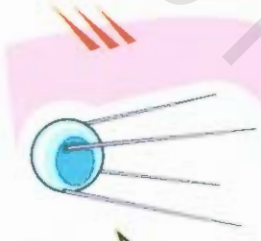
عن الأقمار الصناعية، كيف يتم إطلاقها؟ وكيف تدور في مداراتها؟



رسم مطابق للقمر سبوتنيك

أصبحت الأقمار الصناعية Satellites شيئاً مألوفاً في حياتنا اليوم مثلها مثل الحواسب وأجهزة الاتصالات وغيرها من مبتكرات العلم والتقنية الحديثة، وتستخدم في مجالات عديدة منها الاتصالات والملاحة ومراقبة البيئة والرصد الجوي والتجسس.

قائد الرحلة أبولو نيل أرمسترونغ: أول من وطئ القمر قائلاً: «خطوة صغيرة للإنسان، كبيرة للإنسانية».

ومنذ أن أطلق الاتحاد السوفييتي القمر الصناعي الأول سبوتنيك Sputnik في عام 1957 شرع الإنسان بتسجيل سفر جديد من تاريخه، وبدأت الدول الكبرى سباقها المحموم لحجز مواطئ في الفضاء، إذ شكل إطلاق سبوتنيك صدمة كبيرة للولايات المتحدة على وجه الخصوص (والتي كانت غافية على مجد سبقها النووي في عام 1945) إلى درجة قيام ثورة تعليمية كبيرة على مستوى الولايات بأكملها، فتم تغيير المناهج الدراسية في المدارس وزيادة حصة المواد العلمية بشكل كبير ومنهجي،

obeikandl.com

وكان التغيير وقتها أشبه بـ«صرخة إنهاض قومية» - كما وصفها أحد معاصري تلك الفترة- آتت أكلها بشكل ناجح أدى إلى فورة فضائية أمريكية طيلة عقد الستينيات، فبدأت بإرسال الكبسولة مركيوري Mercury عام 1961 وعلى متنها آلان شيبارد Alan Shepard، وبعدها بعام دار جون غلين John Glenn حول الأرض ثلاث دورات، ثم كان الفتح الفضائي الكبير عندما وطىء نيل آرمسترونغ Armstrong Neil سطح القمر عام1969، واعتاد الناس بعد ذلك على أخبار إطلا٢٠٣من الأقمار الصناعية وخروج روادها من مراكبهم في مهمات فضائية، ولم تعد مثل تلك الأخبار شيئاً مثيراً للاهتمام رغم أن نتائج عمل الأقمار الصناعية أصبحت جزءاً من شؤوننا اليومية.

رحلة أبولو لحظة اقلاعها من مركز جون كندي.

ما هي أقسام القمر الصناعي؟

تشترك الأقمار الصناعية بالأجزاء الثلاثة الرئيسة التالية:

- **أجهزة الاتصالات.**
- **وحدة الإمداد بالطاقة.**
- **أجهزة التحكم.**

تقوم أجهزة الاتصالات بالتواصل مع المحطات الأرضية التي تسمى مراكز التوجيه، وتسمى الرسائل الصادرة عن مراكز التوجيه إلى القمر بالاتصالات الصاعدة uplinked، والرسائل الواردة إليها من القمر بالاتصالات الهابطة downlinked.

obeikandl.com

قمر صناعي أثناء إعداده على الأرض.

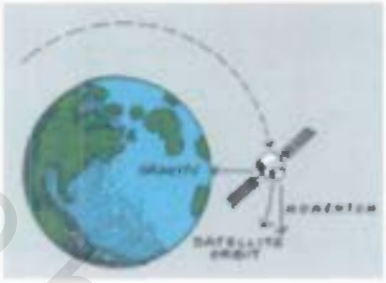
وتقوم وحدة الإمداد بالطاقة الكهربائية، بتزويد القمر بالطاقة عن طريق بطاريات قابلة للشحن المتكرر وذلك في بعض الأنواع، يتم شحنها بواسطة ألواح كهرشمسية (لمزيد من المعلومات عن عمل الألواح الكهرشمسية راجع فصل الطاقات المتجددة في ثنايا هذا الكتاب) وفي الأنواع الأحدث من الأقمار يتم الإمداد بالطاقة عن طريق خلايا الوقود التي تستخدم الهيدروجين المضغوط كوقود (طريقة عملها مشروحة بإسهاب في هذا الكتاب)، ويتم تزويد الأقمار المخصصة للسفر بين الكواكب بالطاقة من مفاعل نووي صغير.

وأجهزة التحكم بعمل القمر الصناعي تشمل تجهيزات عالية التقنية، تقوم بوظائف الإشراف والتوجيه وضبط عمل القمر، كما يزود القمر ببعض تجهيزات الدفع الصغيرة لتعديل وضعه أو زيادة ارتفاعه أو استقراره.

وهناك أيضاً أجهزة أخرى تخصصية حسب وظيفة القمر ومهمته. ويضم كافة أجهزة القمر الصناعي جسم من خليط معدني قوي ليتحمل إجهادات الاطلاق يسمى الباص Buss.

كيف يتم إطلاق القمر الصناعي وإبقاءه في مداره بدون أن يسقط إلى الأرض أو يفلت إلى الفضاء الخارجي؟

يتم وضع الأقمار الصناعية في مداراتها إما بربطها إلى صواريخ أو بحملها على مكوك فضائي



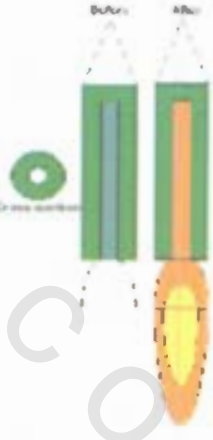
Shuttle، فبعد إطلاق الصاروخ بشكل عمودي تماماً، تعمل أنظمة توجيه الصاروخ على ضبط حركته وفق ما يسمى خطة الطيران flight plan التي ترسم مسار الصاروخ بدقة من لحظة انطلاقه حتى وصوله إلى مداره المخطط له، وعادة يتم إمالة الصاروخ نحو الشرق بعد انطلاقه مع جهة دوران الأرض، حتى يكتسب قوة دفع إضافية تتناسب قيمتها مع سرعة الأرض الدورانية في منطقة الإطلاق و التي تكون أكبر ما يمكن عند خط الاستواء.

وعند وصول الصاروخ إلى طبقة الهواء الرقيق قليل الكثافة على ارتفاع 193 كم، يشغل النظام الملاحي للصاروخ محركات دفع صغيرة تعمل على إمالة الصاروخ عن وضعه العمودي عند الإطلاق إلى وضع أفقي تدريجياً، وبعدها يتم تحرير القمر الصناعي ليدور بمفرده حول الأرض، ثم تتم زيادة سرعة الصاروخ كي يبتعد عن مدار القمر الصناعي مسافة كافية، ويكون القمر هنا قد وصل إلى سرعته المدارية orbital velocity، وهي السرعة اللازمة لإبقائه دائراً في مداره في حالة توازن دقيق بين دفع و جذب، إذ إن قوة جذب الكرة الأرضية له تشده من طرف إليها، وقوة الدفع الناشئة عن عطالته ودورانه تدفعه بعيداً عن الأرض من طرف آخر، ولو ازدادت السرعة المدارية قليلاً لارتفع القمر إلى مدار أعلى، وهكذا حتى إذا وصلت السرعة

إلى ما يسمي سرعة الإفلات escape velocity ضعف تأثير قوة الجاذبية الأرضية وأفلت القمر إلى الفضاء الخارجي إلى الأبد بدون عودة، ولو قلت السرعة المدارية عن قيمتها المطلوبة لهذا المدار لعاد القمر إلى الأرض.

تعمل محركات صواريخ حمل الأقمار إلى المدارات على مبدأ نيوتن الشهير «لكل فعل رد فعل مساو له بالقيمة ومعاكس بالاتجاه»، وهناك نوعان رئيسان من محركات دفع الصواريخ يعملان وفق هذا المبدأ، هما:

محركات الوقود الصلب: يقوم مبدأ عمل هذا النوع على احتراق مزيج من النترات والكربون والكبريت بسرعة كبيرة، دون أن ينفجر، منتجاً قوة دفع كبيرة، هذه المواد هي نفسها مسحوق البارود ولكن بنسب مختلفة حتى لا تنفجر، فيتم زيادة نسبة الكربون وإنقاص نسبة الكبريت، ويستمر الاحتراق لبضعة ثوان فقط في الصواريخ الصغيرة والمتوسطة، بينما يستمر الاحتراق في محركات دفع المكوك مثلاً لبضع دقائق نظراً لوزن حمولته الكبير. ويعيب هذا النوع من الوقود أن قوة الدفع لا يمكن التحكم بها، كما لا يمكن إيقاف التفاعل والاحتراق بعد قدحه. وهذه الطريقة في الاحتراق قديمة منذ اختراع الصينيين للبارود.



محركات الوقود السائل: تم ابتكار هذه الطريقة في عام 1929، يتم فيها ضخ مزيج من الغازولين والأوكسجين السائل إلى حجرة احتراق حيث يحترقان منتجين مزيجاً من الغازات الملتهبة عالية السرعة وشديدة الضغط، وتمر هذه

الغازات عبر فتحة خاصة تزيد من سرعتها إلى ما بين 8,000 و 16,000 كم/ساعة. يمكن في هذه الطريقة استخدام أنواع أخرى من الوقود مثل: مزيج الهيدروجين والأوكسجين السائلين والمستخدم في المكوك الفضائي، مزيج الكيروسين والأوكسجين السائل، والمستخدم في برنامج أبولو، الكحول والأوكسجين السائل والمستخدم في الصواريخ الألمانية من طراز V2، مزيج ثلاثي أوكسيد النتروجين مع أحادي ميثيل الهايدرازاين.

وفي مكوك الفضاء يتم توليد قوة الدفع من تفاعل كمية من الهيدروجين والأوكسجين السائلين وزنها الإجمالي 2 مليون كغ تكفي لرفع ودفع المكوك الذي يزن 75,000 كغ فقط مع وقوده، ويتم إحراقها على مراحل لا يتجاوز مجموعها 8 دقائق.

وهناك بعض الطرق الأخرى لإنتاج قوى الدفع اللازمة لرفع الصاروخ تستخدم في أنواع معينة، وتختبر وكالة الفضاء الأمريكية حالياً نوع جديد من المحركات الأيونية ion engines تتميز بتسريع جزيئات ذرية أو شوارد إلى سرعات فائقة.

ما هي أنواع الأقمار الصناعية؟

تقوم الأقمار الصناعية بالعديد من المهام التي يدخل بعضها في شؤون حياتنا اليومية دون أن نشعر، وهي عادة واحد من الأنواع التالية:

Obeikandl.com

أقمار الاتصالات: تقوم بمهمة استلام إشارات الاتصالات من منطقة بتردد وتعيد بثها بتردد آخر إلى مناطق أخرى بعد تقويتها.

صورة للأرض التقطتها مركبة الفضاء كليمنتاين أثناء دورانها حول القمر.

أقمار الملاحة: مهمتها الرئيسة إرشاد الطائرات والسفن، ويتم فيها استخدام نظام تحديد المواضع العالمي Global Posi- GPS tioning System، وهو نظام متطور يمكن من التعرف الدقيق على مكان مركبة في الفضاء أو طائرة في الجو أو سفينة في عرض البحر أو سيارة على الطريق أو حتى أفراد يحملون مستقبلاً receiver لهذا النظام في أي مكان على وجه البسيطة، وقد بدأت بعض شركات تصنيع السيارات بتزويد سياراتها بمستقبلات هذا النظام.

الأقمار العسكرية: تستخدم فيها تكنولوجيا عالية وأنظمة مراقبة وتصوير متقدمة، وتتضمن مهامها نقل الاتصالات العسكرية المشفرة، ورصد تحركات القوات المعادية، ومراقبة التفجيرات النووية، وتصوير المواقع الحساسة، والإنذار المبكر عن إطلاق الصواريخ والتجسس على اتصالات الخصم الأرضية.

أقمار البث الإذاعي والتلفزيوني: مشابهة في عملها لأقمار الاتصالات، وتغذي وكالات الأنباء الصحفية وأخبار أسواق الأسهم وعالم الأعمال.

أقمار مراقبة الأرض: مهمتها التصوير الطبوغرافي لسطح الأرض وتقديم المعلومات اللازمة لتسهيل إعداد الخرائط، ومراقبة حركة الرمال في

الصحارى، تحديد الأوضاع البيئية مثل انحسار الغابات المطيرة وتصحر الأراضي الزراعية، وتحديد مكامن الثروات الطبيعية والمعادن ورعاية المحاصيل الزراعية وكشف أية كوارث يمكن أن تحيق بها، وتقوم أيضاً بمراقبة الحياة البرية، ومراقبة البراكين ورصد الزلازل وغيرها من الظواهر الطبيعية الأرضية.

أدوين آلدرين على سطح القمر، صورد رفيقه في الرحلة نيل أرمسترونغ.

أقمار المهام العلمية: تقوم بمهمات علمية متنوعة من رصد الفضاء البعيد بمرقاب هابل Hubble telescope إلى دراسة الأشعة الكونية ودراسة الظواهر الشمسية وفيزيائها ودراسة الجاذبية المايكروية وغيرها.

أقمار الرصد الجوي: تقوم بتزويد علماء الأرصاد الجوية بالمعلومات اللازمة للتنبؤ بأحوال الجو إضافة لتقديم صور آنية لما يحدث من تغيرات في أحوال الطقس والأنواء.

أقمار البحث والإنقاذ: تقوم بالتقاط نداءات الاستغاثة الصادرة عن الطائرات والسفن وتوجهها إلى المحطات الأرضية.

ما هي أنواع المدارات وعلى أي ارتفاع تكون؟

بعض الأقمار تدور في مدارات قطبية polar orbits **فوق القطبين الشمالي والجنوبي**، وبارتفاعات تتراوح من بضعة مئات الكيلومترات إلى بضعة آلافها

حسب وظيفة القمر وتلف الأرض 14 مرة يومياً، وبما أن سرعة الأرض أبطأ من سرعة القمر الصناعي، يمسح القمر في كل دورة مناطق تختلف عنها في الدورة السابقة، وهكذا يمسح القمر الصناعي القطبي-مدارَ الأرض مرة كل بضعة أيام بشكل كامل، لذلك غالباً ما تستخدم أقمار المدارات القطبية في التصوير ووضع الخرائط mapping.

وهناك أقمار تدور حول الأرض بسرعات مساوية لسرعة الأرض في مدارات **أرضية ثابتة** geostationary orbits وعادة ما تكون على ارتفاعات كبيرة **فوق خط الاستواء** equator (حوالي 35,750 كم)، وبما أن أقمار هذه المدارات تدور بسرعة مساوية لسرعة دوران الأرض فإنها تبقى دائرة فوق منطقة واحدة من سطح الأرض لا تتعداها إلى غيرها، مما أدى لازدحام هذه المدارات بمئات الأقمار الصناعية، ولكنها رغم هذا الازدحام تعمل موجهةً بشكل دقيق جداً بحيث لا تتجاوز منطقة عملها مناطق عمل الأقمار المجاورة، وعلو ارتفاع هذه المدارات يمكن أقمارها من تغطية قسم كبير من سطح الأرض اصطلح على تسميته طبعة القدم footprint، وتسمَّى مثل هذه المدارات أيضاً **المدارات المتواقتة** نظراً لتواقت دورانها مع دوران الأرض.

هناك أيضاً **مدارات غير متواقتة** asychronous **فوق خط الاستواء** على ارتفاع 650 كم فقط، تدور فيها أقمارها عدة مرات باليوم الواحد، ويستخدم عادةً مكوك الفضاء shuttle هذه المدارات.

obeikandl.com

وتأخذ الأقمار الصناعية مدارات إهليلجية (لا تنس بأن الأرض مفلطحة قليلاً).

ويمكن أيضاً تقسيم المدارات حسب ارتفاعاتها إلى نطاقات وفق ما يلي:

نطاق الارتفاعات (1,300 **إلى** 2,000 **كم**) ويحوي مدارات لا تواقتية، تجري فيها أقمار الاتصالات، ومنها أقمار الاتصالات التي يمولها بيل غيتس Bill Gates وأقمار الايريديوم، وهو هاتف التجوال الدولي تعرضت شركته إيريديوم لمصاعب مالية أدت إلى توقف المشروع، كما يجري في هذا النطاق أقمار المراقبة، وأقمار البحث والإنقاذ.

نطاق الارتفاعات (5,000 **إلى** 10,000 **كم**) يحوي أيضاً مدارات لا تواقتية، تجري فيها أقمار المهام العلمية ومراقبة الفضاء عبر الأقمار، وأقمار الدراسات الفيزيائية التابعة لوكالة الفضاء الأمريكية NASA.

نطاق الارتفاعات (10,000 **إلى** 20,000 **كم**) ويحوي أيضاً مدارات لا تواقتية، تجري فيها أقمار أعمال الملاحة.

وأخيراً **نطاق المدارات الأرضية الثابتة على ارتفاع واحد** 35,800 **كم** من خط الاستواء، ويجري في مداراته أقمار الرصد الجوي، وأقمار الاتصالات والتلفزة والمعلومات والإذاعات الرقمية.

obeikandl.com

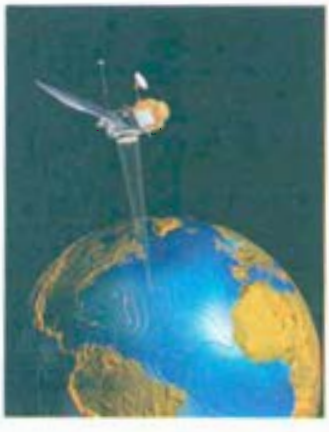
كم يعمر القمر الصناعي؟

يرتبط عمر القمر الصناعي بشكل كبير بارتفاع المدار الذي يدور فيه، فكلما قرب المدار إلى الأرض قصر عمر القمر بسبب احتكاكه مع الغلاف الجوي وتآكله مع الزمن، والعكس بالعكس، كلما بعد مدار القمر عن الأرض طال عمره بل ربما يعمر قروناً نظراً لعدم احتكاكه بأي مادة.

أما **تكلفة القمر الصناعي فهي** حاصل جمع كلفة تصنيع القمر مع كلفة إطلاقه ثم كلفة متابعته. ويمكن لها أن تتراوح من بضعة ملايين الدولارات إلى بضعة بلايينها، فكلفة إطلاق مكوك الفضاء مثلاً تقرب من 500 مليون دولار (كلفة إطلاق فقط) وهو أمر ربما لا تطيقه بعض الدول.

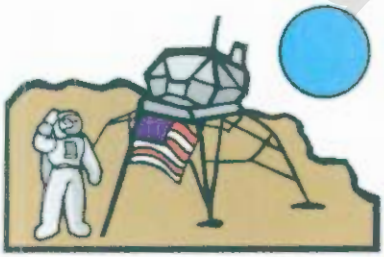
هل يمكن إطلاق الأقمار الصناعية في أي وقت؟

بالطبع لا، إذ يرتبط إطلاق الأقمار بعوامل عديدة، مثل الظروف الجوية وفي أيام معينة، في ساعات محددة، وترتبط أيضاً بتوفر الإمكانيات اللازمة لإنقاذ رواد الفضاء عند إطلاق المراكب المأهولة، وفي حالات إطلاق مركبات استكشاف الكواكب يجب اختيار الوقت الملائم بحيث يكون المسار إلى ذاك الكوكب أنسب ما يمكن في ذلك الوقت، وبمقاطعة الفترات الزمنية الملائمة للعوامل المختلفة نحصل على ما يسمى **نافذة الإطلاق** launch window، وهي الفترة الزمنية الأنسب والمحدودة لإطلاق القمر الصناعي.



obeikandl.com

هناك حالياً ما يزيد على 23.000 جسم دائر حول الأرض في كافة النطاقات، فبالإضافة إلى الأقمار العاملة، تراوحت هذه الأجسام ما بين نفايات بعض الأقمار ومخلفاتها، وصواريخ استنفدت غرضها، وأقمار انتهت مهمتها. وأصبحت هذه النفايات الفضائية مصدر قلق للعلماء لخوفهم من اصطدام بعضها بالأقمار العاملة أو بمكوك الفضاء المأهول، وتعمل وكالة الفضاء الأمريكية NASA منذ فترة على مشروع لتنظيف المدارات والتخلص من نفاياتها تحت اسم باكمان Pacman، سيعمل على دفع الأجسام الدائرة غير المرغوب بها إلى مدارات أدنى حيث تلامس الغلاف الجوي وتحترق، وكانت ناسا قد أرسلت قمراً خاصاً لدراسة الأثر المحتمل لاصطدام هذه النفايات ببعض الأقمار.



obeikandl.com