات كل يوم لإستغلال حركة دوران الأرض حول محورها. فالشكل (1-9) يوضح إطلاق الصاروخ من موقع (أ) لحظة الغروب عليه حيث تتحرك المركبة في منطقة الليل وحركة الأرض تجعل حركة الصاروخ في الإتجاه المعاكس للشمس. أما إذا تم الإطلاق وموقع الإطلاق في ساعات الصبح الأولى عند الموقع (ب) نجد أن الإطلاق سيكون في اتجاه معاكس لحركة دوران الكرة الأرضية لتتجه المركبه في الاتجاه المعاكس للشمس. والنافذة اليومية للإطلاق يمكن أن تتقيد أكثر بعوامل أخري مثل الهبوط الأضطراري لمركبة الفضاء. وبالطبع عند حدوث التحام بين مركبتين في مدار حول الأرض فيجب أن يكون توقيت زمن الاقلاع مع حركة المركبة في مدارها حول الأرض. وهذا ماحدث عندما ارسلت مركبة في

مهمة لاصلاح مناظر هابل الفضائي في ديسمبر 1993، فبراير 1997 وديسمبر 1999م.



الشكل (1-9) اتجاه حركة الصاروخ وحركة الأرض.

1-7 : الأعمال التحضيرية للإطلاق :

هى عملية التجميع والاختبار يتبعها عملية الإطلاق. يوضع جدول زمنى دقيق لهذه المراحل. إن تصنيع المركبة والأجهزة يجب أن يرتبط بخطة حيث تأخذ المركبة شكلها في مكان فسيح ومغلق ونظيف. ثم تجمع وتختبر بإستخدام برامج الحاسب الإلى لإرسال أوامر لها وتلقي بيانات منها تماما مثل ما سيحدث أثناء الرحلة. يتم نقل المركبة إلى معمل اختبار حيث توضع علي طاولة أهتزاز لتخضع لإهتزازات تشبه التي تحدث لها عند الإطلاق. ثم توضع في غرفة حراريه معزولة لإختبار الخواص الحرارية للمركبة، ويتم ذلك وأجهزة المركبة متصلة بالحاسب الإلى. وتجري تعديلات في الغطاء الحراري للمركبة إذا إحتاجت لذلك ثم يعاد الاختبار الحراري مرة أخرى. ثم تنقل المركبة الفضائية إلى موقع الإطلاق ثم تثبت المركبة داخل ناقل تتحكم فيه من بعد استعدادا للرحلة، وفي موقع الإطلاق يمكن عمل اختبارات أضافيه. ويتم تزويدها بالوقود. ويتم وضع المركبة

أعلي صاروخ الإطلاق. والمحافظة علي نظافة المركبة الفضائية أثناء وضع الحمولة داخلها.

8-1 : شراء خدمة الإطلاق :

جميع العمليات من بداية عقد الإتفاق إلى الإطلاق الفعلي يستغرق حوالى أربعة سنوات ونصف. ولا يتم شراء صواريخ الإطلاق ولكن يتم شراء خدمة الإطلاق.

تجميع صاروخ الإطلاق: توجد عمليات طويلة وتفاصيل للتخطيط لهذه العمليات. كيف تجمع المركبة الفضائية مع صاروخ الإطلاق بحيث يكون كل شيء علي مايرام تماما. هذا يشمل أن المركبة الفضائية توضع بدقة في مخزن الحموله في أعلي الصاروخ بحيث لا يحدث أي أضرار نتيجة للقوي المؤثرة عليها أثناء الإطلاق والتأكد من أن الصاروخ سيحمل المركبة إلى مدارها الصحيح ليتحقق هدف الرحلة.

يتم شحن المركبة الفضائية إلى موقع الإطلاق تقريبا في نفس الوقت الذي يتم شحن صاروخ الإطلاق إليه قبل موعد الإطلاق بثلاثة أشهر علي الأقل. ثم توضع المركبة الفضائية في موقعها أعلي الصاروخ برفق. يحدث هذا في غضون عشرة أيام قبل الإطلاق حيث يبدأ العد التنازلي للرحلة. والعد التنازلي يساعد جميع الأشخاص في أنسجام فى اتمام كثير من العمليات المتوازية التي يجب أن تتم ليكون كل شيء جاهز للحظة الإطلاق. ويجب أن ينتهي العمل المنوط للأشخاص في موعد زمني محدد أثناء العد التنازلي ولا يسمح بتداخل الأعمال مع بعضها. وأثناء هذه الفترة، يجب أن تنتهي أي عمليات نهائية علي المركبة الفضائية، بما فيها ازالة الأغطية التي تغلف الأجهزة، وعموما يكون كل شيء قد انجز بدقة استعدادا ليوم الإطلاق الكبير.

9-1 : يوم الإطلاق:

قبل الإطلاق بيوم يبدأ تزويد الصاروخ بالوقود واجراء الأستعدادات النهائية وحضور الطاقم المشرف علي الإطلاق لتشغيل المركبة، وتحميل البرامج وارسال الأوامر التي تضع المركبة في وضع الإطلاق. وفي أوقات مختلفة يوحد استطلاع للرأي حيث يكتب مديروا الإطلاق تقارير عما إذا كان الإطلاق سيتم في موعده أم هناك مشاكل. وقبل الإطلاق بخمسة أو عشرة دقائق يتم العدد التنازلي النهائي. وأثناء هذه الدقائق النهائية يتم التحكم في عمليات الإطلاق بواسطة الحاسب الآلي.

وعند الزمن صفر إذا لم يوجد أي صعوبات أو مشاكل فإن الصاروخ حاملا المركبة في مقدمته يبدأن الرحلة.