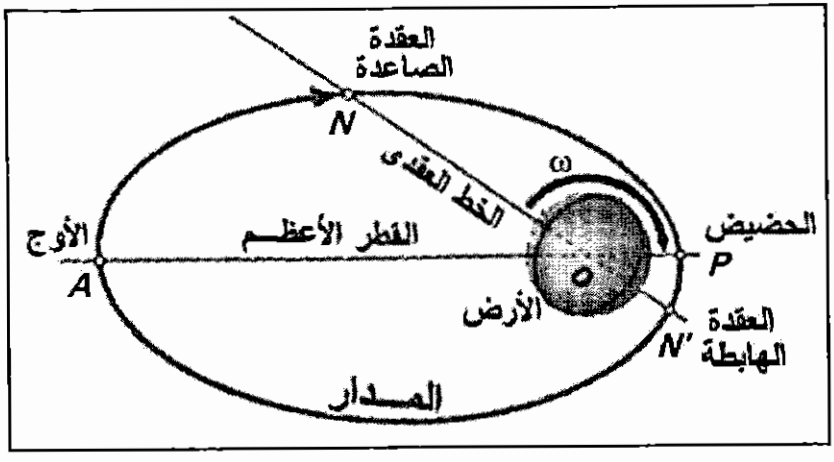
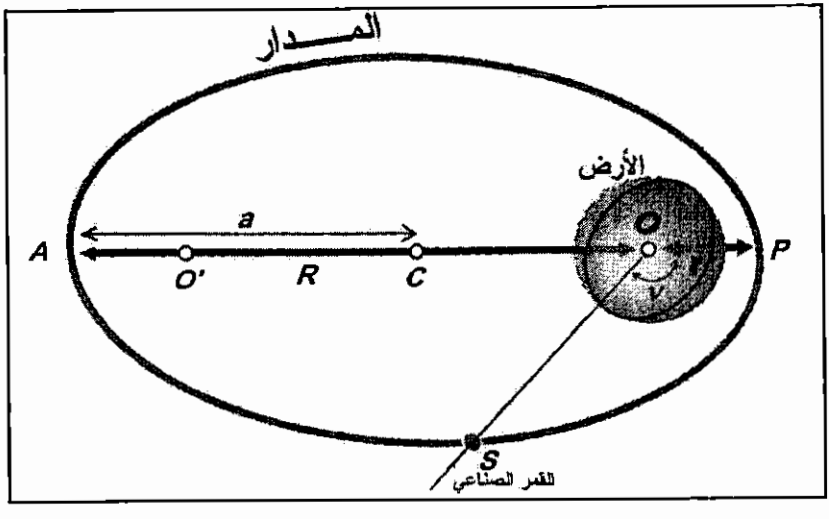


الشكل (3-7). قياس زاوية ازاحة نقطة الحضيض ω .



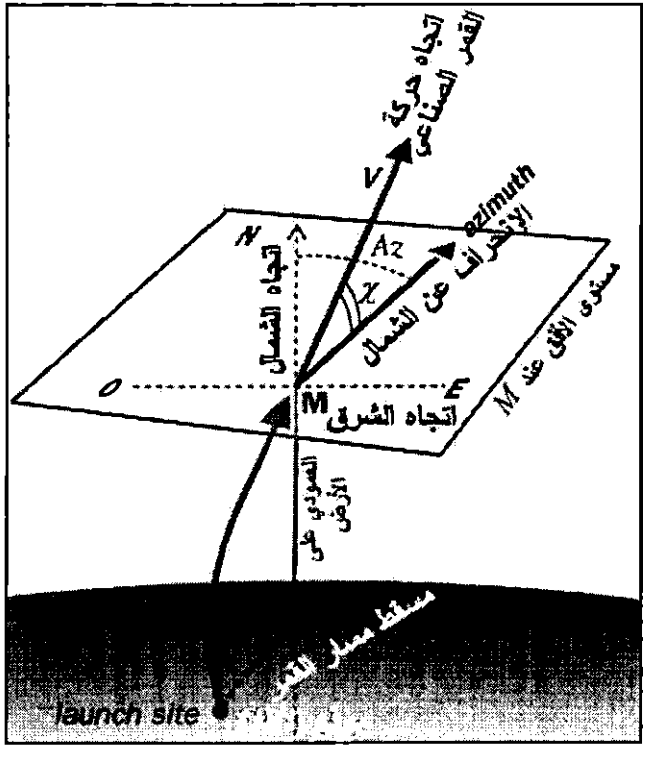
الشكل (3-8). قياس الحصة الحقيقية ν.

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).

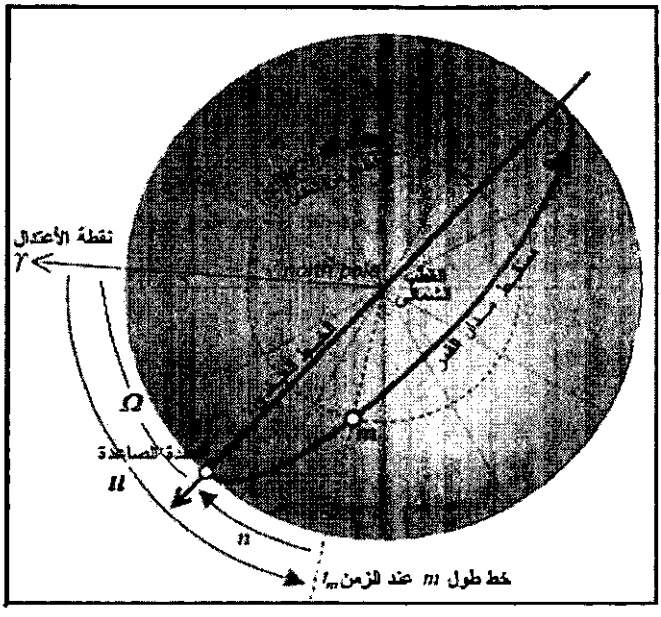
مما سبق نجد أن عناصر المدار يمكن حسابها بسهولة :

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

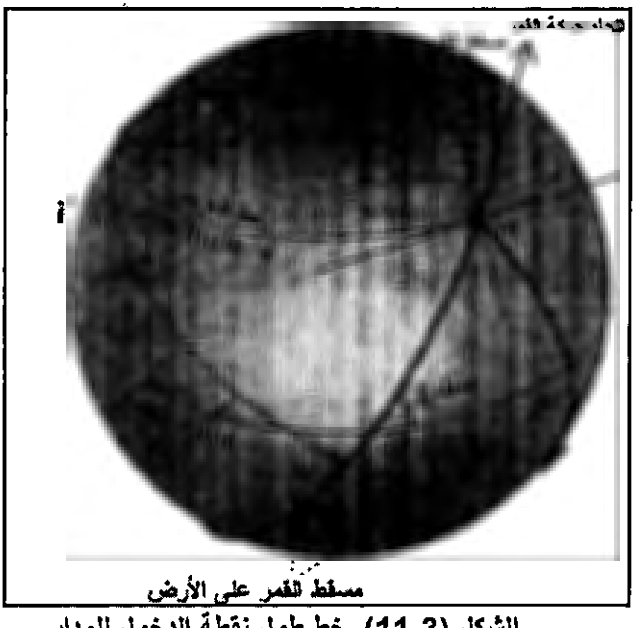
Ω : يحدد خط طول العقدة الصاعدة بزمن حقن القمر في المدار t_m وخط طول نقطة الحقن (L_m) كما فى الشكل (3-11).

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.

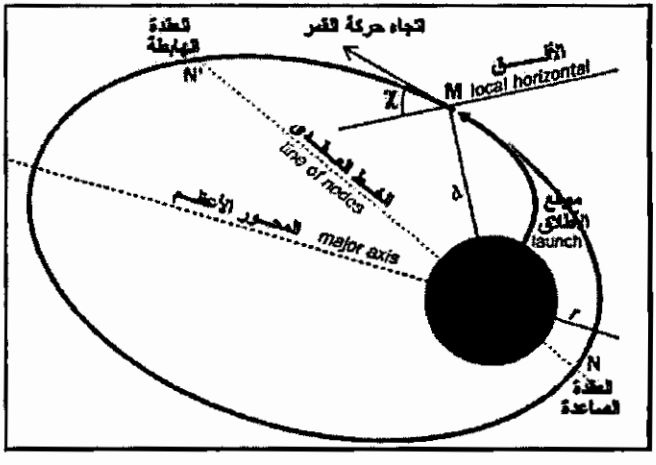
يحدد طول نصف القطر الاتجاهي d عند نقطة الحضيض بالمسافة r من البؤرة.حيث d = r عندما تكون χ = صفر.
يحدد طول نصف القطر الاتجاهي R عند نقطة الأوج بمعرفة بعد الحضيض r عن البؤرة. عندئذ يمكن حساب سرعة القمر عن الحضيض Vp أو بمعرفة السرعة V عند الموقع M للقمر حيث

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

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) .



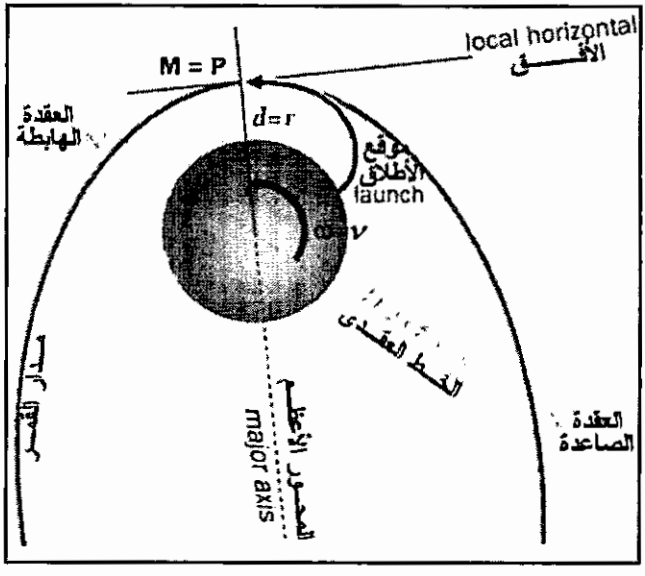
الشكل (3-12). إزاحة النقطة M عن الحضيض والعقدة.

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

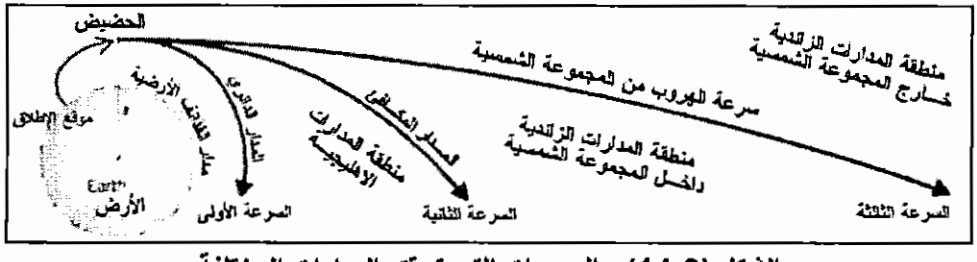
$$V_p = \sqrt{\frac{2\ \mu}{r}}$$

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