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

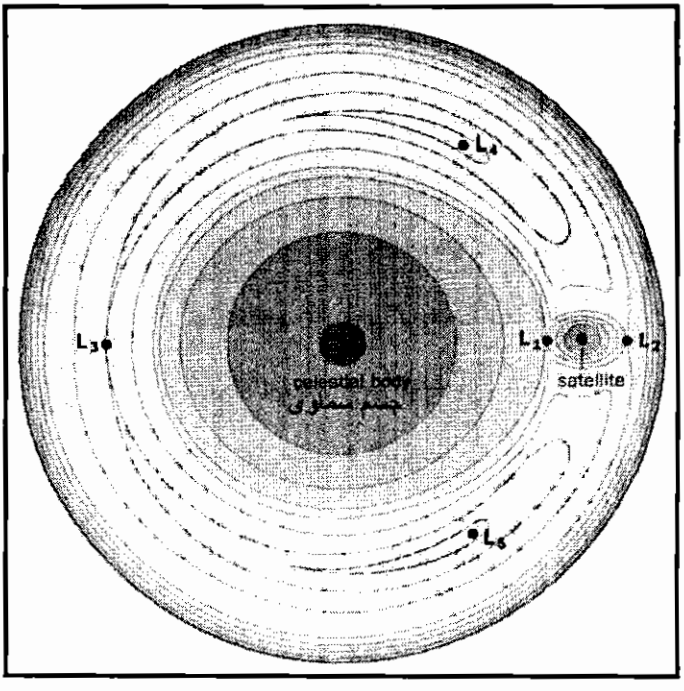
---

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

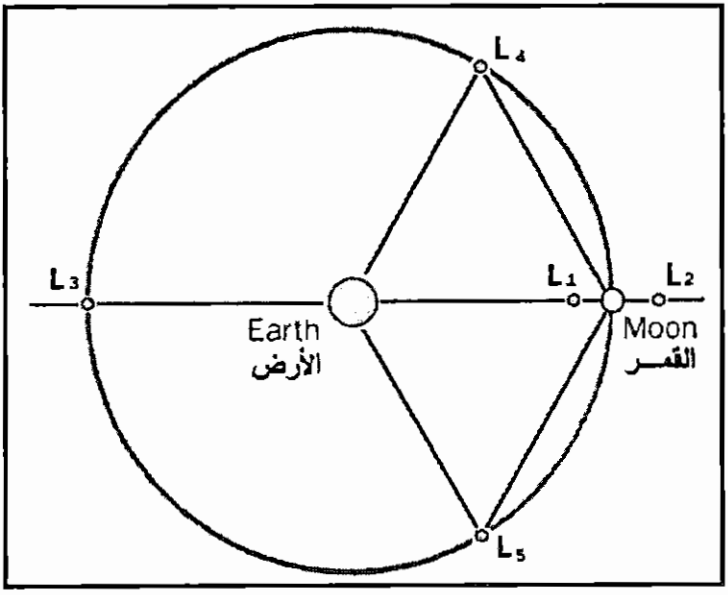
الكسوف الشمسي لان القمر الصناعي يقع بين الشمس والقمر الطبيعي مما يتيح أرصادًا مستمرة للشمس.

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.

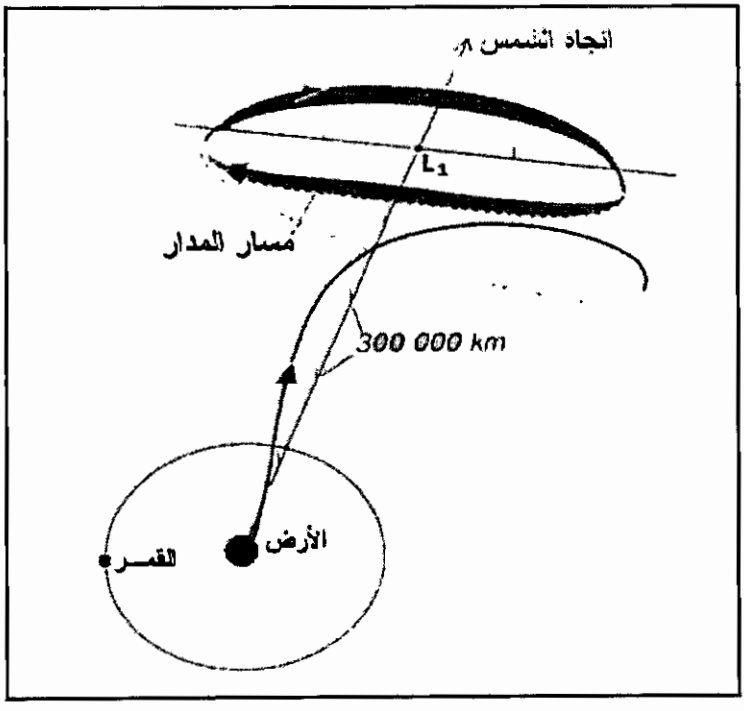
فى المستقبل يمكن استغلال نقاط لاجرانج لوضع مستعمرات فضائية على مسافات ثابتة من الأرض بدون استخدام أي طاقة إضافية (النقط L_4 , L_5 في نظام الأرض والقمر). حيث أن أي جسم عند النقط L_4 , L_5 يكون مستقرا ولا يستطيع الابتعاد عنها نتيجة الإقلاق على عكس النقط L_1 , L_2 , L_3 فهي غير مستقرة وأي حركة طفيفة يمكن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