الفصل الخامس

رحلة إلى كوكب المريخ

5-1 : المدار الإنتقالي

5-2 : قانون كبلر الثالث

5-3 : تحديد موقع المريخ

5-4 : معادلة الطاقة

5-5 : الحسابات

5-6 : وصول المركبه للمريخ

5-7 : رحلة العودة من المريخ

5-8 : عيوب مدار هومان الإنتقالي

5-9 :مدارات هومان إلى ومن المريخ

5-10 : الدورة الأقترانية

رحلة إلى كوكب المريخ[9]

سوف نستخدم ميكانيكا المدارات لنخطط الآن لرحلة فضائية إلى كوكب المريخ. لتيسير حساب الرحلة نفترض أن كلا من مداري الأرض والمريخ دائريان ويقعان فى نفس المستوي، ومركزهما الشمس الشكل (5-1). ونصف قطر مدار الأرض هو r_1 ويساوي تقريبا 150 مليون كم، وتعرف هذه المسافة بالوحدة الفلكية Astronomical unit (AU). وهى الوحدة التى تم إختيارها لقياس أبعاد أفراد المجموعة الشمسية. وسوف نستخدم هذه الوحدة هنا فى جميع المسافات ونعبر عن الزمن بطول السنة الأرضية. وبهذه الوحدات يكون نصف قطر مدار الأرض r_1 = وحدة فلكية واحدة، وزمن دورة الأرض حول الشمس T_1 = سنة أرضية واحدة. وبالنسبة لكوكب المريخ فإن نصف قطر مداره r_2 = 1.52369 وحدة فلكية، وزمن دورته فى مداره T_2 = 1.8822 سنة.

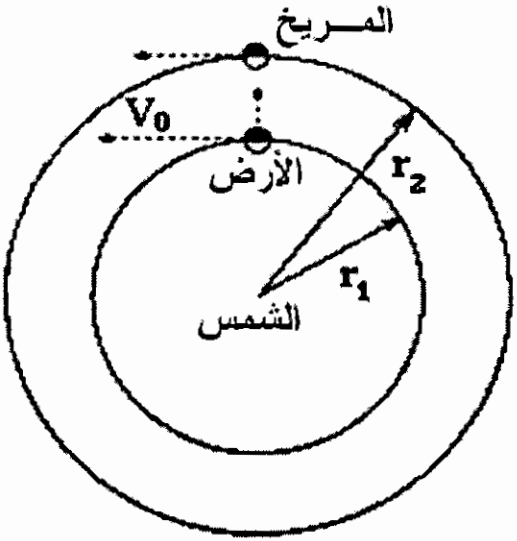
بالنسبة للأشخاص الذين لايعلمون شيء عن ميكانيكا المدارات يتخيليون أن انسب طريقة للوصول إلى كوكب المريخ من الأرض هو الانتظار حتى يصبح الكوكبان أقرب ما يمكن من بعضهما البعض وعندئذ نوجه الصاروخ تجاه المريخ

المريخ ونطلقه. وهذا لا يحدث لعده أسباب وهي:

أولا: سوف تؤثر جاذبية الأرض على مسار الصاروخ ولا تجعله مستقيما. ولإزالة هذا التأثير نفترض أن الصاروخ وضع فى مدار بعيد حول الأرض (مدار الإنتظار) حيث تكون الجاذبية ضعيفة والحركة فى المدار بطيئة.

---

[9] هذا الباب من **http : //www- istp. gsfc. Nasa. gov / stargaze/ smars1. htm**



الشكل (5-1). الأرض والمريخ عند اقترابهم من بعضهم.

ثانيا: حتى الآن يدور الصاروخ (قبل الإطلاق) مع الأرض حول الشمس بسرعة تصل إلى 30 كم/ث وسوف نعبر عنها بالرمز V_0. وهذه السرعة أسرع بكثير من السرعة التي نحتاجها للوصول إلى مدار المريخ. وإذا اطلقنا الصاروخ عندما يكون المريخ أقرب ما يكون من الأرض فإن اتجاه السرعة V_0 سوف تكون متعامدة على اتجاه حركة المريخ، ولهذا فإن المركبة الفضائية سوف تبدأ رحلتها فى اتجاه مختلف تماما عن اتجاه حركة المريخ- والمريخ سوف يتحرك لمسافة كبيرة فى مداره قبل أن تصل إليه المركبة الفضائية.

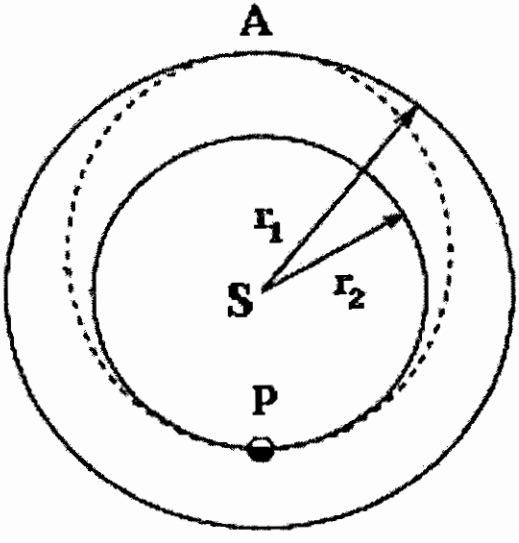
ثالثا: إن النظام بكامله يكون تحت تأثير جاذبية الشمس. فكل الأجسام التى تتحرك فى مدارات تبعا لقوانين كبلر تكون مدارات مخروطية وفى هذه الحالة تكون مدار أهليجي (بيضاوى).

1-5 : المدار الإنتقالي Transfer Orbit :

بدلا من توجيه الصاروخ إلى المريخ واطلاقه فالأفضل أن نبحث عن مدار تتحرك فيه المركبه الفضائية من الأرض للمريخ، ونختار وقت الإطلاق بحيث يكون وصول المركبة إلى مدار المريخ متزامن مع وصول المريخ نفسه لهذا الموقع. بالإضافة إلى أن يكون اتجاه حركة المركبة عند وصولها يسمح بسهولة التلائم مع سرعة المريخ. وهذا يؤدي إلى ما يسمي بمدار هومان الأهليجي الإنتقالي. وهو مدار تكون نقطة حضيضة **P** على مدار الأرض وتكون نقطة أوجه ***A*** على مدار المريخ الشكل (5-2) . وهذا ما يحدث أيضا عند

استخدام المدار الإنتقالي للإنتقال بين مدار قمر منخفض حول الأرض (r = 1.1 نصف قطر الأرض) ومدار عالى الإرتفاع متزامن مع الأرض على ارتفاع = 6.6 نصف قطر الأرض، وهذا المدار الإنتقالي يستخدم لوضع اقمار الإتصالات فى مدارها النهائي. ويكون الإطلاق من النقطة P بتزويد المركبة بسرعة اضافية بالإضافة للسرعة V_0 التي يتحرك بها في المدار الإبتدائي وذلك لتغيير مدار المركبة إلى مدار بيضاوى أكبر.

يجب أن يكون كوكب المريخ لحظة الإطلاق فى موقع بالنسبة للأرض بحيث يصل إلى النقطة A فى نفس الزمن الذى تصل فيه المركبة لهذه النقطة. ولتحديد هذه النقطة يجب أن نعرف أولا زمن طيران المركبة من النقطة P إلى النقطة A وهذا ما سنستنتجه بإستخدام قانون كبلر الثالث.



الشكل
(2-5)
مدار هومان الأنتقالى.

2-5 : قانون كبلر الثالث :

ينص القانون على أن جميع الأجسام التى تدور حول الشمس فإن
مقدار ثابت $T^2 / a^3 = Constant$
حيث T الدورة المدارية للجسم حول الشمس، a نصف القطر الأعظم للمدار، وهو نصف قطر المدار الإهليجي (فى الدائرة = نصف قطر الدائرة). والثابت هو نفسه لجميع الأجسام التى تدور حول الشمس بما فيها الأرض. والقيمة

الدقيقة للثابت تعتمد على الوحدات المستخدمة فى T و a . وبإستخدام وحدات الأرض نجد أن $T = 1$ year ، $a = 1$ AU أي أن :

$$T^2 / a^3 = 1$$

وبالتالى فإن الثابت تكون قيمته الوحدة وتستخدم هذه القيمة لأي كوكب، وبضرب طرفي المعادلة فى a^3 نجد أن : $T^2 = a^3$

وتكون المسافة بين النقطة P ، A للمدار الأهليجي بالوحدات الفلكية.

$$r_1 + r_2 = 1.523691 + 1 = 2.523691 \ AU$$

وهذا هو طول المحور الأعظم للمدار الأهليجي الإنتقالي ، ونصف هذا القطر هو

$$a = 1.261845$$

$$a^3 = 2.00918 = T^2$$

وبأخذ مربع الزمن نجد أن: $T = 1.417454$ سنة

وهذا هو زمن دورة الدورة الكاملة للمدار الإنتقالي من النقطة P إلى النقطة A ثم العودة مرة أخرى إلى النقطة P (حيث تمثل T زمن الدوره الكامله فى المدار). ويكون زمن الرحلة ذهابا إلى المريخ نصف هذا الزمن أى 0.70873 سنه أو 8.5 شهر.

3-5 : تحديد موقع المريخ :

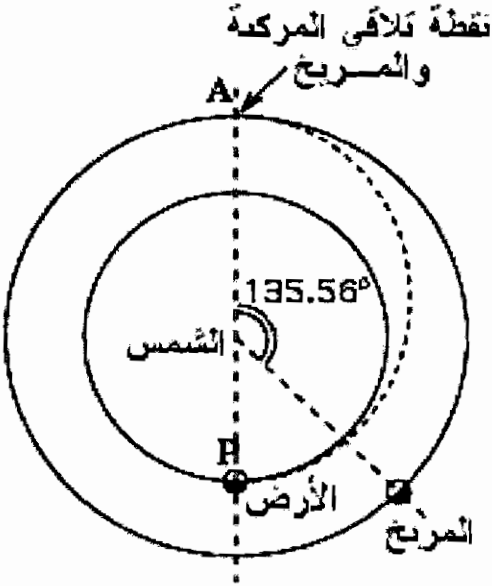
أين موقع المريخ لحظة إطلاق المركبة الفضائية؟

نعلم أن زمن دورة المريخ حول الشمس $T_2 =$ 1.8822 سنة وهي تقابل زاوية مقدارها 360 º. لهذا وبفرض أن مدار المريخ دائري وحركة الكوكب فى مداره منتظم، لذلك فإن زمن فترة الرحلة للمركبة هو 0.70873 سنة يقطع فيها المريخ زاوية مقدارها

$$360^0 \times (0.70886 / 1.88) = 135.555^0$$

لهذا يجب أن تكون لحظة اطلاق المركبة عندما يكون المريخ فى مداره على بعد 135.555^0 من النقطة A الشكل (5-3).

فى الخطوة التالية يجب أن نحسب السرعة التى يجب أن تكتسبها المركبة عند النقطة A والتغير المطلوب فى السرعة عند النقطة A لتتناسب سرعة المركبة مع سرعة المريخ.



الشكل
(3-5)
موقع المريخ بالنسبة للأرض عند
اطلاق المركبة إليه.

مما سبق تم تحديد مسار المركبة الفضائية إلى المريخ عبر مدار هومان الأهليجي الإنتقالي. والزمن الذى تستغرقه الرحلة والذي تم تحديده بحوالي 8.5 شهر، كذلك موضع المريخ لحظة اطلاق المركبة من الأرض يتقدم بزاوية قدرها (180-135.555) ^{0} 45° بعد وصول المريخ إلى النقطة ***P*** .

كما ذكرنا فإن السرعة المدارية للأرض **V0** حول الشمس حوالي 30 كم/ ث وهي أكبر بكثير من السرعة **V0** = 8 كم/ ث المطلوبة للقمر الصناعي ليأخذ مدار دائري منخفض حول الأرض، وسرعة هروب المركبة **Ve** من المدار الدائري المنخفض نحصل عليها بضرب **V0** بالجذر التربيعي $\sqrt{2}$ أو 1.41421356 تقريبا وهذا يعطينا

$$=1.414 \text{ X } 8 = 11.312 \text{ Km/s} = 1.414\ V_0\ V_e$$

فى هذه الحالة لا تكون المركبة حرة الحركة للتتجه لأى نقطة فى الفضاء. ولكن هذه السرعة ابعدت المركبة عن جاذبية الأرض فقط، ولكن لم تحررها من جاذبية الشمس، حيث ستتحرك المركبة فى مدار حول الشمس بدلا من المدار التى كانت تتحرك فيه حول الأرض.

لهروب المركبة الفضائية من المدار الدائري حول الشمس لتتحرك خارج المجموعة الشمسية والهروب من جاذبية الشمس أيضا، فإن المركبة تحتاج إلى زيادة سرعتها إلى ما يسمي بسرعة الهروب الثانيةSecond escape velocity.

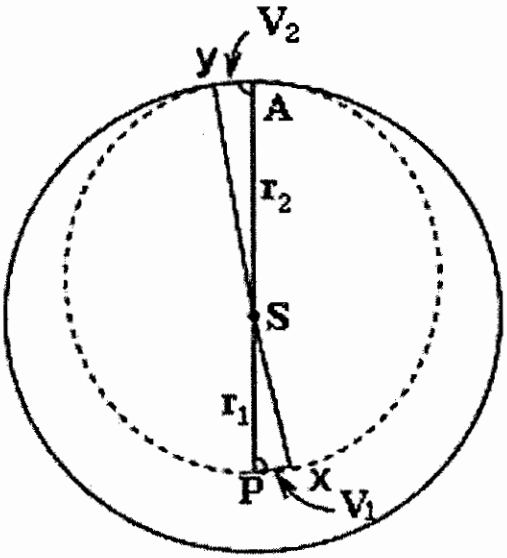
$$V_e = 1.414\ V_0 = 1.414 \times 30 = 42.42\ \text{Km/s} = =$$

وللوصول إلى السرعة V_e يجب زيادة سرعة المركبة بمقدار 12.42 كم/ث عن سرعة المركبة التى تحتاجها للهروب من جاذبية الأرض (30 كم/ث) مبتدأ من السكون على سطح الأرض. ولحسن الحظ توجد طرق لإستخدام حركة الكواكب (أو القمر) تساعد على المساهمة بزيادة جزء من هذه السرعة.

والسرعات الأخرى التى نستخدمها فى الحسابات هي السرعة V_1 التى تبدأ بها المركبة دخول مدار هومان البيضاوي بالقرب من الأرض (حيث يكون بعدها عن الشمس r_1)، والسرعة V_2 التى تصل بها المركبة إلى مدار المريخ. (حيث يكون بعد المركبة عن الشمس r_2). كذلك السرعة V_3 وهى سرعة كوكب المريخ فى مداره، بفرض ثبات هذه السرعه (بفرض أن المدار دائري). وإذا كانت V_2 (سرعة المركبة عند دخولها إلى مدار المريخ) $< V_3$ (سرعة المريخ فى مداره) فإن المركبة تسبق الكوكب، أما إذا كانت $V_3 > V_2$ فإن الكوكب يسبق المركبة.

ويوضح الشكل (5-4) مدار كوكب المريخ (المنحني المتصل) والمدار الإنتقالي (المنحني المتقطع) وأنصاف اقطارها r_1 , r_2 وهما البعد بين نقطة الحضيض P ونقطة الأوج A فى المدار الإنتقالي وعند هاتين النقطتين تكون سرعة المركبة , V_1 عند P، V_2 عند A. وإذا رسمنا المسافة التى تتحركها المركبة لمدة ثانية واحدة بعد عبورها نقطة الحضيض بسرعة V_1 والمسافة التى تتحركها المركبه لمده ثانية واحدة بعد عبورها نقطة الأوج بسرعة V_2 . ففي الواقع تكون هذه المسافات جزء من المدار أي جزء من منحني ولكن لكون هذه المسافة قصيرة يمكننا بدون خطأ أهمال هذا الانحناء ونعتبره خطا مستقيما، ونرسم المثلثان الرفيعان SPX و SAY حيث قاعدتهما PX و AY تلك المسافة وهذان المثلثان قائما الزاوية لأن الخط الواصل بين الحضيض والأوج APيكون متعامد على اتجاه السرعة عند هاتين النقطتين.

فعند نقطة الحضيض يكون ارتفاع المثلث r_1 وطول قاعدته V_1 (لأن الزمن ثانية واحدة) لذلك تكون مساحة المثلث : $A_1 = r_1 V_1 /2$



الشكل (4-5) تطبيق قانون كبلر الثانى.

عند نقطة الأوج تكون مساحة المثلث

$$A_2 = r_2 V_2 /2$$

وبتطبيق قانون كبلر الثاني الخاص بتساوي المساحات $A_1 = A_2$ عند تساوي الزمن نجد أن :

$$r_1 V_1 = r_2 V_2 \qquad (1\text{-}5)$$

لاحظ أن هذه العلاقة تسري عند نقطة الحضيض والأوج فقط لأن عند أي نقطة أخرى فى المدار لا يكون الخط متعامد على اتجاه السرعة.

4-5 : معادلة الطاقة Energy Equation :

نحن نعلم أن القمر الصناعي E الذى كتلته M ويدور فى مدار حول الأرض، تكون طاقته عند أي نقطة فى المدار :

$$E = mv^2/2 - Km/r \qquad (2\text{-}5)$$

حيث r بعد هذه النقطة عن مركز الأرض، V سرعة المركبة الفضائية عند هذه النقطة، K قيمة ثابتة، مرتبطة بالعجلة التثاقليه g. وحيث أن الطاقة لا تتبدد فإن الحد الأيمن له نفس القيمة عند أي نقطة فى المدار. وهناك علاقة مشابه تسري للمدارات حول الشمس، مع اختلاف قيمة K.

ولجسم يدور حول الأرض ليكمل هروبه من جاذبية الشمس يحتاج لسرعة $V_e = 1.414 \times V_0 = 42.42$ كم/ث . نفرض أن E_0 هي طاقة هذا الجسم، وحيث أن

$$V_e^2 = 2 V_0^2 \qquad (3\text{-}5)$$

ففي المدار حول الأرض تكون الطاقة :

$$E_0 = mV_0^2 - Km / r_1$$

وحيث أن هذا الجسم له سرعة هروب، فإذا انتظرنا لفترة طويلة جدا من الزمن سنجد أن الجسم أصبح على مسافة بعيدا جدا من الأرض وأن الجسم استنفذ كل طاقة حركته، وتصبح سرعته قريبة جدا من الصفر حينئذ يكون مجموع حدي الطرف الأيمن للمعادلة (2-5) يساوي الصفر وبذلك يكون

$$mV_0^2 - Km / r_1 = 0$$

وبقسمه المعادلة على m نحصل على

$$V_0^2 = K / r_1$$

حيث يمكن الحصول على K

$$K = V_0^2 / r_1 \quad (3\text{-}13)$$

5-5 : الحسابات:

نعود إلى المركبة الفضائية فى المدار الإنتقالي إلى المريخ، فإن طاقة هذا المدار تكون ثابتة عند أي نقطة فيه، أي فى الحضيض **P** والأوج **A** ، وبإستخدام المعادلة (2-5)

$$m V_1^2/2 - Km / r_1 = mV^2_2/2 - Km/ r_2$$

ويمكن تبسيط هذه المعادلة لتصبح

$$V_1^2 - V^2_2 = 2V_0^2 \ (1 - r_1/ r_2) \qquad (4\text{-}5)$$

لدينا الآن كميتين غير معروفتين القيمة V_1 , V_2 ولدينا أيضا معادلتين منفصلتين تشملان على هاتين الكميتين ، هما المعادلة (1-5) والمعادلة (4-5) المعادلة رقم (1-5) يمكن كتابتها على الصورة

$$V_2 = V_1 \ (r_1 / r_2) \qquad (5\text{-}5)$$

وبالتعويض فى المعادلة (4) عن V_2^2 فى الطرف الأيسر

$$V_1^2 - V_1^2 \ (r_1^2 / r^2_2) = 2 V_0^2 \ (1- r_1 / r_2)$$

$$V_1^2 \ (1- r_1^2 / r_2^2) = 2 V_0^2 \ (1- r_1 / r_2) \quad (5\text{-}6)$$

نحصل على معادلة واحدة فى كمية مجهولة واحدة هي V_1 ولكن نحتاج الآن فصل V_1^2 عن باقي الحدود .

نحن نعلم أن : $(r_2^2 - r_1^2) = (r_2 + r_1)(r_2 - r_1)$

لهذا نجد أن (5-6) يمكن كتابتها على الشكل التالى :

$$V_1^2 \ (r_2^2 - r_1^2) / r^2_2 = 2 V_0^2 \ (r_2 - r_1) / r_2$$

$$V_1^2 (r_2 + r_1) / r_2 = 2V_0^2$$

$$V_1^2 = 2V_0^2 \ r_2 / (r_2 + r_1) \quad (7\text{-}5)$$

وبالتعويض عن قيم r_2 , r_1 نجد ان

$$2 r_2 / (r_2 + r_1) = 1.20751$$

$$V^2_1 = 1.20751 \ V_0^2$$

$$V_1 = 1.098867 \ V_0$$

إذا كانت V_0 = 30 كم/ ث فإن :

$$V_1 = 32.966 \ Km/s$$

فهذا يعني أننا نحتاج إلى 2.966 كم/ث أي نحتاج إلى زيادة السرعة بمقدار 3 كم/ث أو 10% من السرعة المدارية حول الأرض لدخول المركبة فى المدار الأهليجي الأنتقالي.

6-5 : وصول المركبه للمريخ :

سرعة الوصول إلى مدار كوكب المريخ V_2 يمكن ايجادها من المعادلة (5-5).

$$V_2 = V_1 (r_1 / r_2) = 21.6356 \ Km/s$$

بإستخدام قانون كبلر الثالث (وحيث أن مدار المريخ دائري) فإن $r = a$ نجد أن

$$T^2 = r^3 = (1.523691)^3 = 3.63745$$

$$T \text{ سنة} = 1.8808 = 687.473 \text{ يوم}$$

وأثناء هذا الزمن فإن المركبة الفضائية تقطع مسافة قدرها :

$$2\pi r = 2 \times 3.14 \times 1.523691 \times 150 \times 10^6 = 1436.05 \times 10^6 \text{ Km}$$

بالقسمة على T نحصل على سرعة المركبة فى المدار:

$$1436.05 \times 10^6 / 687.473 = 2,088\ 880 \text{ Km/day}$$

كل يوم فيه 24 x 3600 = 86400 ثانية، لهذا نجد أن المريخ في كل ثانية يقطع من مداره

$$2,088,880 / 86400 = 24.192 \text{ Km}$$

وهذا يعني أن سرعة المريخ في مداره V_3 = 24.177 كم/ث.

بمقارنة هذه السرعة مع السرعة V_2 = 21.632 كم/ ث، نجد أن المريخ يتحرك أسرع وسوف يسبق المركبة. ولتوفيق سرعة المركبة مع سرعة المريخ يجب زيادة سرعة المركبة بمقدار 2.545 كم/ث .

7-5 : رحلة العودة من المريخ :

إن مدار هومان الإهليجي الإنتقالي هو أفضل المدارات من حيث توفير الوقود للوصول إلى كوكب المريخ. والمدارات الأخري ستكون أقل فى وقت الرحلة ولكنها ستتطلب وقودا أكثر لتبدأ الرحلة بسرعة أعلى مما يجعلها تنتهي بسرعة عالية تتطلب عمل مناوره لتقليل تلك السرعة للتوافق مع سرعة المريخ وربما يتطلب الأمر تغيير اتجاه الحركة .

8-5 : عيوب مدار هومان الإنتقالي :

يوجد عيب واحد لمدار هومان الأنتقالى وهو أن المتطلب القوي الذى يجب تحققه لنجاح الرحلة هو المواضع النسبيه بين كوكبي الأرض والمريخ لحظة الإطلاق. وكما راينا أن هذا الشرط يتحقق مره كل 26 شهر. وفي رحلة العودة من المريخ إلى الأرض يمكن إستخدام مدار هومان الأنتقالي، ولكن يجب أن يتحقق موضع الأرض بالنسبة للمريخ بدقة لحظة الإطلاق من المريخ. وإذا استطاع رواد الفضاء الهبوط على سطح المريخ، فيجب أن يختاروا بين أنهم ينتظروا على الكوكب لمدة عام لحدوث شرط تحقق الموضع بين الأرض والمريخ أو أن يستبدلوا مدار هومان الإنتقالي بمدار آخر مباشر ولكنه أكثر تكلفه. وسوف نحسب التأخير فى وقت الرحلة.

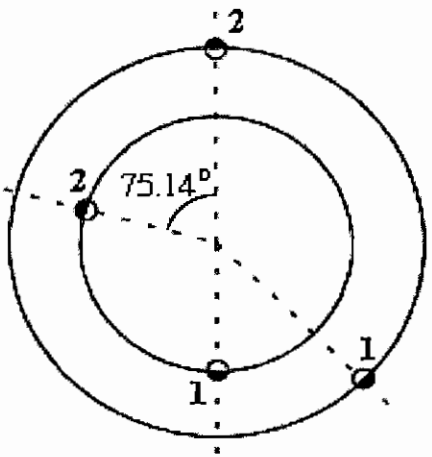
9-5 : مدارات هومان إلى ومن المريخ :

الدوائر المرسومه فى الشكل (5-5) تستخدم لتوضح حركة الأرض (الدائرة الداخلية) وحركة المريخ (الدائرة الخارجية) فى مداراتهم. وكما علمنا عند اطلاق المركبة الفضائية من الأرض إلى المريخ، يجب أن تكون الأرض والمريخ عند الموضعيين (1). وبعد فترة زمنية 0.70873 سنة تصل المركبة إلى المريخ، ويكون موضع الأرض والمريخ حينئذ عند الموضعين (2). حيث أنه فى العام الكامل تتحرك الأرض 360 °. وفى 0.70873 تتحرك الأرض زاوية مقدارهما

$$0.70873 \times 360^0 = 255.14^0$$

أي يكون موضع الأرض متقدم عن موضع المريخ عند (2) بزاوية مقدارها 75.14^o .

لاحظ كيف أن الأرض كانت متأخرة عن المريخ عند الأطلاق، ولكن الآن الأرض متقدمة عن المريخ. وكما نعلم من قانون كبلر الثالث أن الكوكب الأقرب للشمس يكون أسرع فى أكمال دورته، والأرض هي أقرب من المريخ بالنسبة للشمس.



الشكل (5-5)
المريخ والأرض عند بداية ونهاية المدار الأنتقالى.

بفرض أن المركبة هبطت على المريخ وجمعت بعض العينات من التربة والصخور ثم اقلعت لتعود إلى الأرض فإن الإطلاق من النقطة (2) بعد التخلص من جاذبية الكوكب، يمكن أن يتخذ مدار هومان الأهليجي الأنتقالي، برسم صوره معكوسة لرحلة الذهاب إلى المريخ.

10-5 : الدورة الأقترانية The synodic Period

دعنا نرى أين تكون الأرض بالنسبة للمريخ عند وقت إطلاق المركبة من المريخ حتى تستطيع المركبة الوصول للأرض فى طريق العودة.

إن رحلة العودة تساوي نصف مدار هومان الأهليجي وتأخذ زمن قدره 0.70873 من السنة، وأثناء هذه الفترة تكون الأرض قطعت زاوية مقدارها 255.14º فى مدارها (كما وضحنا سابقا). حتى تقابل المركبة العائدة الأرض عند النقطة (1) فى مدارها فى الشكل(5-6)، يجب أن تكون الأرض على بعد 255.14º خلف النقطة (1) عند اطلاق المركبة من المريخ. أي تكون الأرض فى مدارها عند النقطة (3) أي على بعد 75.14º خلف موقع المريخ وليست عند الموقع (2) (التى وصلت إليه عندما وصلت المركبة إلى المريخ عند الوضع (2) وفيه الأرض على بعد 75.14º أمام المريخ).

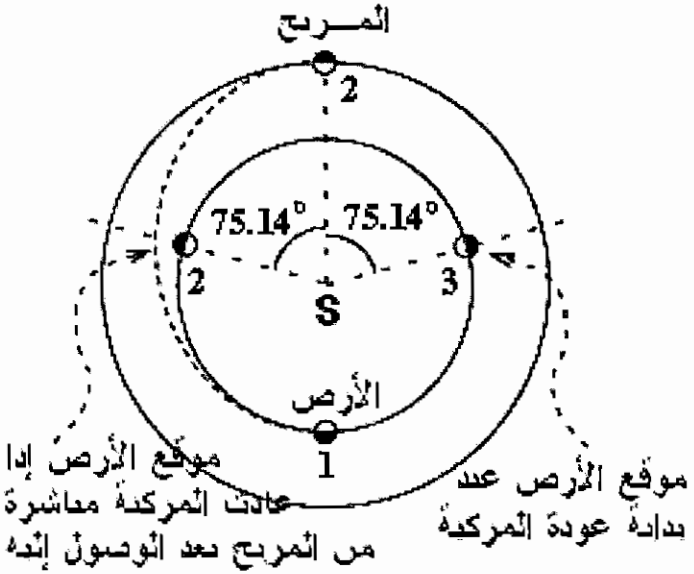
وحيث أن الأرض والمريخ تتغير مواقعهم فى مداراتهم بمقادير ثابتة فى أزمنة ثابتة، وهذا يوضح سبب تأخير رحلة العودة حتى تتحرك الأرض من الموقع (2) بالنسبة للمريخ إلى الموقع (3) الذى عنده تبدأ رحلة العودة من المريخ.

ولحساب هذا التأخير زمنيا مع تبسيط الحساب نحسب سرعة الدوران للأرض والمريخ حول الشمس:

- تكمل الأرض دوره حول الشمس فى سنة واحدة.
- يكمل المريخ دورة حول الشمس فى 1.8822 سنة أي خلال السنة الأرضية يتحرك المريخ فى مداره **1/1.8822 = 0.531293** دورة.

كل سنة تسبق الأرض المريخ بمقدار **(1-0.531293) = 0.468707** دورة وخلال سنتين يكون الفرق بينهما **2 x 0.468707 = 0.937414** دورة، ستكون الأرض سبقت المريخ بدورة كامله بعد **= 2.13353** **1/0.468707**سنة

فإذا بدأت حركة الأرض والمريخ وهما فى مداراتهما على خط واحد يمر بالشمس، فبعد 2.13353 سنة سوف يكونان على خط واحد مع الشمس. وتعرف هذه الدورة بالدورة الإقترانية مع الأرض، أي هي الفترة التى تمضي بين وضع الأرض بين المريخ والشمس إلى الوضع التالي الذى تصبح فيه الأرض بين المريخ والشمس، وهي تستغرق 25.6 شهر.



الشكل
(6-5)
المريخ والأرض عند
بداية رحلة العودة.

ولتغير الأرض موقعها بالنسبة للمريخ من (2) إلى (3) يجب أن تتقدم الأرض (بالنسبة للمريخ) بمقدار:

$$360 - 2 \times 75.14 = 209.72^0$$

وليتكرر نفس الوضع بين الأرض والمريخ (الدورة الإقترانية) يحتاج 2.13353 سنة، لهذا نجد أن الأرض تقطع الزاوية 209.72^o في زمن قدره:

$$\text{سنة } 2.13353) \ (360 / 209.72) = 1.2429 \text{ سنة} = 454 \text{ يوم} .$$

والحسابات الدقيقة تنتج 459 يوم (حيث أن حساباتنا هنا تقريبية).
وعندما تصل المركبة إلى الأرض فإنها تسبقها لأن سرعتها V_1 تزيد عن سرعة الأرض V_o بمقدار 3 كم/ث . وقبل هبوط المركبة الآمن إلى الأرض يجب أن تصل السرعة V_o بواسطة جذب الأرض إلي حوالي 11.3 كم/ث . وعلى إيه حال إذا دخلت المركبة الغلاف الجوي منزلقة بطريقة سليمة فإن طاقة الحركة الزائدة ستتبدد بطريقة آمنة كحراره بدون الحاجة لإشعال أي محركات لتقليل السرعة.

نحن استخدمنا تقريب المدارات إلى دوائر لتضمن عدم تغير سرعة الأرض أو المريخ فى المدار. ولكن الحركة الحقيقية لهما أكثر تغيرا وتعقيدا لأن المسافة بين الأرض والمريخ تتغير طوال الوقت.