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