هيئة الاتصالات والفضاء والتقنية
Communications, Space & Technology Commission

مؤسسة الملك عبدالعزيز ورجاله للموهبة والإبداع
King Abdulaziz & his Companions Foundation for Giftedness & Creativity
موهبة

مسابقة موهوب
Mawhoob Competition

الفلك والفضاء
Space and Astronomy

2023

Dr. Gergely Dálya **Dr. Zaki Almostafa**

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

عزيزي الطالب عزيزتي الطالبة:

بشراكة استراتيجية بين مؤسسة الملك عبدالعزيز ورجاله للموهبة والإبداع "موهبة" وهيئة الاتصالات والفضاء والتقنية.

تنطلق مسابقة موهوب في الفلك والفضاء ضمن برنامج موهبة للأولمبيادات الدولية لتأسيس فريق يمثل المملكة في الاولمبيادات الدولية في هذا المجال الحيوي لتمكن والريادة في المستقبل.

لذلك تسعى موهبة وهيئة الاتصالات والفضاء والتقنية لإعداد فريق علمي متمكن من المنافسة يشارك في الاولمبياد الدولي للفلك والفيزياء الفلكية من خلال اطلاق هذه المسابقة وما يليها من ملتقيات تدريبية.

وبين يديك الآن الحقيبة التدريبية والتي من خلالها تتعرف بشكل مبدئي على طبيعة وموضوعات وأسئلة المسابقة والأساسيات الواجب توافرها حتى تدخل في مرحلة الاتقان التي تضعك على أول طريق المنافسة لنيل شرف تمثيل الوطن في المسابقة الدولية.

المحتويات
Contents

introduction	3	مقدمة
Celestial mechanics	6	الميكانيكا السماوية
Newton's laws	6	قوانين نيوتن
Kepler's laws	10	قوانين كبلر
Cosmic velocities	18	السرعات الكونية
Special orbits	22	مدارات خاصة
Spherical astronomy	24	علم الفلك الكروي
How does the Earth move around the Sun?	24	كيف تتحرك الأرض حول الشمس؟
How does the Moon move around the Earth?	29	كيف يتحرك القمر حول الأرض؟
Stellar evolution	37	التطور النجمي
How do stars form?	37	كيف تنشأ النجوم؟
Hertzsprung-Russell Diagram	39	مخطط هيرتزبرونج-راسل
Red giants	46	العمالقة الحمراء
White dwarfs	48	الأقزام البيضاء
Supernovae, neutron stars and black holes	50	المستعرات العظمية والنجوم النيوترونية والثقوب السوداء
History of space research	53	تاريخ أبحاث الفضاء
Human spaceflight	55	رحلات الفضاء البشرية
Men on the Moon	56	رجال على القمر
Exploring the planets	61	استكشاف الكواكب
The Saudi astronauts	65	رواد الفضاء السعوديين
Practice test	68	اختبار تجريبي

الفئة المستهدفة.

طلبة التعليم من الصف: الثاني متوسط إلي الثاني ثانوي.

الأهداف العامة.

1- بناء مفاهيم أساسية في الفلك والفضاء في اتجاه الاستعداد للمشاركة في المسابقة.
2- تجهيز الطالب لمواصلة الاطلاع ودراسة ما يساهم في تعميق مفاهيمه حول الفلك والفضاء استعدادا للأولمبياد.
3- إثراء الميدان بمادة علمية تدعم شغف المهتمين بأولمبياد الفلك والفضاء.
4- نشر ثقافة الأولمبياد والمسابقات العلمية.

الأهداف الخاصة.

1- أن يتعرف الطالب على الميكانيكا السماوية.
2- أن يطبق الطالب قوانين نيوتن.
3- أن يطبق الطالب قوانين كبلر
4- أن يعرف الطالب علم الفلك الكروي
5- أن يعرف الطالب التطور النجمي
6- أن يطلع الطالب على أبحاث الفضاء
7- أن يستخدم الطالب المعلومات التي درسها في حل المسائل.
8- أن يقدم الطالب حلولا مبتكرة للمشكلات الواردة.
9- أن يميز الطالب بين الحالات الفرعية تحت كل موضوع.
10- أن يتحقق الطالب دائما من معقولية ومنطقية الحلول التي يقدمها.

الميكانيكا السماوية
Celestial mechanics

قوانين نيوتن

تتعامل الميكانيكا السماوية مع حركة الأجرام السماوية الطبيعية والصناعية، مثل الكواكب أو الأقمار أو الأقمار الصناعية في حقول الجاذبية.
من أجل الحصول على فهم عميق للميكانيكا السماوية، نحتاج إلى خلفية صلبة في الميكانيكا الكلاسيكية. دعونا نلخص بإيجاز المبادئ الأساسية للميكانيكا الكلاسيكية، التي اكتشفها إسحاق نيوتن، والمعروفة بقوانين نيوتن.

1.جميع الأجسام في حالة سكون، أو تتحرك في خط مستقيم ما لم تؤثر عليها لقوة خارجية.

على عكس الأفكار السابقة، أظهر نيوتن أن التغيير في السرعة يتطلب قوة خارجية. الأطر المرجعية التي يكون فيها قانون نيوتن الأول صحيحًا تسمى الأطر المرجعية للقصور الذاتي. يُطلق على النظام الذي لا يكون فيه هذا القانون صحيحًا إطارًا مرجعيًا متسارعًا. وفقًا للقانون، تتحرك الكواكب التي تدور حول الشمس أيضًا في خط مستقيم، لذا فهي بحاجة إلى قوة لعزلها عن هذا المسار وجعلها تدور حول الشمس، وهذه القوة هي قوة الجاذبية.

2. إن تسارع الجسم يتناسب طرديًا مع القوة المؤثرة عليه وعكسياً مع كتلته.

يمكن التعبير عن القانون بصيغة: f = ma

3. في التفاعل بين جسمين، يخضع كلا الجسمين لقوى من نفس المقدار، ولكن في اتجاهين متعاكسين.

يمكن التعبير عن هذا القانون على النحو التالي $F_{a,b} = -F_{b,a}$.
على سبيل المثال، تجذب الشمس الأرض بنفس قوة جذب الأرض للشمس، ولكن بسبب أن كتلة الشمس أكبر بكثير من كتلة الأرض، وحسب قانون نيوتن الثاني فإن الشمس سيكون تسارعها أقل بكثير من تسارع الأرض.

عادةً ما يُعرَّف قانون رابع على أنه قانون آخر من القوانين الأساسية للميكانيكا، لكن نيوتن لم يذكره:

4 . إذا تعرض الجسم لعدة قوى في نفس الوقت، فإن القوة الكلية ستكون مجموع المتجهات لهذه القوى. وبالمثل، يمكن أن تتحلل القوة المؤثرة على الجسم إلى قوى أخرى يكون مجموعها المتجهة يساوي القوة الأصلية.

يُعرف هذا القانون أيضًا باسم مبدأ التراكب. يعني القانون أيضًا أن القوى الفردية مستقلة عن بعضها البعض.

وصف نيوتن أيضًا قانون الجاذبية في كتابه، Principia. وفقا لهذا القانون، فإن قوة الجاذبية بين جسمين كتلتيهما m_1 و m_2 على مسافة r هي:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

حيث G هو ثابت الجاذبية العام: $G = 6.67 \times 10^{-11}\ m^3 kg^{-1} s^{-2}$

لكل جسم بحقل جاذبية، ويتفاعل حقل الجاذبية هذا مع الأجسام الأخرى. إن حقل الجاذبية لجسم كروي متماثل (على سبيل المثال، نجم) هو أيضًا متماثل كرويًا، مما يعني أنه يعتمد فقط على المسافة من النجم. عند نقطة معينة، يمكن وصف حجم هذا الحقل بقوة مجال الجاذبية (g). باستخدام قوة حقل الجاذبية يمكننا ببساطة التعبير عن القوة المؤثرة على الجسم في تلك المرحلة:

$$g = G\frac{m_1}{r^2} \rightarrow F = m_2 g$$

على سبيل المثال، قوة حقل الجاذبية على سطح الأرض $g = 9.81\ m/s^2$.

يمكن أن تنتج قوة الجاذبية شغل (W) أيضًا، على سبيل المثال تسارع الكرة الساقطة. عند وصف الظواهر القريبة من سطح الأرض، غالبا ما نستخدم التقريب لحقل جاذبية ثابت. في هذه الحالة، يمكن إعطاء طاقة وضع الجاذبية في شكل بسيط. على سبيل المثال، ستكون طاقة الجاذبية الكامنة للكرة المرفوعة من الأرض مساوية للشغل المبذول في رفعها. نظرًا لأنه يُفترض أن قوة حقل الجاذبية ثابتة، فإن الشغل المبذول على كرة كتلتها m مرفوعة من الأرض إلى ارتفاع h يمكن إعطاؤه ببساطة كقوة مضروبة في الإزاحة: $W = Fd = mgh$.

مثال:
أحسب التسارع على سطح الشمس اذا علمت ان كتلة الشمس $2 \times 10^{30}\ kg$ ونصف قطرها $695500\ km$

يمكن استخدام التعويف التالي لتسارع الجاذبية وبالتعويض بالثوابت المعروفة نحصل على النتيجة:

$$g = G\frac{m_1}{r^2}$$

$$g = 6.67\ \times\ 10^{-11}\ m^3kg^{-1}s^{-2}\frac{2 \times 10^{30}\ kg}{(695\ 500\ 000\ m)^2} = 275.8\ m/s^2$$

Newton's laws

Celestial mechanics deals with the motion of natural and artificial celestial bodies, like planets, moons or satellites in gravitational fields.
In order to have a deep understanding of celestial mechanics, we need a solid background in classical mechanics. Let us briefly summarize the most fundamental principles of classical mechanics, which were discovered by Isaac Newton, and hence are called Newton's laws.

1. **All bodies are at rest, or moving in a straight line if they are not subjected to an external force.**

Contrary to previous ideas, Newton showed that a change in velocity requires an external force. The reference frames in which Newton's first law is true are called inertial reference frames. A system in which this law is not true is called an accelerating reference frame. According to the law, planets orbiting the Sun would also be moving in a straight line, so they need a force to deflect them from that path, and that force is gravity.

2. **The acceleration of a body is directly proportional to the force acting on it and inversely proportional to its mass.**

The law can be expressed as a formula: $F = ma$

3. **In the interaction between two bodies, both bodies are subjected to forces of the same magnitude but in opposite directions.**

This law can be expressed as $F_{a,b} = -F_{b,a}$. For example, the Sun attracts the Earth with the same force as the Earth attracts the Sun, but because the Sun's mass
is significantly greater than the Earth's, Newton's second law states that the Sun's
acceleration will be significantly less than the Earth's.

A fourth law is usually defined as another of the fundamental laws of mechanics, but it was not formulated by Newton:

4. **If a body is subjected to several forces at the same time, the net force will be the vector sum of these forces. Similarly, a force acting on a body can be decomposed into arbitrary forces whose vector sum is the original force.**

This law is also known as the principle of superposition. The law also means that the individual forces are independent of each other.

Newton also described the law of gravity in his book, the Principia. According to this law, the gravitational force between two bodies of mass m_1 and m_2 at a distance r apart is

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Where G is the universal gravitational constant: $G = 6.67 \times 10^{-11}\ m^3 kg^{-1} s^{-2}$
Every body with mass creates a gravitational field, and this gravitational field interacts with other bodies. The gravitational field of a spherically symmetric body (say, to a good approximation, a star) is also spherically symmetric, which means that it depends only on the distance from the star. At a given point, the magnitude of this field can be described by the gravitational field strength (g). Using the gravitational field strength we can simply express the force acting on the body at that point:

$$g = G\frac{m_1}{r^2} \rightarrow F = m_2 g$$

for example, the strength of the gravitational field on the surface of the Earth is $g = 9.81\ m/s^2$.

The gravitational force can do work as well, just think of the acceleration of a dropped ball. When describing phenomena near the surface of the Earth, we often use the approximation of a constant gravitational field. In this case, the gravitational potential energy can be given in a simple form. For example, the gravitational potential energy of a ball lifted from the ground will be equal to the work done in lifting it. Since the gravitational field strength is assumed to be constant, the work done on a ball of mass m lifted from the ground to a height h can be given simply as the force times the displacement: $W = Fd = mgh$.

Example:

Calculate the gravitational acceleration on the surface of the Sun. The mass of the Sun is 2×10^{30}kg and its radius is 695 500 km.

We can use the following definition of the gravitational acceleration: $g = G\frac{m_1}{r^2}$. Substituting the values given and the universal gravitational constant we get the result:

$$g = 6.67 \times 10^{-11}\ m^3 kg^{-1} s^{-2} \frac{2 \times 10^{30}\ kg}{(695\ 500\ 000\ m)^2} = 275.8\ m/s^2$$

قوانين كبلر

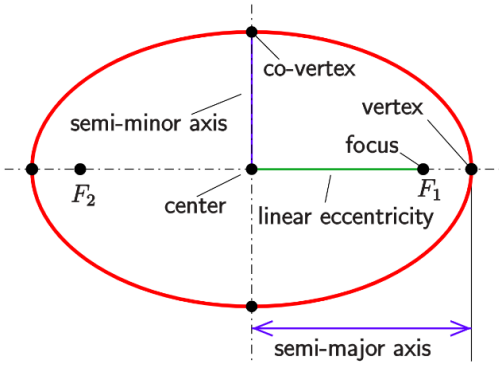
صاغ يوهانس كبلر القوانين الأساسية للميكانيكا السماوية. تصف قوانينه الثلاثة كيف تتحرك الأجسام تحت تأثير جاذبية جسم آخر. سنقوم هنا أولاً بتوضيحها كما تم ذكرها في الأصل ثم نناقش ما إذا كان يمكن تعميمها بشكل أكبر.

القانون الأول: تدور الكواكب في مدارات إهليجية (بيضاوية) تقع الشمس في إحدى نقاط مراكزها.

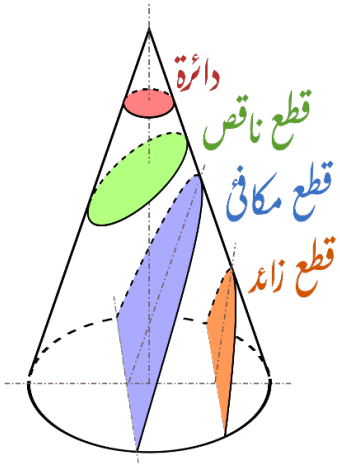
لوضعها بشكل عام (وبشكل أكثر دقة): إذا كانت قوة الجاذبية تعمل فقط بين جسمين، فإنها تتحرك في مدارات على شكل مقطع مخروطي مع نقطة محورية

في مركز كتلة النظام. يمكن أن يكون القسم المخروطي دائرة أو قطع ناقص أو قطع مكافئ أو قطع زائد. وهكذا، تدور الأرض حول المركز المشترك للكتلة لنظام الشمس والأرض (متجاهلاً في الوقت الحالي تأثير الجاذبية لجميع الأجرام السماوية الأخرى)، والذي لا يتطابق تمامًا مع مركز كتلة الشمس، ولكنه يقع أيضاً داخل الشمس. وتتحرك الشمس أيضاً في مدار إهليلجي حول هذه النقطة بسبب جاذبية الأرض، ولكن بسبب التباين الكبير في الكتلة، فإن هذا لا يظهر إلا على شكل تذبذب صغير.

يمكن تعريف القطع الناقص رياضياً على أنه مجموعة من النقاط على مستوى يكون مجموع مسافاتها من نقطتين معينتين (تسمى النقاط المحورية) ثابتًا. يوضح الشكل أدناه القطع الناقص بعناصره الرئيسية.

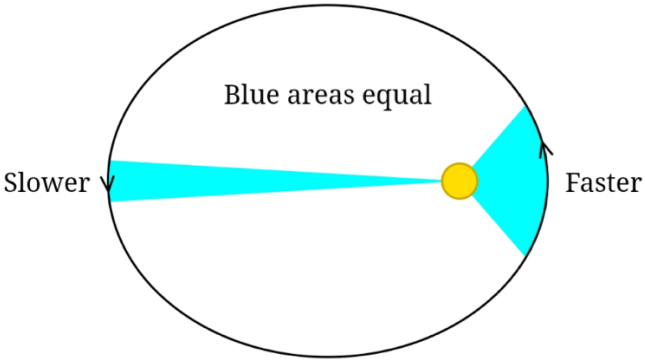


يمكننا تعميم قانون كبلر الأول إلى أبعد من ذلك. إذا اثرا جسمان على بعضهما البعض بقوة الجاذبية، وتم تجاهل جميع القوى الأخرى، فيمكننا القول إنهما سيتحركان في مدارات ذات مقطع مخروطي حول مركز مشترك للكتلة. المقاطع المخروطية هي منحنيات مستوية يتم الحصول عليها عن طريق قطع للمخروط. اعتمادًا على زاوية القطع، هناك أربعة أنواع من المنحنيات: الدائرة (القطع الموازي لقاعدة المخروط)، والقطع الناقص والقطع المكافئ (القطع الموازي لأحد مولدات السطح الجانبي)، و القطع الزائد (قطع بشكل أكثر انحدارًا)، انظر الشكل أدناه. يمكننا أن نرى أنه إذا بدأت القطع في نقطة معينة، يمكننا فقط الحصول على دائرة واحدة وقطع مكافئ، ولكن يمكننا إنشاء عدد لا نهائي من الأشكال البيضاوية والقطع الزائدة المختلفة.



القانون الثاني: الخط الواصل بين الكوكب والشمس يقطع مساحات متساوية خلال أزمنة متساوية.

نظرًا لأن هذا الخط يكون أقصر بالقرب من الشمس، فإن الكوكب يتحرك بشكل أسرع كلما كان اقرب للشمس ويتباطأ كلما ابتعد عن الشمس.



يُطلق على أقرب نقطة في المدار الإهليجي من الجسم المركزي عمومًا اسم حول المركز pericenter، إذا أردنا التأكيد على ما هو الجسم في المركز، فيمكننا الإشارة إليه على أنه نقطة الحضيض سواء للأرض، أو الشمس، أو لنجم، أو لأي جسم آخر. وبالمثل، فإن النقطة الأبعد عن الجسم المركزي تسمى الأوج سواء للأرض، أو الشمس، أو لنجم، أو لأي جسم آخر. وفقاً لقانون كبلر الثاني، تتحرك الكواكب بشكل أسرع في الحضيض وأبطأ في الأوج.

القانون الثالث: تتناسب مربعات الفترات المدارية للكواكب مع مكعبات أطوال المحاور شبه الرئيسية لمداراتها.

كصيغة: $a^3/T^2 =$ ثابت . لكن ما هو هذا الثابت؟ دعونا نستبدل بيانات الأرض: a_E = 1 AU (AU هي الوحدة الفلكية، والتي تساوي متوسط المسافة بين الشمس والأرض، حوالي $1.5 \times 10^{11} m$)، T_E = 1 سنة، وبالتالي فإن الثابت هو 1 إذا استخدمنا $AU^3/year^2$ كوحدة. وهذا مناسب جداً للحسابات مع الكواكب في النظام الشمسي.

لكن الآن دعونا نرى كيف يتم اشتقاق هذا الثابت من النظرية، أي كيف يجب أن نحسبه في الحالة العامة. للقيام بذلك، ضع في اعتبارك كوكباً يدور حول نجم كتلته M له نصف قطر مداري r، وتجاهل حركة النجم. في هذه الحالة، قوة الجاذبية المركزية هي قوة الجاذبية:

$$m\omega^2 r = G\frac{mM}{r^2},$$

حيث يمكن حذف كتلة الكوكب m. وباستخدام العلاقة $\omega = 2\pi / T$، نحصل على النتيجة التالية:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}.$$

إذا قمنا بالحساب باستخدام مدار إهليلجي ووضعنا مركز الكتلة عند النقطة المحورية، فإن هذه العلاقة تكون معدلة قليلاً. هنا، يشير a إلى المحور شبه الرئيسي للمدار الإهليلجي.

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G(M+m)}{4\pi^2}.$$

ومع ذلك، نظرًا لأنه غالبًا ما تكون m أصغر بكثير من M ، فيمكن عادةً إهمال كتلة الجسم السماوي الصغير. لكن لاحظ دائماً أن الثابت يتضمن كتلة الجسم السماوي الكبير، لذلك إذا كنت تريد الحساب باستخدام قانون كبلر الثالث لكوكب خارج المجموعة الشمسية يدور حول نجم آخر، على سبيل المثال، حتى لو كنت تقيس الوقت بالسنوات والمسافة بوحدات فلكية، فإن الثابت لن يكون بالضرورة 1!

المفارقة الميكانيكية السماوية هي على ما يبدو نتيجة غير عادية للقانون الثالث. ضع في اعتبارك محاولة إرساء مركبة فضائية بمحطة فضائية. تتحرك المركبتان الفضائيتان بنفس السرعة لأنهما في نفس المدار. من المنطقي الإسراع قليلاً للحاق بالسفينة الفضائية خلف المحطة الفضائية قليلاً. من ناحية أخرى، يعزز التسارع طاقته الحركية ويضعها في مدار نصف قطر أكبر. علاوة على ذلك، وفقًا لقانون كبلر الثالث، ستزداد المسافة من المحطة الفضائية فقط مع زيادة نصف القطر وإطالة الفترة. لذلك، حتى لو قمنا بتسريع المركبة الفضائية، فإن سرعتها المدارية ستنخفض في النهاية.

مثال:

احسب المحور شبه الرئيسي لمدار زحل، باستخدام حقيقة أن الفترة المدارية هي 29.46 سنة.

عندما يدور زحل حول الشمس، يمكننا استخدام $a^3/T^2 = 1$ إذا قمنا بقياس الزمن بالسنوات والمحور شبه الرئيسي بالوحدات الفلكية. وبعد إعادة ترتيب يمكننا الحصول على النتيجة:

$$a = T^{2/3} = 9.54\ AU.$$

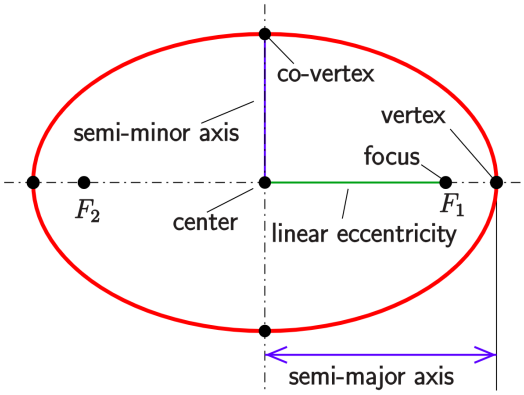
Kepler's laws

Johannes Kepler formulated the basic laws of celestial mechanics. His three laws describe how objects move under the gravitational influence of another body. Here we are going to first state them as they have been stated originally and then discuss if they can be generalized further.

1st law: *The planets orbit in elliptical orbits with the Sun in one of their focal points.*

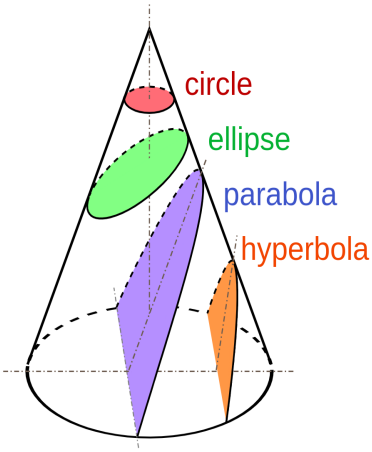
To put it more generally (and more precisely): if only gravitational force acts between two bodies, they move in conic section-shaped orbits with the focal point at the centre of mass of the system. The conic section can be a circle, an ellipse, a parabola or a hyperbola. Thus, the Earth orbits around the common centre of mass of the Sun-Earth system (neglecting for the moment the gravitational influence of all other celestial bodies), which does not coincide exactly with the Sun's centre of mass but is also located inside the Sun. And the Sun is also moving in an elliptical orbit around this point due to the Earth's gravity, but because of the large mass difference, this only appears as a small wobble.

An ellipse can be defined mathematically as the set of points on a plane whose sum of distances from two given points (called focal points) is constant. The figure below shows an ellipse with its main elements.



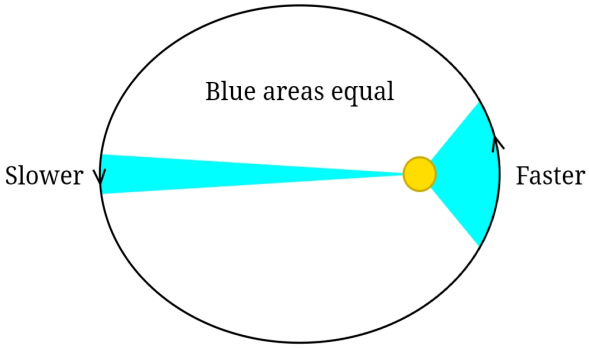
We can generalize Kepler's first law even further. If two bodies interact with each other gravitationally, and all other forces are disregarded, we can say that they will move in conic section orbits around a common centre of mass. Conic sections are plane curves obtained by intersecting a cone. Depending on the angle of the cut, there are four types of curves: circle (cut parallel to the base of the cone), ellipse, parabola (cut parallel to one of the generatrices of the lateral surface) or

hyperbola (cut at an even steeper angle), see the figure below. You can see that if you start the cut at a given point, you can only get a single circle and parabola, but you can create an infinite number of different ellipses and hyperbolae.



2nd law: *A line segment joining a planet and its star sweeps out equal areas during equal intervals of time.*

As this line segment is shorter near the star, the planet must move faster than farther away from the Sun, when the segment is longer.



The closest point of an elliptical orbit to the central body is generally called the *pericenter*, if we want to emphasise what is the body in the center we can refer to it as perigee (Earth), perihelion (Sun), periastron (a star), etc. Similarly, the point farthest from the central body is called the *apocenter*, or apogee (Earth), aphelion (Sun), apoastron (a star), etc. According to Kepler's 2nd law, planets move the fastest in perihelion and the slowest in aphelion.

3rd law: *The squares of the planets' orbital periods are proportional to the cubes of the length of the semi-major axes of their orbits.*

As a formula: $a^3/T^2 =$ constant. But what is this constant? Let us substitute the Earth's data: $a_E = 1$ AU (AU is the astronomical unit, which is equal to the average Sun-Earth distance, approximately 1.5×10^{11} m), $T_E = 1$ year, so the constant is 1 if we use $AU^3/year^2$ as a unit. This is very convenient for calculations with planets in the Solar System.

But now let us see how this constant is derived from the theory, i.e. how we should calculate it in the general case. To do this, consider a planet orbiting a star of mass M having an orbital radius r, and neglect the motion of the star. In this case, the centripetal force is the gravitational force:

$$m\omega^2 r = G\frac{mM}{r^2},$$

where the mass of the planet, m can be eliminated. Using the relation $\omega = 2\pi/T$, we get the following result:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}.$$

If we calculate with an elliptical orbit and place the centre of mass at the focal point, this relationship is slightly modified. Here, a denotes the semi-major axis of the elliptical orbit.

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G(M+m)}{4\pi^2}.$$

However, since it is often the case that m is much smaller than M, the mass of the small celestial body can usually be neglected. But always note that the constant includes the mass of the large celestial body, so if you want to calculate with Kepler's third law for an exoplanet orbiting another star, for example, even if you measure time in years and distance in astronomical units, the constant will not necessarily be 1!

The celestial mechanical paradox is an apparently unusual result of the third law. Consider attempting to dock a spacecraft with a space station. The two spacecraft are moving at the same speed because they are in the same orbit. It makes sense to accelerate a little to catch up if the spaceship is a little behind the space station. Acceleration, on the other hand, boosts its kinetic energy and

places it into a larger-radius orbit. Furthermore, in accordance with Kepler's third law, the distance from the space station will only increase as the radius increases and the period lengthens. Therefore, even if we speed up the spacecraft, its orbital velocity will eventually decrease.

Example:
Calculate the semi-major axis of Saturn's orbit, using the fact that its orbital period is 29.46 years.

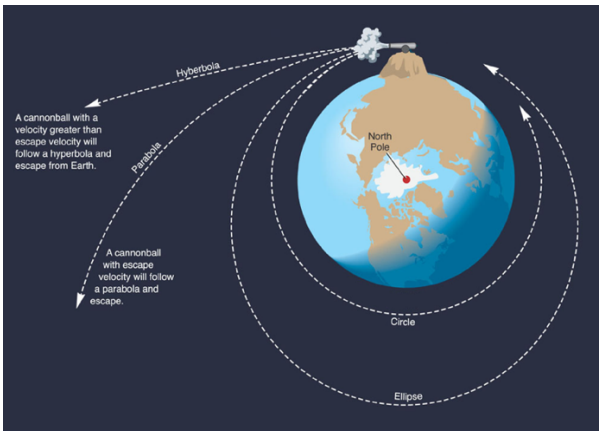
As Saturn orbits around the Sun, we can use $a^3/T^2 = 1$ if we measure the period in years and the semi-major axis in astronomical units. Rearranging the formula, we can get the result:

$$a = T^{2/3} = 9.54\ AU.$$

السرعات الكونية

تعد السرعة التي يجب أن يتسارع بها الصاروخ لدخول مدار حول الأرض أو للهروب من مدار متصل بالأرض مسألة حاسمة في التطبيقات العملية للميكانيكا السماوية.

دعنا نفترض، تماشياً مع تجربة فكرية شهيرة قام بها نيوتن، أن قذائف المدفع تطلق أفقيًا من مدفع موضوع فوق جبل شاهق بسرعات بداية أكبر بشكل متزايد. ستستمر قذائف المدفعية في السقوط على مسافات أكبر وأكبر حتى تصل إلى السرعة التي لم تعد تسقط فيها على الأرض، بل تدور في دائرة. ستستمر المقذوفة في مدار بيضاوي مع نقطة الحضيض في موقع الإطلاق إذا أعطيتها سرعة أعلى، وبسرعات أعلى بكثير ستدخل مداراً مكافئاً أو زائداً.



بأي سرعة نصل إلى المدار الدائري؟ في المدار الدائري، قوة الجاذبية المركزية تساوي قوة الجاذبية:

$$G\frac{Mm}{R^2} = m\frac{v^2}{R} \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

حيث M هي كتلة الأرض و R هي نصف قطر المدار، لذلك كلما ارتفع الموقع الذي يتم إجراء التجربة منه، انخفضت السرعة التي يجب أن تصل إليها قذائف المدفعية. تسمى السرعة المطلوبة لوضع الأجسام التي يتم إطلاقها من سطح الأرض ($R = R_E$) في المدار بالسرعة الكونية الأولى أو السرعة الدائرية. قيمتها حوالي 7.9 كم / ثانية.
ما السرعة التي يجب أن تذهب إليها للوصول إلى مسار الطيران المكافئ؟ نظراً لأن مسار المقذوف لم يعد مقيداً جاذبياً بهذه السرعة، فإنه يُعرف باسم سرعة الهروب أو السرعة الكونية الثانية. الطاقة الكلية للقذيفة تساوي صفراً تماماً، مما يجعل مسار القطع المكافئ فريداً. تمتلك طاقة وضع الجاذبية والطاقة الحركية بكميات متساوية. بالإضافة إلى ذلك، يترتب على ذلك أن سرعتها ستنخفض بثبات خلال مسارها، لتصبح في النهاية صفراً عند اللانهاية.

$$\frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{R} = 0 \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

إذن، السرعة الكونية الثانية هي $\sqrt{2}$ السرعة الأولى. تبلغ قيمته على سطح الأرض حوالي 11.2 كم/ثانية.
ماذا سيحدث للمقذوفات التي لا تكفي سرعتها لدخول المدار الدائري؟ قد نعرف مساراً مكافئاً بناءً على معلوماتنا في الفيزياء في المدرسة الثانوية، لكن هذا ليس صحيحًا. يعتمد المسار المكافئ على فرضية أن قيمة تسارع الجاذبية تظل ثابتة أثناء الرحلة. هذا صحيح بالنسبة للتقريب اللائق عند رمي حجر، ولكن لتوضيح حركة جسم يسافر لمسافة طويلة بشكل صحيح، يجب أن تأخذ في الاعتبار التغيرات في قوة مجال الجاذبية. لذلك سيكون المسار جزءًا من القطع الناقص، مع نقطة الأوج في الأصل.

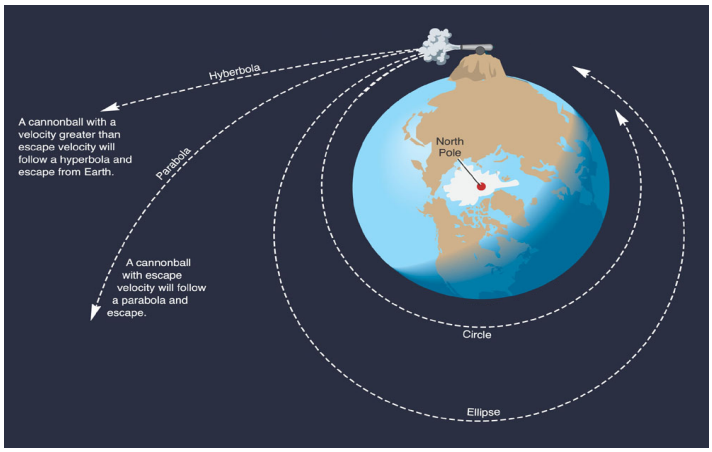
من هذه النتائج، يمكننا تلخيص ما سيحدث بشكل عام لقمر صناعي يدور في مدار دائري إذا زادت سرعته العرضية أو انخفضت ($v = v_{tan} = GM/R$) :
إذا قمنا بإبطائه، فسيكون في مدار بيضاوي مع مكانه الحالي باعتباره مركزه.
إذا قمنا بزيادة سرعته المماسية ولكنها لم تصل إلى $\sqrt{2}$ سرعتها الحالية، فستكون في مدار بيضاوي مع النقطة المقدمة كمحيطها.
إذا قمنا بزيادة سرعته بمعدل $\sqrt{2}$، فسوف يدخل مداراً مكافئاً، ويكون الموضع الحالي هو رأسه.
إذا قمنا بتسريعها أكثر، فسوف تتبع مساراً زائدياً مع النقطة الحالية كرأسه.

في الوقت الحالي، نظرنا للتو إلى الحركات وتعديلات المسار حيث يتم تزويد الجسم فقط بسرعة مماسية (tangential velocity). عندما نتحدث عن السرعات القطرية (radial velocity)، تصبح المشكلة أكثر صعوبة. سوف نتعلم عن هذه لاحقا.
لاحظ أن حساب السرعات الكونية لا يأخذ في الاعتبار دوران الأرض، مما يعطي المقذوف بالفعل سرعة ابتدائية.

Cosmic velocities

How quickly a rocket must be accelerated to enter an orbit around the Earth or to escape an Earth-bound orbit is a critical issue in the practical application of celestial mechanics.

Let's assume, in keeping with a famous thought experiment by Newton, that cannonballs are fired horizontally from a cannon positioned atop a towering mountain at increasingly larger beginning velocities. The cannonballs will continue to fall down at larger and larger distances until they reach a velocity at which they no longer fall to the ground but instead orbit in a circle. The projectile will proceed in an elliptical orbit with the perigee point at the site of launch if you give it even higher velocity, and at much higher velocities it will enter a parabolic or hyperbolic orbit.



At what speed do we reach the circular orbit? In the circular orbit, the centripetal force is equal to the force of gravity:

$$G\frac{Mm}{R^2} = m\frac{v^2}{R} \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

where M is the mass of the Earth and R is the radius of the orbit, so the higher the hill from which the experiment is performed, the lower the speed which the cannonballs must reach. The speed required to put the bodies launched from the Earth's surface ($R = R_E$) into orbit is called the *first cosmic velocity* or *circular velocity*; its value is approximately 7.9 km/s.

How quickly must you go to attain the parabolic flight path? Because the projectile's trajectory is no longer gravitationally constrained at this speed, it is known as *escape velocity* or *second cosmic velocity*. The projectile's total energy is exactly zero, making the parabolic trajectory unique. It possesses gravitational potential energy and kinetic energy in equal amounts. Additionally, it follows that its speed will steadily decrease during its course, eventually becoming zero at infinity.

$$\frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{R} = 0 \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

So the second cosmic velocity is $\sqrt{2}$-times the first one. Its value at the surface of the Earth is approximately 11.2 km/s.

What will happen to the projectiles whose speed is insufficient to enter the circular orbit? We may claim a parabolic route based on our high school physics courses, but this is not correct. The parabolic path is based on the premise that the value of gravitational acceleration remains constant during the voyage. This is true to a decent approximation when throwing a pebble, but to correctly explain the motion of a body travelling a long distance, you must account for changes in the gravitational field strength. The trajectory will therefore be part of an ellipse, with the apogee point at the origin.

From these results, we can summarise in general what will happen to a satellite orbiting in a circular orbit ($v = v_{tan} = GM/R$) if its tangential velocity is increased or decreased:

If we slow it down, it will be on an elliptical orbit with the current place as its apocentre.

- If we increase its tangential velocity but it doesn't reach $\sqrt{2}$ times its present velocity, it will be on an elliptical orbit with the provided point as its pericentre.
- If we increase its speed by a factor of $\sqrt{2}$, it will enter a parabolic orbit, with the current position as its vertex.
- If you accelerate it more, it will follow a hyperbolic trajectory with the present point as its vertex.

For the time being, we've just looked at motions and trajectory modifications where the body is only supplied with tangential velocity. When we adjust the radial component of the velocity, the issue becomes more difficult. We will learn about these later.

Note, that the calculation of cosmic velocities does not take into account the Earth's rotation, which already gives the projectile an initial velocity.

مدارات خاصة

يمكن وضع القمر الصناعي في مجموعة متنوعة من المدارات حول الأرض، ومع ذلك، فإن بعض المدارات أكثر ملاءمة من غيرها لأسباب مختلفة.

المدار المتزامن مع الأرض:
هذه مدارات لها فترة مدارية تساوي فترة دوران الأرض. نتيجة لذلك، بعد يوم واحد، سيكون القمر الصناعي مرئياً من نفس الموقع. يمكن أن يكون المدار المتزامن مع الأرض دائرياً أو إهليجياً (مع أي انحراف)، مع أي قدر من الميل (فيما يتعلق بالمستوى الاستوائي). يبلغ المحور شبه الرئيسي للمدار 42164 كم، مما يعني أن القمر الصناعي المتزامن مع الأرض يدور في مدار دائري يكون دائماً 35786كم فوق سطح الأرض.
الأقمار الصناعية المتزامنة مع الأرض عند متابعتها من موقع جغرافي معين خلال النهار، لا تظهر دائماً في نفس المكان ولكنها غالباً ما تصور شكلًا يشبه شكل ثمانية (8) للمشاهد على الأرض.

المدار الثابت بالنسبة للأرض:

هذه حالة خاصة للمدار المتزامن مع الأرض، حيث يدور القمر الصناعي في المستوى الاستوائي في نفس اتجاه دوران الأرض، في مدار دائري لمدة يوم واحد. دائماً ما يكون القمر الصناعي في المدار الثابت بالنسبة للأرض في نفس الموضع من أي نقطة على الأرض، وهو مناسب جداً لأقمار الاتصالات لأن هوائي محطة الاستقبال الأرضية لا يحتاج إلى التحريك أثناء النهار (ولهذا السبب تواجه هوائيات التليفزيون الفضائي دائماً نفس الاتجاه). يبلغ نصف قطر المدار 42164 كم.

Special orbits

A satellite can be positioned in a variety of orbits around the Earth, however, certain orbits are more favourable than others for various reasons.

Geosynchronous orbit:

These are orbits having an orbital period equal to the rotational period of the Earth. As a result, after one day, the satellite will be visible from the same location. The geosynchronous orbit can be circular or elliptical (with any eccentricity), with any magnitude of inclination (with respect to the equatorial plane). The orbit's

semi-major axis is 42 164 km, which means that a geosynchronous satellite orbiting in a circular orbit is always 35 786 km above the Earth's surface.

When observed from a certain geographic position during the day, geosynchronous satellites do not always appear in the same spot but often depict a figure-of-eight-like form to the viewer on the ground.

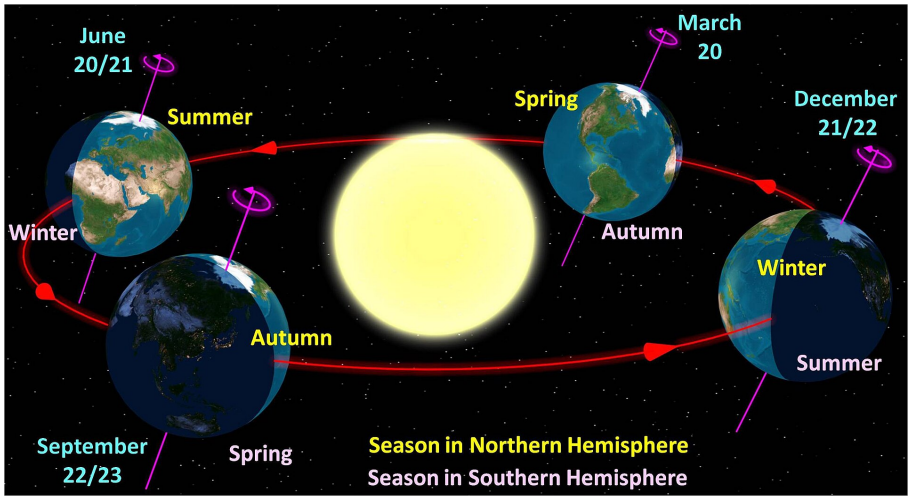
Geostationary orbit:

This is a special case of the geosynchronous orbit, in which the satellite goes around in the equatorial plane in the same direction as the Earth's rotation, in a circular orbit with a one-day period. A satellite in geostationary orbit is always in the same position from any point on Earth, which is very convenient for communication satellites because the antenna of the ground receiving station does not need to be moved during the day (which is why satellite TV antennas always face the same direction). The orbit's radius is 42 164 km.

علم الفلك الكروي
Spherical astronomy

كيف تتحرك الأرض حول الشمس؟

تتحرك الأرض حول الشمس في مدار بيضاوي الشكل بمحور شبه رئيسي يساوي 1.5×10^{11} م. المدار قريب جدًا من دائرة مثالية، له انحراف طفيف فقط. في عام واحد، تدور الأرض حول الشمس، وتصل إلى الحضيض في يناير والأوج في يوليو. لذا فليس حقيقة أننا أقرب إلى الشمس في وقت ما وأبعد في وقت آخر هو الذي يتسبب في تغير الفصول؛ عوضا عن ذلك، فإن هذا التأثير يرفع حرارة نصف الكرة الشمالي إلى حد ما في الشتاء ويبرد قليلا في الصيف. الفصول ناتجة بسبب ميلان محور دوران الأرض بقيمة 23.5°. ونتيجة لذلك، عندما تدور الأرض حول الشمس، يسقط ضوء الشمس على كوكبنا بزوايا مختلفة.



من الناحية الفلكية، هناك أربعة مواضع خاصة للأرض تفصل الفصول عن بعضها البعض. لاحظ أن هذه لا تتوافق تمامًا مع الطريقة التقليدية لفصل الفصول بناءً على الأشهر في التقويم (أي الشتاء من 1 ديسمبر إلى 28 فبراير، والربيع من 1 مارس إلى 31 مايو، وما إلى ذلك).

الانقلاب الصيفي (20-21 يونيو): هو الوقت الذي تكون فيه الشمس في أعلى درجاتها في السماء عند النظر إليها من نصف الكرة الشمالي وحينئذ يكون اليوم أطول (يكون العكس صحيحًا عند النظر إليه من نصف الكرة الجنوبي). تسطع الشمس بشكل

عمودي على خط العرض الجغرافي $\varphi = 23.5°$، ويسمى هذا الخط بمدار السرطان. وسبب التسمية أن الشمس كانت عند إطلاق الاسم كانت في كوكبة تسمى السرطان في الانقلاب الصيفي (ولكنها الآن في برج الثور في ذلك الوقت). من الناحية الفلكية، يمثل هذا اليوم بداية الصيف.

الاعتدال الخريفي (22 - 23 سبتمبر): في هذا اليوم عندما تتحرك الشمس من الشمال إلى الجنوب، تعبر خط الاستواء، فتسطع بشكل عمودي على خط الاستواء. نسميها الاعتدال لأن أطوال النهار والليالي متساوية في هذا اليوم (تجاهل تأثيرات الغلاف الجوي). تشرق الشمس على وجه التحديد في الشرق وتغرب بالضبط في الغرب (تشرق وتغرب في أقصى الشمال في الأشهر التي تسبق هذا الشهر وأبعد جنوبا في الأشهر التي تلي هذا الشهر). الشمس في الموضع المعروف باسم النقطة الأولى من الميزان، أو ببساطة الاعتدال الخريفي في هذا اليوم، والذي يوجد حاليًا في كوكبة العذراء. يمثل الاعتدال الخريفي بداية الخريف الفلكي.

الانقلاب الشتوي (21-22 ديسمبر): تصل الشمس إلى أقصى نقطة في الجنوب، مشرقة بشكل عمودي على خط العرض الجغرافي $\varphi = -23.5°$. يسمى خط العرض هذا بمدار الجدي. في هذا اليوم الأول من الشتاء الفلكي، تكون الشمس في كوكبة القوس. هذه هي أطول ليلة في السنة في نصف الكرة الشمالي.

الاعتدال الربيعي (20-21 مارس): تعبر الشمس خط الاستواء السماوي من الجنوب إلى الشمال (تسطع مرة أخرى بشكل عمودي على خط الاستواء). يمكن ملاحظتها في النقطة الأولى من برج الحمل، والمعروفة أيضًا باسم الاعتدال الربيعي، والتي تقع الآن في كوكبة الحوت. هذا هو اليوم الأول من الربيع الفلكي.

بصرف النظر عن خط الاستواء ومدار السرطان والجدي، يمكن تحديد خطي عرض مهمين إضافيين من خلال الحركة السماوية الظاهرة للشمس. الدائرة القطبية الشمالية هي أقصى خط عرض جنوبي حيث يمكن أن يقع مركز القرص الشمسي فوق الأفق أو تحته بشكل مستمر لمدة 24 ساعة. هذا يعني أن هناك يومًا واحدًا على الأقل كل عام لا تشرق أو تغرب فيه الشمس في الدائرة القطبية الشمالية وفي أقصى الشمال. في

الدائرة القطبية الشمالية، هناك يوم واحد فقط: الانقلاب الصيفي، عندما تكون الشمس فوق الأفق طوال اليوم والانقلاب الشتوي عندما تكون الشمس تحت الأفق

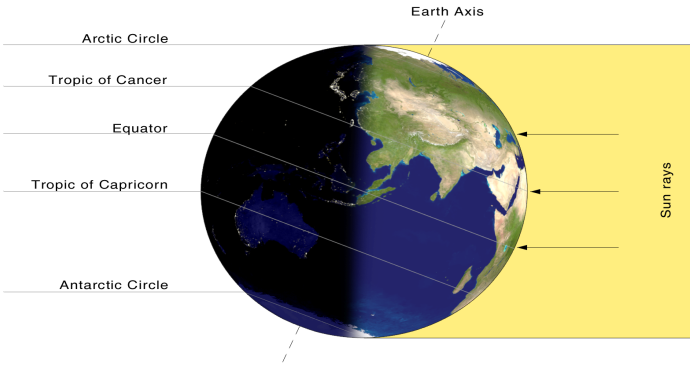
طوال اليوم. أثناء سفرك شمالًا، وحتى وصولك للقطب الشمالي، فإن الفترات تزداد طولاً ويكون نهاراً لمدة نصف عام ثم الظلام لمدة نصف عام.

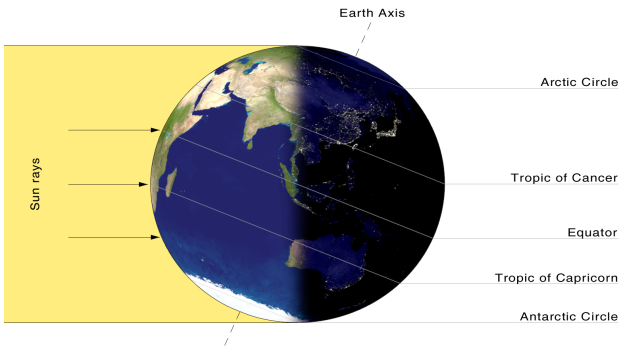
يمكن تحديد خط عرض الدائرة القطبية الشمالية من خلال:

$$\varphi = 90° - 23.5° = 66.5°.$$

وبالمثل، يمكننا تعريف الدائرة القطبية الجنوبية في نصف الكرة الجنوبي على النحو التالي:

$$\varphi = \varphi = 90° - (-23.5°) = -66.5°.$$

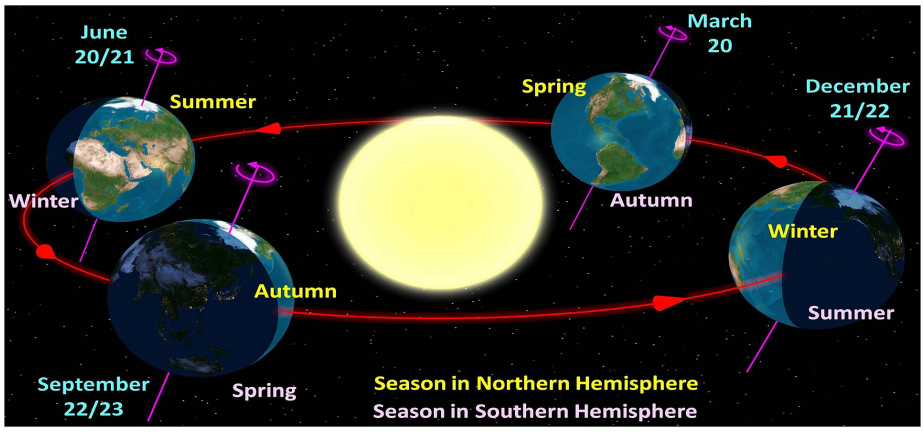




إضاءة الأرض في الصيف (أعلاه) والشتاء (أدناه) الانقلابات

How does the Earth move around the Sun?

The Earth moves around the Sun on an elliptical orbit with a semi-major axis of $a = 1.5 \times 10^{11}$ m. The orbit is very close to a perfect circle, it only has a slight eccentricity. In one year, the Earth circles the Sun, reaching perihelion in January and aphelion in July. So it is not the fact that we are closer to the Sun at one point in time and farther away at another that causes the seasons to change; rather, this effect heats the northern hemisphere somewhat in winter and cools it slightly in summer. The seasons are caused by the 23.5° tilt of the Earth's axis of rotation. As a result of this, as the Earth orbits the Sun, sunlight falls on our planet at different angles.



Astronomically speaking, four special positions of the Earth separate the seasons from each other. Note, that these do not exactly correspond to the traditional way of separating the seasons based on the months in the calendar (i.e. winter is 1 December to 28 February, spring is 1 March to 31 May, etc.).

Summer solstice (20-21 June): this is when the Sun is highest in the sky when viewed from the northern hemisphere and when the day is longest (the opposite is true when viewed from the southern hemisphere). The Sun is shining perpendicular to the geographical latitude $\varphi = 23.5°$, this latitude is called the Tropic of Cancer. It gets its name from the fact that when it was named, the Sun was in the constellation called Cancer at the summer solstice (but is now in Taurus at that time). In astronomical terms, this day marks the beginning of summer.

Autumn equinox (22-23 September): on this day as the Sun moves from north to south, it crosses the line of the Equator, so it shines perpendicular to the Equator. We name it the equinox because the lengths of the days and nights

are equal on this day (ignoring the atmospheric effects). The Sun rises precisely in the east and sets precisely in the west (it rises and sets farther north in the months preceding this one and farther south in the months following this one). The Sun is in the position known as the first point of Libra, or simply the Autumn equinox on this day, which is

currently in the constellation Virgo. The autumn equinox marks the start of astronomical autumn.

Winter solstice (21-22 December): the Sun reaches its southernmost point, shining perpendicular to the geographic latitude of $\varphi = -23.5°$. This latitude is called the Tropic of Capricorn. On this first day of astronomical

winter, the Sun is in the constellation Sagittarius. This is the longest night of the year in the northern hemisphere.

Vernal equinox (20-21 March): The Sun crosses the celestial equator from south to north (shining again perpendicular to the Equator). It may be observed at the first point of Aries, also known as the Vernal equinox, which is now located in the constellation Pisces. This is the first day of astronomical spring.

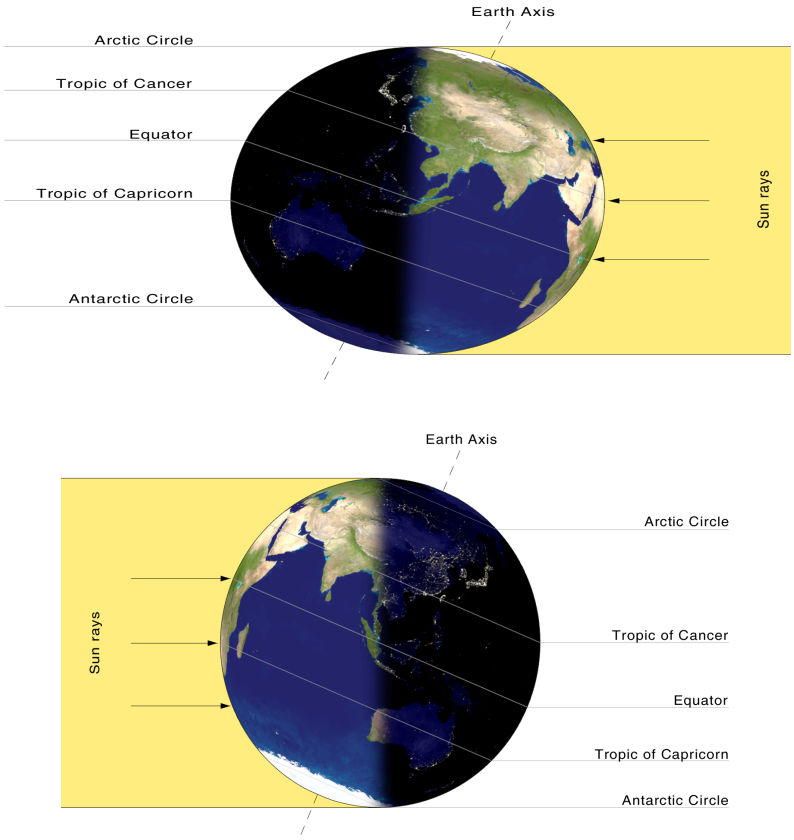
Aside from the Equator, the Tropics of Cancer, and Capricorn, two additional important latitudes can be identified by the apparent celestial motion of the Sun. The Arctic Circle is the southernmost latitude where the centre of the solar disc can lie above or below the horizon continuously for 24 hours. This means that there is at least one day every year when the Sun does not rise and at least one day when it does not set at the Arctic Circle and farther north. In the Arctic Circle, there is just one such day: the summer solstice, when the Sun is above the horizon all day and the winter solstice when it is below the horizon all day. As you travel north, these intervals lengthen until, at the North Pole, it is day for half a year and then darkness for half a year.

The latitude of the Arctic Circle can be given by:

$$\varphi = 90° - 23.5° = 66.5°.$$

Similarly, we can define the Antarctic Circle in the southern hemisphere as:

$$\varphi = 90° - (-23.5°) = -66.5°.$$

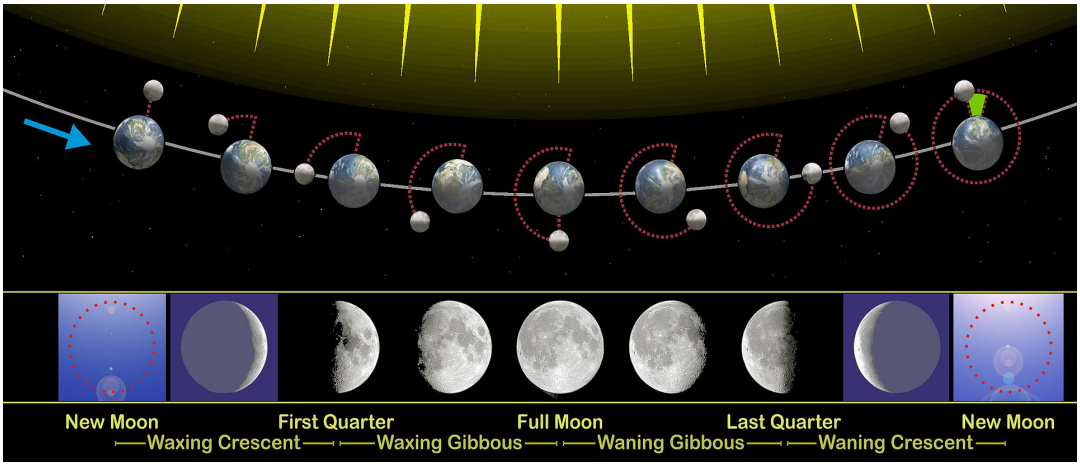


Illumination of the Earth on the summer (above) and winter (below) solstices

كيف يتحرك القمر حول الأرض؟

يدور القمر حول الأرض في مدار إهليلجي مع محور شبه رئيسي يبلغ 384400 كم مع اختلاف مركزي صغير. مقارنة بالمستوى الأساسي للنظام الشمسي، والذي يسمى مسير الشمس أو الدائرة الكسوفية (هو المستوى المداري للأرض حول الشمس، والذي من منظور مراقب على الأرض هو المستوى الذي تتحرك عليه الشمس أمام خلفية النجوم)، فإن ميل مدار القمر يبلغ حوالي 5°. نظرًا للاختلاف المركزي، فإن الحجم الظاهري للقمر وسرعته الزاوية يختلفان أيضًا خلال الوقت: هناك فرق بنسبة 12٪ بين القطر الظاهري للقمر في الأوج والحضيض.

يتغير شكل القمر من ليلة إلى أخرى، وربما يكون هذا هو أكثر مظاهر القمر وضوحًا. هذا يرجع إلى أن القمر ليس له ضوء خاص به ولكنه يعكس ضوء الشمس الساقط عليه، وبينما يدور حول الأرض، فإن جزء القمر الذي تضيئه الشمس كما يُنظر إليه من الأرض يتغير باستمرار.



يوضح الشكل أنه عند القمر الجديد، يقع القمر في نفس اتجاه الشمس تمامًا. هذا يعني أن هذا الجزء فقط منه مضاء، وهو غير مرئي من الأرض. مع مرور الوقت والقمر يتحرك بعيدًا عن هذا الموضع، نبدأ في رؤية جزء أكبر وأكبر من نصفه المضيء، ونصل إلى الربع الأول عندما تكون هناك زاوية 90° بين القمر والشمس في السماء. عندما يصطف القمر والأرض والشمس مرة أخرى، نرى اكتمال القمر ويكون بدراً.. بعد هذه المرحلة، يبدأ ضوء القمر في التناقص، ويصل إلى ربعه الأخير وأخيراً قمرًا جديدًا مرة أخرى.

دوران القمر متزامن، وهذا يعني أن فترة دورانه حول نفسه هي نفس فترة الدوران المدارية. بسبب هذه الخاصية الخاصة، نرى دائمًا نفس وجه القمر من الأرض. هذه الظاهرة ليست نادرة في النظام الشمسي. بغض النظر عن فترة الدوران الأصلية للقمر عند تكوينه، فإن قوى المد والجزر ستضبطه بعد وقت طويل على نفس قيمة الفترة المدارية. بعض الأمثلة الأخرى على ما يسمى بالأقمار المغلقة المدارية في النظام الشمسي هي أقمار المريخ (فوبوس وديموس) بالإضافة إلى أكبر أربعة أقمار كوكب المشتري (أيو، ويوروبا، وجانيميد، وكاليستو؛ ونطلق عليها أيضًا اسم أقمار جاليلوي).

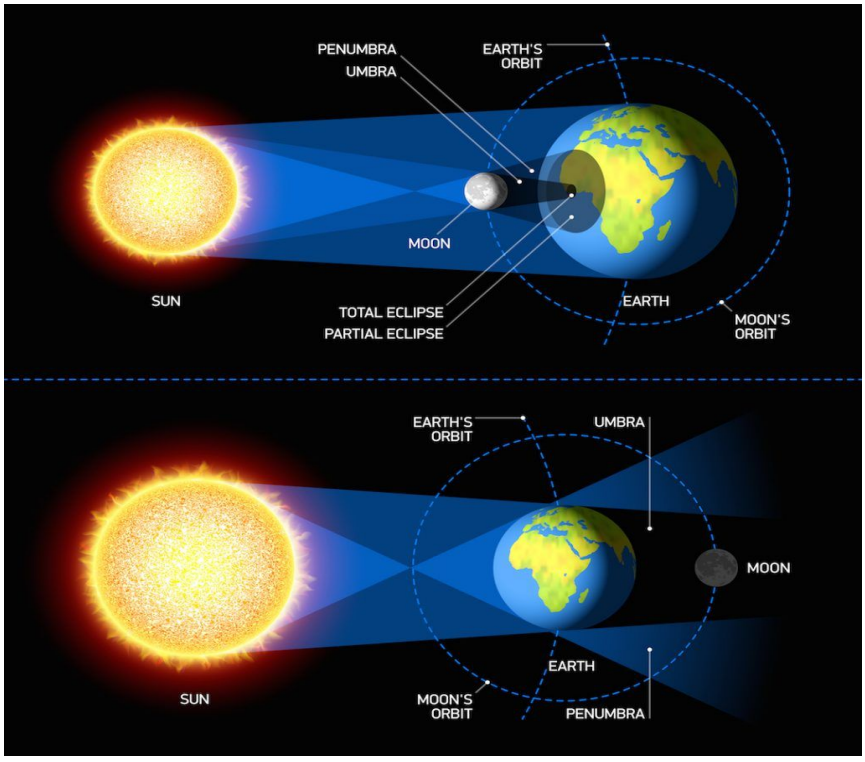
بطبيعة الحال، تعمل قوى المد والجزر على الجسم الأكبر، وكذلك الكوكب، مما يتسبب في تغير سرعة دورانه أيضًا. ومع ذلك، سيكون هذا التغيير أبطأ بكثير. على الأرض، تطول الأيام، بمعدل 20 ميكروثانية تقريبًا كل عام. سيستمر هذا حتى يصبح طول يوم الأرض هو نفس الفترة المدارية للقمر (حوالي 27 يومًا و7 ساعات). عند هذه النقطة، ستبدو الأرض والقمر مثل بلوتو وقمره شارون: كلاهما دائمًا يواجه الآخر بنفس الجانب.

تستخدم حركة القمر لضبط الوقت من قبل العديد من الثقافات المختلفة حول العالم. يتحرك القمر بعدة طرق مختلفة، لذلك هناك احتمالات متعددة لتحديد "الشهر". الآن

سوف نتعلم عن اثنين من هؤلاء، ولكن هناك ثلاثة أخرى قيد الاستخدام سنتعرف عليها لاحقًا.

1. الشهر القمري النجمي: هذا هو الوقت الذي يستغرقه القمر ليكون في نفس الموقع بالنسبة للنجوم البعيدة. هذه هي الفترة المدارية للقمر، يبلغ طولها حوالي 27 يومًا و7 ساعات.
2. الشهر القمري الاقتراني: الوقت بين مرحلتين متطابقتين للقمر (على سبيل المثال، الوقت بين قمرين جديدين متتاليين). نظرًا لأن الأرض تدور حول الشمس أثناء دوران القمر حول الأرض، فإن القمر يحتاج إلى مزيد من الوقت للوصول إلى نفس الموقع بالنسبة للشمس (أي أن يُرى في نفس المرحلة من الأرض) مقارنة بالنجوم (انظر إلى الجزء الأخضر الصغير على الجانب الأيمن من الشكل أعلاه). نتيجة لذلك، فإن الشهر القمري الاقتراني أطول بحوالي 2.2 يومًا من الشهر القمري النجمي، 29 يومًا و12 ساعة.

هناك حدثان فلكيان رئيسيان آخران مرتبطان بحركة القمر: كسوف الشمس وخسوف القمر.



يمكن أن يحدث كل من كسوف الشمس وخسوف القمر فقط عندما تكون الشمس والأرض والقمر في حالة محاذاة أو بمعنى آخر على استقامة واحدة. يحدث كسوف الشمس عندما يكون القمر بين الشمس والأرض، مما يؤدي إلى حجب قرص الشمس (أو جزء منه) عند رؤيته من الأرض؛ يحدث خسوف القمر عندما تكون الأرض بين الشمس والقمر، ويكون القمر (جزئيًا على الأقل) في ظل الأرض.

نظرًا لأن القمر يقع بين الشمس والأرض عند كسوف الشمس، فإننا نرى هذه الظاهرة فقط عند بدايات الأشهر القمرية أي القمر الجديد. وبالمثل، فقط عند اكتمال القمر ويكون بدراً يمكننا رؤية خسوف القمر. لكن لماذا هذا نادر جدًا، فلماذا لا نرى كسوفًا للشمس كل قمر جديد وخسوفًا للقمر كل قمر مكتمل؟ تكمن الإجابة في ميل مدار القمر: يجب أن يكون القمر قريبًا جدًا من مسير الشمس (الدائرة الكسوفية) في وقت القمر الجديد (أو اكتمال القمر). لو كان مدار القمر منطبق مع مسار الشمس (الدائرة الكسفوية)، فسيحدث كسوف الشمس عند كل قمر جديد أي كل شهر.

بإلقاء نظرة على الشكل أعلاه، يمكننا فهم الفرق بين كسوف الشمس الكلي والجزئي. أثناء الكسوف الكلي للشمس، يحجب القمر الشمس تمامًا، لذلك يكون الراصد

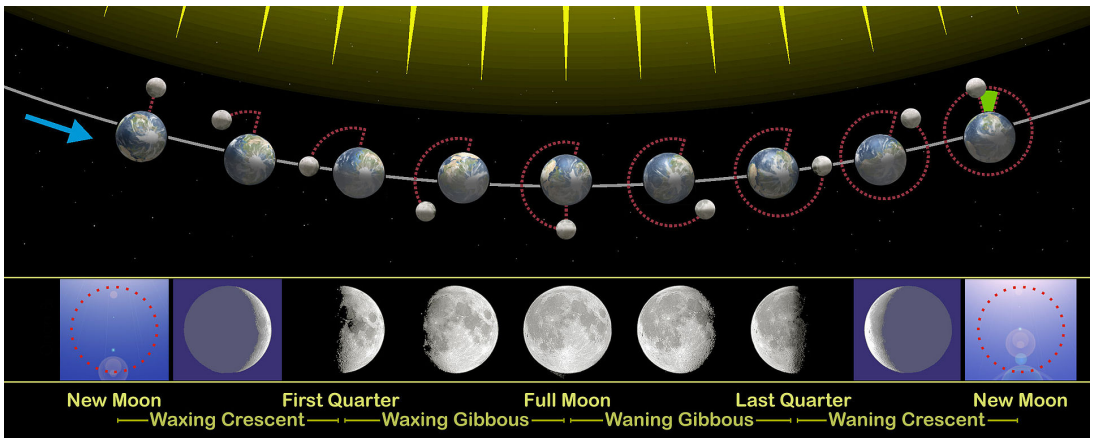
على الأرض في جزء من ظل القمر يسمى الظل. لا يمكن ملاحظة كل كسوف كلي إلا من نطاق ضيق من سطح الأرض. في الكسوف الجزئي، لا يتم محاذاة الشمس والقمر والأرض تمامًا، لذلك لا يغطي القمر سوى جزء من قرص الشمس. في هذه الحالة، يقع الراصد على الأرض في منطقة شبه الظل.

يمكن أن يكون خسوف القمر خسوفًا كليًا أو جزئيًا. في الخسوف الكلي للقمر، يتم خسوف القمر تمامًا بواسطة منطقة الظل الناتجة من ظل الأرض، مما يعني أن الأرض تحجب الشمس تمامًا عند رؤيتها من أي نقطة على القمر. على عكس الكسوف الشمسي، لا يختفي القمر من السماء تمامًا، حتى أثناء الخسوف الكلي للقمر. لو لم يكن للأرض غلاف جوي، فسيكون هذا هو الحال، لكن بعض ضوء الشمس من الغلاف الجوي للأرض لا يزال يصل منعكسا إلى القمر. في الخسوف الجزئي للقمر، يدخل جزء فقط من القمر منطقة الظل.

How does the Moon move around the Earth?

The Moon orbits the Earth in an elliptical orbit with a semi-major axis of 384 400 km and a small eccentricity. Compared to the fundamental plane of the Solar System, called the ecliptic (this is the orbital plane of the Earth around the Sun, which from the perspective of an observer on Earth is the plane on which the Sun moves in front of the background of the stars), the orbit of the Moon has an inclination of about 5°. Due to the eccentricity, the Moon's apparent size and angular velocity also vary over a period: there is a 12% difference between the apparent diameter of the Moon in apogee and perigee.

The Moon's form changes from night to night, which is perhaps its most noticeable aspect. This is due to the Moon having no light of its own but reflecting that of the Sun, and as it revolves around the Earth, the part of the Moon lighted by the Sun as viewed from the Earth varies continually.



The figure shows that at the new moon, the Moon lies exactly in the same direction as the Sun. That means that only that part of it is illuminated, which is not visible from the Earth. As time passes and the Moon moves away from this position, we start seeing a larger and larger fraction of its illuminated half, reaching the first quarter when there is a 90° angle between the Moon and the Sun in the sky. When the Moon, the Earth and the Sun line up again, we see a full moon,

when we see the full illuminated half of the Moon. After this phase, the Moon starts to wane, reaching its last quarter and finally a new moon again.

The Moon has a synchronous rotation, which means that its rotational period is the same as its orbital period. Because of this special property, we always see the same face of the Moon from the Earth. This phenomenon is not rare in the Solar System. No matter what the original rotation period of a moon was at its formation, after a long time the tidal forces will adjust it to the same value as its orbital period. Some other examples of similar, so-called tidally locked moons in the Solar System are the two Moons of Mars (Phobos and Deimos) as well as the four largest moons of Jupiter (Io, Europa, Ganymede and Callisto; we also call these the Galilean moons).

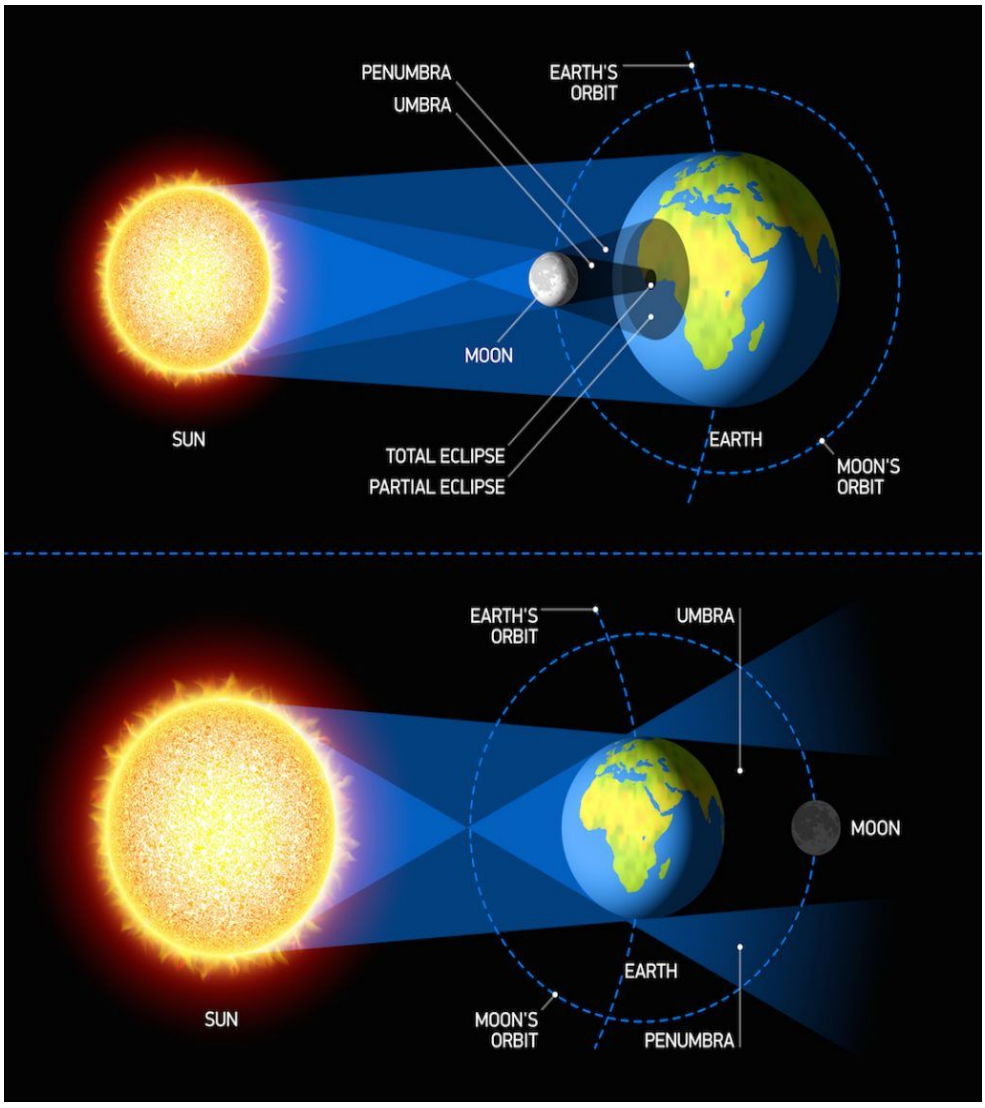
Naturally, the tidal forces act on the larger body, so the planet as well, which causes its rotational velocity to change as well. However, this change will be much slower. On Earth, the days are getting longer and longer, approximately by 20 microseconds every year. This will continue until the length of the Earth day is the same as the orbital period of the Moon (approximately 27 days and 7 hours). At that point, the Earth and the Moon will look like Pluto and its moon Charon: both of them always face the other one with the same side.

The movement of the Moon has been used for timekeeping by many different cultures around the world. The Moon moves in many different ways, so there are multiple possibilities to define a “month”. Now we are going to learn about two of these, but there are three more in usage that we will get to know later.

1. Sidereal month: this is the time it takes for the Moon to be in the same position relative to the faraway stars. This is the orbital period of the Moon, its length is approximately 27 days and 7 hours.

2. Synodic month: The time between two identical phases of the Moon (e.g. the time between two consecutive new moons). Since the Earth orbits the Sun while the Moon is going around the Earth, the Moon needs more time to reach the same position relative to the Sun (i.e. to be seen in the same phase from the Earth) than relative to the stars (see the little green section at the right side of the figure above). As a consequence, the synodic month is about 2.2 days longer than the sidereal month, 29 days and 12 hours.

There are two other major astronomical events associated with the movement of the Moon: the solar and lunar eclipses.



Both the solar and the lunar eclipse can only occur when the Sun, the Earth and the Moon are aligned. A solar eclipse occurs when the Moon is positioned between the Sun and the Earth, obscuring the Sun's disc (or a portion of it) when seen from Earth; a lunar eclipse occurs when the Earth is positioned between the Sun and the Moon, and the Moon is (at least partially) in the shadow of the Earth.

Because the Moon is between the Sun and the Earth at solar eclipses, we only see this phenomenon at new moons. Similarly, only at a full moon can we see a lunar eclipse. But why is this so rare, why don't we see a solar eclipse every new moon and a lunar eclipse every full moon? The answer lies in the inclination of the Moon's orbit: the Moon must be very close to the ecliptic at the time of the new

moon (or full moon). If the Moon orbited exactly on the ecliptic, we would really be able to admire the solar eclipse at every new moon.

Taking a look at the figure above, we can understand the difference between total and partial solar eclipses. During a total solar eclipse, the Moon completely eclipses the Sun, so the observer on Earth is in the part of the Moon's shadow called the umbra. Each total eclipse can only be observed from a narrow band of the Earth's surface. In a partial eclipse, the Sun, Moon and Earth are not completely aligned, so the Moon only covers part of the Sun's disk. In this case, the observer on Earth is located in the penumbra part of the shadow.

A lunar eclipse can also be a total or a partial one. In a total lunar eclipse, the Moon is completely eclipsed by the umbra part of the Earth's shadow, meaning that the Earth completely blocks the Sun when viewed from any point on the Moon. Unlike a solar eclipse, the Moon does not "disappear" from the sky completely, even during a total lunar eclipse. If the Earth did not have an atmosphere, this would be the case, but some of the sunlight from the Earth's atmosphere still reaches the Moon. In a partial lunar eclipse, only part of the Moon enters the umbra.

التطور النجمي
Stellar evolution

كيف تنشأ النجوم؟

النجوم هي أجسام كروية ضخمة من الغاز الساخن والبلازما، طاقتها ناتجة من خلال التفاعلات النووية. يستكشف هذا الفصل تطور النجوم ذات الكتل الأولية المختلفة.

تتكون المجرات الحلزونية النموذجية، مثل مجرة درب التبانة، من نجوم وبقايا نجمية ومادة مظلمة ومادة بين نجمية. يمكن تصنيف المادة البين نجمية بناءً على درجة الحرارة التي تحدد حالة الهيدروجين فيها. أبرد أشكال المادة بين النجوم هي السحابة الجزيئية، حيث يكون الهيدروجين بارداً بدرجة كافية لتكوين الجزيئات. تُولد النجوم عادة في الأجزاء الأكثر كثافة من هذه السحب الجزيئية، حيث تكون درجة الحرارة حوالي 10 كلفن. يعد سديم الجبار من أقرب مناطق ولادة النجوم. غالباً تتأثر نشأت أو ولادة النجوم بسبب الأحداث الخارجية، مثل تصادم السحب الجزيئية، أو موجات الصدمة من انفجارات المستعر الأعظم، أو قوى المد والجزر من اصطدامات المجرات.

سديم الجبار

تنتج السحب الجزيئية نوى أكثر كثافة تتقلص عندما تتغلب الجاذبية على ضغط الغاز. قد تنقسم الفيوم إلى أجزاء أصغر، وتنكمش لتكوين النجوم، مما يؤدي إلى تكوين المجاميع والعناقيد المفتوحة. عندما يسخن مركز السحابة بدرجة كافية بحيث يتوقف ضغطها عن المزيد من الانكماش الجاذبي، فإنها تصل إلى التوازن الهيدروستاتيكي. يسمى الجرم الناتج بالنجم الأولي. عندما تتقلص السحابة، يتسارع

دورانها، مما يؤدي إلى تسطيحها وتشكيل قرص تراكمي حول النجم الأولي. تتدفق المادة إلى النجم الأولي من القرص، مما يزيد من ضغطها ودرجة حرارتها. يبدأ اندماج الديوتيريوم عندما تصل درجة الحرارة إلى مليون كلفن. الديوتيريوم هو أحد نظائر الهيدروجين. نواة ذرة الهيدروجين هي ببساطة بروتون واحد، بينما تتكون نواة الديوتيريوم من بروتون واحد ونيوترون واحد. هنا وفيما يلي سوف نشير إلى النوى الذرية المختلفة باختصارها (على سبيل المثال، H للهيدروجين) وعدد كتلتها (العدد الإجمالي للبروتونات والنيوترونات في النواة) في الخانة العلوية اليسرى، وعددها الذري (إجمالي عدد البروتونات والنيوترونات في النواة) في الخانة السفلية اليسرى. على سبيل المثال، ماذا تعني نواة ذرية $^{2}_{1}H$ ؟ يوضح الحرف H أنه نواة هيدروجين. يُظهر الرقم ٦ في الخانة

السفلية أنه يحتوي على بروتون واحد، ويظهر الرقم 2 في الخانة العلوية أن عدد بروتوناته زائد عدد نيوتروناته هو 2. وهذا يعني أن مثل هذه النواة بها بروتون واحد ونيوترون واحد. ومن ثم، فهذه هي العلامة التي يمكننا استخدامها للدلالة على نواة الديوتيريوم. بعد تعلم هذا الترميز، ينتج عن اندماج الديوتيريوم مع الهيدروجين الهيليوم:

$$^{2}_{1}H + ^{1}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He$$

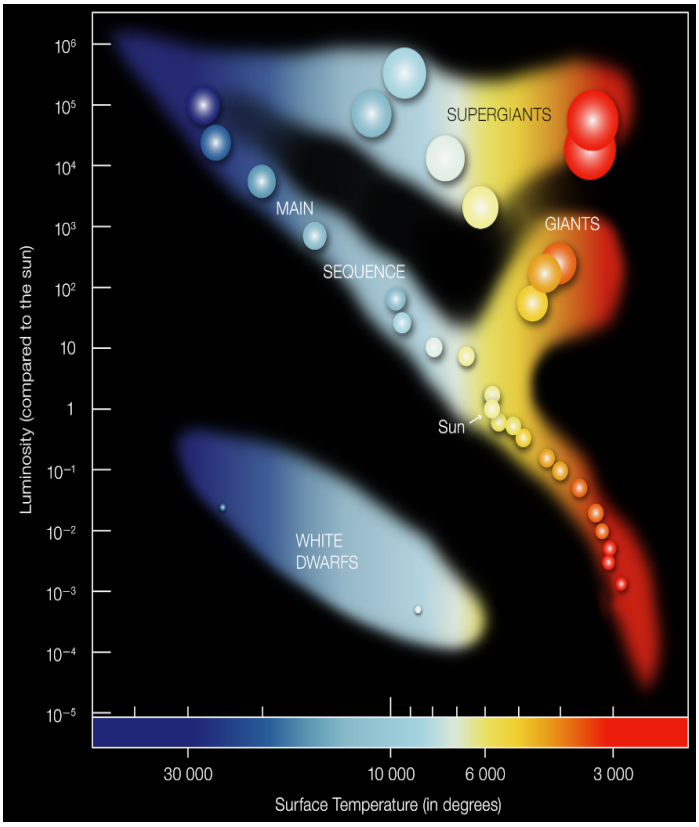
تولد هذه العملية الطاقة، التي ستبدأ في تسخين النجم الأولي.

بمجرد انتشار معظم الغبار والغاز المحيطين بعيداً، يصبح النجم الأولي مرئياً في النطاق البصري ويطلق عليه نجم قبل التسلسل الرئيسي. يستمر في الانكماش حتى تصل درجة الحرارة في الداخل إلى ١٥ ملايين كلفن، مما يؤدي إلى اندماج الهيدروجين وتحويله إلى نجم متسلسل رئيسي.

النجوم الأولية ذات الكتلة الأقل من حوالي 0.08 كتلة شمسية (أي ما يقرب من 80 كوكب المشتري، الكتلة الشمسية الواحدة هي كتلة شمسنا، حوالي 2×10^{30} كجم) لا تسخن بكفاءة كافية لتحفيز اندماج الهيدروجين. ومع ذلك، يمكن أن يبدأ اندماج الديوتيريوم في الأجرام السماوية ذات كتل تصل إلى ١٣ مرة كوكب المشتري. تسمى الأجسام في هذا النطاق الكتلي بالأقزام البنية، وتشكل طبقة منفصلة بين الكواكب والنجوم. تبدو الأقزام البنية ضاربة إلى الحمرة أو رمادية اللون، تشع بشكل أساسي في مجال طيف الأشعة تحت الحمراء.

مخطط هيرتزبرونج-راسل Hertzsprung-Russell Diagram

يعد مخطط هيرتزبرونج-راسل (HRD) أهم مخطط أو توزيع في علم الفلك. إنه يرسم لمعان النجوم (لمعانها الجوهري، والذي يمكننا قياسه إذا كنا قريبين) كدالة على درجة حرارتها. اللافت للنظر أن النجوم لا تتوزع في هذا المخطط بشكل متشابه، مما يعني أن هناك نوعاً من العلاقة بين درجة حرارة النجوم ولمعانها. تصنف النجوم في الرسم البياني إلى مجموعات محددة، تمثل مراحل مختلفة من حياة النجوم.



كما ترى في HRD، فإن لون النجوم مرتبط بدرجة حرارتها. سنتعلم المزيد عن هذا لاحقاً، ولكن في الوقت الحالي، من المهم أن تكون النجوم الباردة حمراء، ومع ارتفاع درجة الحرارة نرى نجوماً برتقالية، وصفراء وبيضاء وزرقاء. هذا يعني أيضًا أن النجوم يمكن أن يكون لها لونان مختلفان فقط. على سبيل المثال، لا يمكن أن تكون خضراء أو وردية. يجب أن نلاحظ أن المحور الأفقي لمخطط هيرتزبرونج-راسل (HRD) يختلف عن الطريقة التي نستخدم بها هذا المحور عادةً: درجات الحرارة الأعلى تقع على الجانب الأيسر، وليس على اليمين.

يُطلق على الشريط المائل من النجوم اللامعة والساخنة إلى النجوم الخافتة والباردة التسلسل الرئيسي. تبدأ النجوم حياتهم هنا ويقضون أيضًا معظم حياتهم هنا. تعتمد نقطة البداية فقط على كتلتها: فالنجوم ذات الكتلة الأولية الأعلى تكون أكثر سخونة وأكثر زرقة من النجوم ذات الكتلة الأولية الأقل. خلال حياة التسلسل الرئيسي المستقر، لا تتحرك النجوم كثيرًا في HRD، لذلك على سبيل المثال، ستقضي الشمس بضع بلايين من السنين حيث تظهر حاليًا في الشكل. تولد النجوم المتسلسلة الرئيسية الطاقة من خلال اندماج الهيدروجين:

$$ {}_1^1H + {}_1^1H \rightarrow {}_1^2H $$

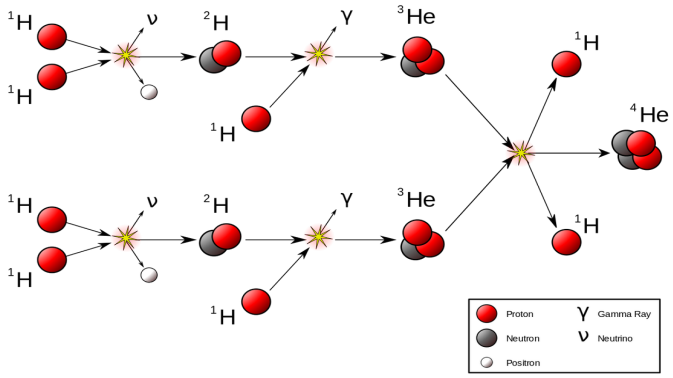
لذلك من نواتين هيدروجين (كل منهما عبارة عن بروتون واحد فقط) نحصل على نواة الديوتيريوم. في هذه العملية، يجب أن يتحول بروتون واحد إلى نيوترون، مما ينتج عنه انبعاث جسيمين آخرين (بوزيترون ونيوترينو)، لكننا سنتعلم المزيد عن ذلك لاحقاً. في الخطوة التالية، يندمج الديوتيريوم مع البروتون، في نفس التفاعل الذي رأيناه عند الأقزام البنية:

$$ {}_1^2H + {}_1^1H \rightarrow {}_2^3He $$

أخيراً، تندمج نواتان من الهيليوم في النظير الأكثر استقراراً للهليوم، بينما يتم إطلاق بروتونين:

$$ {}_2^3He + {}_2^3He \rightarrow {}_2^4He + 2p $$

لذا للحصول على النوى ${}_2^3He$ احتجنا إلى ما مجموعه 6 بروتونات، لكن في النهاية، استرجعنا اثنين منهم. ومن ثم فإن النتيجة النهائية هي أن 4 بروتونات (نوى الهيدروجين) يتم تحويلها إلى نواة هيليوم. يمكنك دراسة هذه التفاعلات بعمق في الشكل التالي. لاحظ أنه في بعض الأحيان يستخدم الناس مصطلح "حرق الهيدروجين" لهذه العملية، وهو ليس صحيحًا بمعنى أنه ليس حرقاً كيميائياً. إنه الاندماج النووي للنواة الذرية، وهي عملية أكثر نشاطاً. ومع ذلك، يحب بعض الناس استخدام كلمة "الحرق" للتفاعلات النووية أيضاً.



تولد تفاعلات اندماج الهيدروجين، التي تسمى سلسلة بروتون-بروتون، طاقة في نوى نجوم التسلسل الرئيسي

تشكل التفاعلات الموصوفة أعلاه ما يسمى بسلسلة بروتون-بروتون، وهي العملية الرئيسية لتوليد الطاقة داخل نجوم التسلسل الرئيسي ذات الكتلة الأصغر. تولد إحدى هذه العمليات طاقة تساوي 26.73 MeV (MeV هو ميجا إلكترون فولت، وهي وحدة طاقة تستخدم غالباً في الفيزياء النووية). واحد eV (electronvolt) هو مقدار الطاقة التي يحصل عليها الإلكترون في مجال كهربائي بجهد 1 فولت، و1 ميجا إلكترون فولت هو ببساطة مليون إلكترون فولت. التحويل بين MeV و joule كالتالي:

$$1\ MeV = 1.6 \times 10^{-13}\ J$$

هناك علاقة مثيرة للاهتمام بين عمر النجوم في التسلسل الرئيسي وكتلتها الأولية. يمكننا أن نتوقع أن النجوم الضخمة يكون لديها وقود أكثر لتحترق، لذا فإنها ستعيش لفترة أطول. ولكن كما نرى في HRD، تتمتع هذه النجوم أيضًا بإضاءة أعلى، مما يعني أنها تصدر طاقة أكثر بكثير من نظيراتها ذات الكتلة الأصغر. تُظهر الحسابات أنه في الواقع، تعيش النجوم ذات الكتلة الأدنى لفترة أطول في التسلسل الرئيسي من نظيراتها ذات الكتلة الأعلى. يمكن للنجوم الأكثر ضخامة أن تستهلك معظم الهيدروجين الخاص بها في بضعة ملايين من السنين فقط، بينما يمكن للأقزام الحمراء الأقل ضخامة أن تبقى في التسلسل الرئيسي لعشرات المليارات من السنين.

How do stars form?

Stars are massive, spherical bodies of hot gas and plasma that generate energy through nuclear reactions. This chapter explores the evolution of stars with various initial masses.
Typical spiral galaxies, like the Milky Way, consist of stars, stellar remnants, dark matter, and interstellar matter. Interstellar matter can be categorized based on temperature which determines the state of hydrogen in it. The coldest form of interstellar matter is the molecular cloud, where hydrogen is cold enough to form molecules. Stars usually form in the densest parts of these molecular clouds, where the temperature is a few 10 K. The Orion Nebula is one of the nearest such

star-forming regions. Star formation is often triggered by external events, such as collisions of molecular clouds, shockwaves from supernova explosions, or tidal forces from galaxy collisions.

Orion nebula

Molecular clouds create denser cores that contract when gravity overcomes gas pressure. The clouds may break into smaller parts, collapsing to form stars, leading to the formation of associations and open clusters. When the centre of the cloud heats up enough so that its pressure stops further gravitational contraction, it reaches hydrostatic equilibrium. The

resulting object is called a protostar. As the cloud contracts, its rotation accelerates, causing it to flatten and form an accretion disk around the protostar. Material flows onto the protostar from the disk, increasing its pressure and temperature. Deuterium fusion starts when the temperature reaches 1 million K. Deuterium is an isotope of hydrogen. The nucleus of a

hydrogen atom is simply a single proton, while that of the deuterium consists of one proton and one neutron. Here and in the following we will denote the different atomic nuclei with their abbreviation (for example, H for hydrogen) and their mass number (total number of protons and neutrons in the nucleus) in the upper index and their atomic number (total number of protons in the nucleus) in lower index. So for example, what does a ${}_{1}^{2}\mathrm{H}$ atomic nucleus mean? The letter H shows that it is a hydrogen nucleus. The 1 in the lower index shows that it has one proton, and the 2 in the upper index shows that the number of its
protons + the number of its neutrons is 2. This means that such a nucleus has one proton and one neutron. Hence, this is the sign we can use to denote the deuterium nucleus. Having learned this notation, the fusion of deuterium with hydrogen results in helium:

$$ {}_{1}^{2}\mathrm{H} + {}_{1}^{1}\mathrm{H} \rightarrow {}_{2}^{3}\mathrm{He} $$

This process generates energy, which will start to heat the protostar.

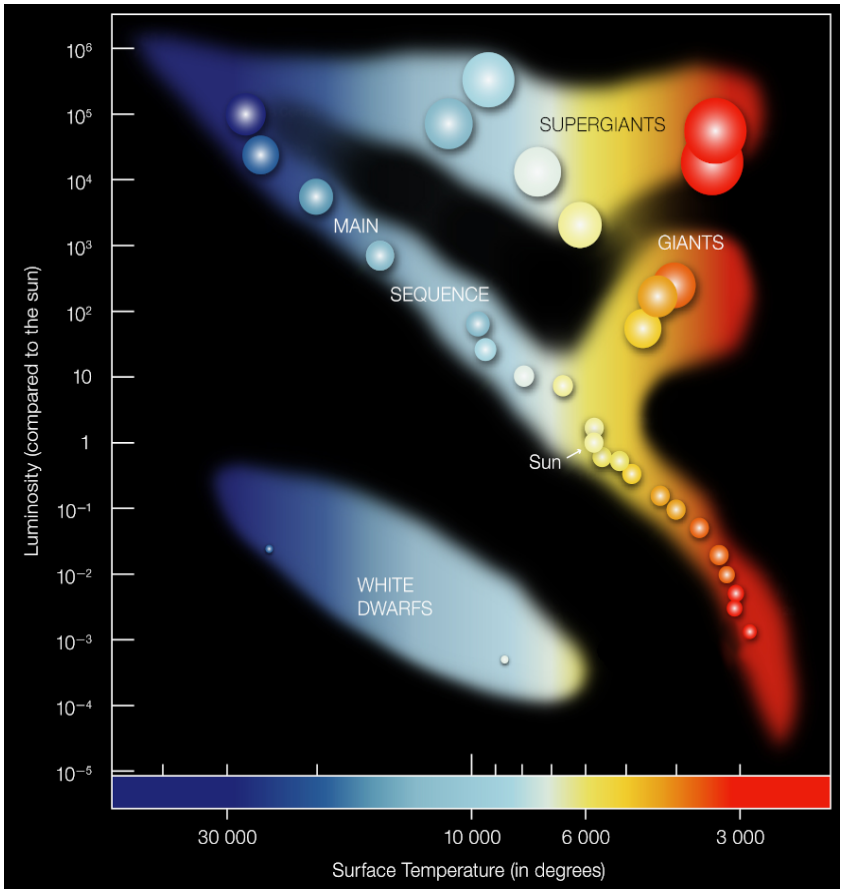
Once most of the surrounding dust and gas is blown away, the protostar becomes visible in the optical range and is termed a pre-main-sequence star. It continues to contract until the temperature inside reaches 10 million K, initiating hydrogen fusion, and transforming it into a main-sequence star.

Protostars with masses less than about 0.08 solar mass (which is roughly 80 Jupiter mass. 1 solar mass is the mass of our Sun, approximately 2×10^{30} kg) do not heat efficiently enough to trigger hydrogen fusion. However, deuterium fusion can begin in celestial bodies with masses as low as 13 Jupiter mass. The objects in this mass range are called brown dwarfs, forming a separate class between planets and stars. Brown dwarfs would appear reddish or greyish, emitting mainly in the infrared spectrum.

The Hertzsprung-Russell diagram

The Hertzsprung-Russell diagram (HRD) is the most important diagram in astronomy. It plots the luminosity (their intrinsic brightness, which we could measure if we were close by) of stars as a function of their temperature. Strikingly, stars do not uniformly fill this plot, which means that there is some sort of relationship between the temperature and the brightness of the stars. Stars on the

diagram form well-defined groups, representing different stages in the life of the stars.



As you can see on the HRD, the colour of the stars is connected to their temperature. We will learn more about this later, but for now, it is important, that the coldest stars are red, and as the temperature increases we see orange, yellow, white and blue stars. This also means that stars can only have a couple of different colours. For example, they cannot be green or pink. Be careful and notice, that the horizontal axis of the HRD is different than how we usually use that axis: higher temperatures lie on the left side, not to the right.

The diagonal band from the bright and hot stars to the faint and cool ones is called the main sequence. The stars start their life here and they also spend most of their lifetime here. Where they begin is solely dependent on their mass: stars with higher initial mass are hotter and bluer than stars with a lower initial mass.

During their stable main-sequence life, stars don't move much on the HRD, so for example, the Sun will spend a couple more billions of years where it is currently shown in the figure. Main sequence stars generate energy with hydrogen fusion:

$$_1^1\mathrm{H} + {}_1^1\mathrm{H} \rightarrow {}_1^2\mathrm{H}$$

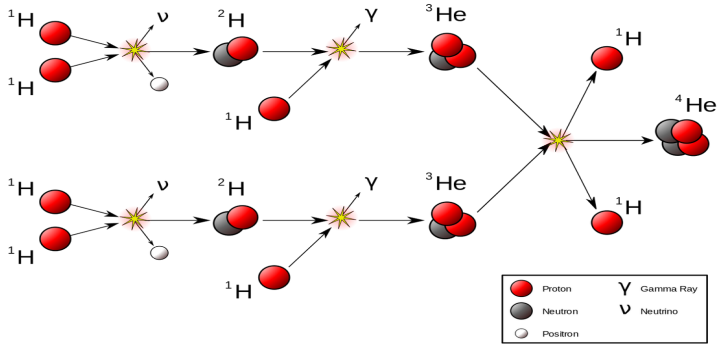
So from two hydrogen nuclei (each of which is just a single proton) we get a deuterium nucleus. In the process, one proton should transform into a neutron, which results in the emission of two other particles (a positron and a neutrino), but we will learn more about that later. In the next step, a deuterium fuses with a proton, in the same reaction that we saw at brown dwarfs:

$$_1^2\mathrm{H} + {}_1^1\mathrm{H} \rightarrow {}_2^3\mathrm{He}$$

Finally, two helium nuclei fuse into the most stable isotope of helium, while releasing two protons:

$$_2^3\mathrm{He} + {}_2^3\mathrm{He} \rightarrow {}_2^4\mathrm{He} + 2\mathrm{p}$$

So to get the two $_2^3\mathrm{He}$ nuclei we needed a total of 6 protons, but in the end, we get back two of them. Hence the net result is that 4 protons (hydrogen nuclei) are converted into a helium nucleus. You can study these reactions in-depth in the following figure. Note that sometimes people use the term "hydrogen burning" for this process, which is not correct in the sense, that it is not chemical burning. It is the nuclear fusion of atomic nuclei, which is a much more energetic process. However, some people like to use "burning" for nuclear reactions as well.



The hydrogen fusion reactions, called proton-proton chain generate energy in the cores of main-sequence stars

The reactions described above form the so-called proton-proton chain, which is the main energy-generating process inside smaller mass main-sequence stars. One of these processes generates 26.73 MeV energy. MeV is a megaelectronvolt, a unit of energy often used in nuclear physics. One eV

(electronvolt) is the amount of energy an electron gets in an electric field with a voltage of 1 V, and 1 MeV is simply 1 million eV. The conversion between MeV and joule is as follows:

$1\ \text{MeV} = 1.6 \times 10^{-13}\ \text{J}$

There is an interesting relationship between the lifetime of stars on the main sequence and their initial mass. We could think that as more massive stars have more fuel to burn, they will live longer. But as we see on the HRD, these stars also have a higher luminosity, which means that they emit much more energy than their smaller mass counterparts. The calculations show that in fact, lower-mass stars live much longer on the main sequence than their higher-mass peers. The most massive stars can use up most of their hydrogen in just a few million years, while the least massive red dwarfs can stay in the main sequence for tens of billions of years.

العمالقة الحمراء

عندما يندمج الهيدروجين ويتحول إلى الهيليوم في باطن النجوم، تبدأ كمية الهيدروجين المتاحة في الانخفاض ويبدأ قلب الهيليوم في التكون في مركز النجم. لا يقوم قلب الهيليوم بتفاعلات نووية، حيث أن درجة حرارة النجم في هذه المرحلة ليست عالية بما يكفي لذلك. لذلك في مرحلة ما، لدينا نواة خاملة من الهيليوم، محاطة بقشرة من الهيدروجين، والتي تولد الطاقة من خلال الاندماج. درجة الحرارة في هذه القشرة الآن أعلى مما كانت عليه من قبل، مما يجعل التفاعلات النووية أسرع، وبالتالي يزداد إنتاج الطاقة. يجب على النجم تعويض هذا عن طريق التوسع. يبدأ النجم في التوسع ببطء، مما يزيد من لمعان النجم (يتحرك للأعلى في HRD) ويقلل درجة حرارة الطبقات الخارجية للنجم (يتحرك إلى اليمين على HRD). عندما يصل النجم إلى التوازن مرة أخرى، فهو عملاق أحمر. هذا هو السبب في أنه يمكنك رؤية العمالقة الحمراء في الجزء العلوي الأيمن من التسلسل الرئيسي في HRD.

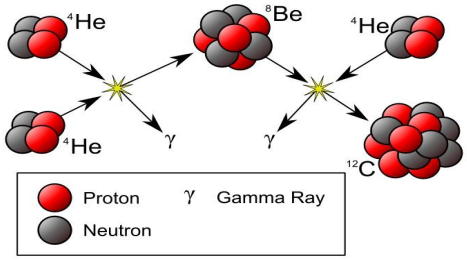
بعد مرور بعض الوقت، يصل قلب النجم إلى درجة حرارة كافية بحيث يمكن أن يبدأ حدوث اندماج الهيليوم. ماذا سيحدث إذا قمت بدمج نواتين من الهيليوم؟

$$^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He \rightarrow {}^{8}_{4}Be$$

ومع ذلك، فإن نواة البريليوم التي نحصل عليها غير مستقرة للغاية وتتحلل مرة أخرى إلى نواتين من الهيليوم في حوالي 10^{-16} ثانية. عند درجات الحرارة العالية (100 مليون كلفن)، هناك فرصة لأن تنضم نواة الهليوم الثالثة:

$$^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C$$

وعندها نحصل على نواة الكربون المستقرة. تسمى هذه العملية بعملية ألفا الثلاثية، تاريخيا الاسم الآخر لنواة الهليوم هو جسيم ألفا. وعليه فإن اندماج ثلاث نوى هيليوم معاً ينتج منه نواة الكربون.



تعتمد حياة النجوم بعد مرحلة العملاق الأحمر على كتلتها الأولية.

Red giants

As stars fuse hydrogen into helium in their core, the amount of hydrogen available starts to decrease and a helium core starts to form in the centre of the star. This helium core does not do nuclear reactions, as the temperature of the star at this point is not high enough for that. So at some point, we have an inert helium core, which is surrounded by a shell of hydrogen, which generates energy through fusion. The temperature in this shell is higher now than it was before, which makes the nuclear reactions go faster, hence the energy production increases. The star must compensate for this by expansion. The star slowly starts to expand, increasing the luminosity of the star (moving up the HRD) and decreasing the temperature of the outermost layers of the star (moving to the right on the HRD). When the star reaches equilibrium again, it is a red giant. That's why you can see the red giants to the upper right from the main sequence on the HRD.

Some time later the core of the star reaches a hot enough temperature that helium fusion can start to occur. What would happen if you fuse two helium nuclei?

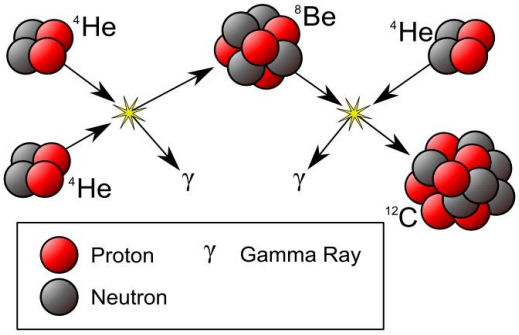
$$^4_2He + ^4_2He \rightarrow ^8_4Be$$

However, the beryllium nucleus we would get is very unstable and decays back to two helium nuclei in around 10^{-16} s. In high enough temperatures (100 million K), there is a chance though for a third helium nucleus to join in:

$$^4_2He + ^4_2He + ^4_2He \rightarrow ^{12}_6C$$

And the resulting carbon nucleus is stable. This process is called the triple-alpha process, as the other name of the helium nucleus is the alpha particle,

for historical reasons. So in total, three helium nuclei fuse together to form a carbon nucleus.



The life of stars after the red giant phase depends on their initial masses.

الأقزام البيضاء

دعونا نوجه انتباهنا الآن إلى النجوم ذات الكتل الأولية التي تقل عن 8 كتلة شمسية. نظرًا لأن عملية الألفا الثلاثية تولد المزيد والمزيد من الكربون في باطن النجم، وتنتج بعض العمليات النووية الأخرى الأكسجين، فإن هذين العنصرين يزدادان وفرة في باطن النجم، وسيحدث اندماج الهيليوم في غلاف يحيط بنواة الكربون والأكسجين. هذا مشابه جدًا للأشياء التي رأيناها تحدث في نهاية التسلسل الرئيسي لحياة النجوم. يبدأ باطن النجم في الانكماش، ولكن بالنسبة لهذه النجوم ذات الكتلة الأصغر، لن تسخن بما يكفي لبدء توليد الطاقة من خلال اندماج الكربون أو الأكسجين.

يبدأ النجم العملاق في فقدان المادة بسرعة كبيرة. نظراً لأنه يبدأ في فقد طبقاته الخارجية، والتي تكون أكثر برودة واحمراراً، فإنه سيتحرك نحو الجزء الأزرق من HRD. تستمر هذه العملية حتى النقطة التي يتبقى فيها قشرة رقيقة جداً من الهيليوم والهيدروجين حول قلب الكربون والأكسجين. لم يعد النجم ينتج الطاقة، لذلك ينخفض لمعانه أيضاً (يتحرك للأسفل على HRD). تسمى هذه البقايا النجمية بالأقزام البيضاء. فهي صغيرة وكثيفة ولها مجال مغناطيسي عالٍ. نظراً لتوقف انتاج الطاقة، فإن هذه النجوم تبدأ في فقدان الطاقة من إشعاعاتها. ومع ذلك، فإن هذه العملية بطيئة للغاية، فهي تستغرق وقتاً أطول حتى تبرد بهذه الطريقة مقارنة بعمر الكون الحالي. إذا حدث البرود بدرجة كافية، فإننا نسميهم الأقزام السوداء.

حول القزم الأبيض المتكون، يمكننا أن نلاحظ الطبقات الخارجية المقذوفة للنجم، والتي تسمى السديم الكوكبي. بالمقارنة مع حياة النجم، يمكن رؤية السديم الكوكبي لفترة قصيرة جدًا، فقط بضع عشرات الآلاف من السنين، وبعد ذلك يتبدد في الوسط بين النجمي.

White dwarfs

Let us turn our attention now to stars with initial masses lower than 8 solar masses. As the triple-alpha process generates more and more carbon in the core, and some other nuclear processes create oxygen, these two elements get more and more abundant in the core, and helium fusion will occur in a shell surrounding this carbon-oxygen core. This is very similar to the things that we saw occurring at the end of the main-sequence life of stars. The core of the star starts to contract, but for these smaller mass stars, it will never get hot enough to start generating energy with the fusion of carbon or oxygen.

The giant star starts to lose matter very rapidly. Because it starts to lose its outermost layers, which are colder and redder, it will move toward the blue part of the HRD. This process continues up until the point where there is just a very thin shell of helium and hydrogen left around the carbon-oxygen core. The star is no longer producing energy, so its brightness also decreases (moves down on the HRD). These stellar remnants are called white dwarfs. They are small, dense, and have a high magnetic field. As they no longer produce energy they start to lose energy from their radiation. However, this process is very slow, it takes more time for them to cool down this way than the current age of the Universe. If they cooled down sufficiently, we would call them black dwarfs.

Around the forming white dwarf, we can observe the ejected outer layers of the star, called a planetary nebula. Compared to the life of a star, the planetary nebula is visible for a very short time, only a few tens of thousands of years, after which it dissipates into the interstellar medium.

المستعرات العظمية والنجوم النيوترونية والثقوب السوداء

في النجوم ذات الكتل الأعلى، يمكن أن تحدث تفاعلات نووية أكثر. أولاً، اندماج الكربون، ثم النيون، والأكسجين، وأخيراً اندماج السيليكون. تقودنا الخطوة الأخيرة إلى إنتاج الحديد، الذي لم يعد قادرًا على توليد الطاقة عن طريق الاندماج النووي، نظراً لأنه النواة الأكثر ملاءمة من حيث الطاقة، سنحتاج إلى استثمار الطاقة لدمجها في أي شيء أثقل. تحدث هذه العمليات النووية في درجات حرارة أعلى، وهي تزداد سرعة. في النهاية، يكون لدينا نجم عملاق له قلب حديدي، محاط بطبقات من السيليكون والأكسجين والنيون والكربون والهيليوم والهيدروجين. عندما يبدأ النجم في الانكماش، يكون الضغط على باطن النجم ودرجة الحرارة هائلين للغاية، بحيث تبدأ البروتونات في التقاط الإلكترونات وتحويلها إلى نيوترونات. سيحتوي باطن النجم تقريباً على نيوترونات فقط، وهذه المادة شديدة الكثافة والصلابة توقف الانكماش من خلال الارتداد من نفسها. يبدأ هذا في إرسال موجة صدمية إلى الخارج، مما يؤدي إلى تشتيت الطبقات الخارجية للنجم في انفجار ضخم يسمى السوبرنوفا أو المستعرات العظيمة.

إن انفجار المستعر العظيم يترك للنجم فقط نواة صغيرة وكثيفة للغاية وذات مغناطيسية عالية، والتي نسميها بالنجم النيوتروني. يبلغ نصف قطره النموذجي حوالي 10 كم، لكن كتلته حوالي 1-2 كتلة شمسية، مما يعني كثافة مشابهة جدًا لكثافة النواة الذرية (حوالي 10^{17} kg/m^3)، وسرعة دوران عالية جدًا، بعضها يدور حوالي مليون مرة كل ثانية.

إذا كان النجم أكثر ضخامة، فلن تستطيع حتى المادة النيوترونية إيقاف الانكماش. تصبح مادة النجم أكثر كثافة حيث لم يعد هناك شيء آخر يوقف قوة الجاذبية حتى تتحول إلى ثقب أسود.

الثقب الأسود هو جسم له قوة جاذبية قوية بحيث لا يمكن لأي شيء أن يتركه، مما يعني أن سرعة الهروب على "سطحه" هي سرعة الضوء. من هذا التعريف، يمكننا حساب نصف قطر الثقب الأسود. تسمى هذه القيمة نصف قطر شفارتزشيلد.

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = c \quad \rightarrow \quad R = \frac{2GM}{c^2}$$

تعطي الصيغة أعلاه نصف قطر ثقب أسود كتلته M. من المهم ملاحظة أن هذه ليست حافة جسم مادي حقيقي، فهذا يعني ببساطة أنه إذا دخل شيء ما داخل هذه الحدود، فلن يتمكن أبدًا من الخروج. لذلك إذا وقعت في ثقب أسود، فلن تواجه أي شيء مميز عندما تجتاز نصف قطر شوارزشيلد.

يمكن أن تتكون الثقوب السوداء من أي شيء إذا ضغطت عليها لجعلها أصغر من نصف قطر شوارزشيلد. على سبيل المثال، بالنسبة لسيارة تزن 2000 كجم، إذا تمكن شخص ما من الضغط عليها إلى حجم أصغر من $3 \times 10^{-24}\ m$ ، فإنها ستتحول إلى ثقب أسود. بطبيعة الحال، العملية الوحيدة التي نعرفها في الكون والتي لديها مثل هذه القوة الهائلة لتكون قادرة على ضغط الأشياء كثيرًا هي الانهيار أو الانكماش النجمي، لذلك لا داعي للخوف من أن تتحول سيارتنا فجأة إلى ثقب أسود.

Supernovae, neutron stars and black holes

In stars with higher masses, more nuclear reactions can take place. First, carbon fusion, then neon, oxygen and finally silicon fusion. The last step leads us to iron, which can no longer generate energy by nuclear fusion, as it is the most energetically favourable nucleus, we would need to invest energy to fuse it into anything heavier. These nuclear processes occur at higher and higher temperatures, and they are getting faster and faster. In the end, we have a giant star which has an iron core, surrounded by layers of silicon, oxygen, neon, carbon, helium and hydrogen. When the star starts to collapse, the pressure on the core and the temperature are so immense, that the protons start capturing electrons turning themselves into neutrons. The core will almost only contain neutrons, and this very dense and hard material stops the collapse by bouncing back from itself. This starts to send a shockwave outward, which scatters the outer layers of the star in a huge explosion, called a supernova.

The supernova explosion only leaves the tiny, immensely dense and hugely magnetized core of the star, which we call a neutron star. Their typical radius is about 10 km, but their mass is around 1-2 solar mass, which means a density very similar to that of the atomic nucleus (around 10^{17} kg/m^3). They also have a

very fast rotational speed, some of them turn around a million times every second.

If the star is even more massive, then even the neutron material cannot stop the collapse. The material of the star gets denser and denser as there is nothing else anymore to stop the gravitational force until it turns into a black hole.

A black hole is an object that has such a strong gravitational pull that nothing can leave it, meaning that the escape velocity on its "surface" is the speed of light. From this definition, we can calculate the radius of the black hole. This quantity is called the Schwarzschild radius.

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = c \quad \rightarrow \quad R = \frac{2GM}{c^2}$$

The above formula gives the radius of a black hole with a mass M. It is important to note that this is not the edge of an actual physical object, it simply means that if something gets inside this boundary, it can never get out. So if you fell into a black hole, you would not experience anything special when you crossed the Schwarzschild radius.
Black holes can be formed from anything if you squeeze them to make them smaller than the Schwarzschild radius. For example, for a car weighing 2000 kg, if somebody was able to squeeze it into a size smaller than 3×10^{-24} m, it would turn into a black hole. Naturally, the only process we know in the Universe that has such a huge force to be able to squeeze things

so much is stellar collapse, so we don't have to be afraid that our car will suddenly turn into a black hole.

تاريخ أبحاث الفضاء

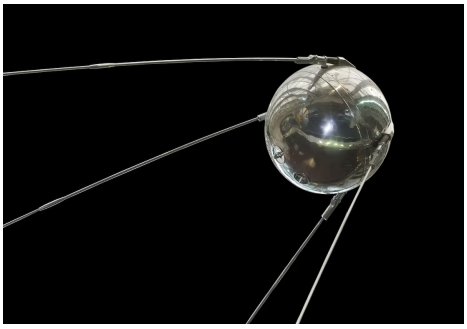
History of space research

البدايات

مع بداية القرن العشرين أصبح السفر بين الكواكب محوراً للتفكير العلمي، ويرجع ذلك في الغالب إلى جهود المهندس الروسي كونستانتين تسيولكوفسكي والمهندس الأمريكي روبرت هاتشينجز جودارد. تم توسيع نطاق عملهم من قبل هيرمان أوبيرث، وهو عالم ومهندس ألماني من أصل نمساوي مجري، وتلميذه فيرنر فون براون، الذي كان اساسياً في بناء أول صاروخ فضائي، V-2. صُممت صواريخ V-2 في المقام الأول كأسلحة حرب، لكن المعرفة التي تم جمعها أثناء بنائها ساعدت لاحقاً في تطوير السفر إلى الفضاء.

الغلاف الجوي للأرض ليس له حدود محددة؛ تنخفض كثافتها أضعافاً مضاعفة كلما ارتفعنا، لكننا ما زلنا نرغب في تحديد ما يمكن اعتباره طائرة وما الذي يعتبر مركبة فضائية. كان ثيودور فون كارمان، مهندس وعالم مجري، أول من حدد هذه الحدود، التي نعتقد اليوم أنها الحد القانوني للفضاء. فكر في طائرة تحلق للأعلى للعثور على الحدود أو بما أطلق عليه خط كارمان. قد تظل الطائرة في الهواء بسبب الطفو المرتبط بكثافة الهواء ومربع سرعة الطائرة. هذا يعني أنه عندما ترتفع الطائرة، يجب أن تحلق بشكل أسرع للحفاظ على نفس القدر من الارتفاع. وستقترب هذه السرعة في النهاية من السرعة الكونية الأولى، مما يعني أن طائرتنا لم تعد بحاجة إلى رفع وستصبح، بحكم التعريف، مركبة فضائية. وفقاً لحسابات كارمان، يقع هذا الحد على بعد 91 كم تقريباً، ومع ذلك، فإن هذا يعتمد على الخصائص الخاصة للطائرة، ومن ثم يتم تعريف خط كارمان على أنه 100 كيلومتر. نظراً لأن صاروخ اختبار V-2 وصل إلى ارتفاع 189 كم في عام 1944، فقد اجتاز خط كارمان ودخل الفضاء الخارجي.

بعد الحرب العالمية الثانية، حصل البريطانيون والأمريكيون على مفاهيم الصواريخ العسكرية للمهندسين الألمان وبدأوا تطويرهم. بدأ سباق الفضاء بين القوتين الأمريكية والسوفييته في عام 1957 عندما كشفت الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي عن رغبتهما في إطلاق أقمار صناعية، أي وضع جسم في مدار حول الأرض. في 4 أكتوبر 1957، أطلق الاتحاد السوفيتي بنجاح أول قمر صناعي له، سبوتنيك1 (Sputnik 1). كان سبوتنيك عبارة عن كرة قطرها 58 سم مع أربع هوائيات لاسلكية يمكنها استقبال الاتصالات لمدة ثلاثة أسابيع.



سبوتنيك 1، أول قمر صناعي

تبع أول سبوتنيك عددًا كبيراً من الأقمار الصناعية، بما في ذلك سبوتنيك 2، التي نقلت أول حيوان حي إلى الفضاء، الكلب لايكا. بعد فترة وجيزة، في فبراير 1958، أطلقت الولايات المتحدة بنجاح القمر الصناعي اكسبلورر1 (Explorer 1).

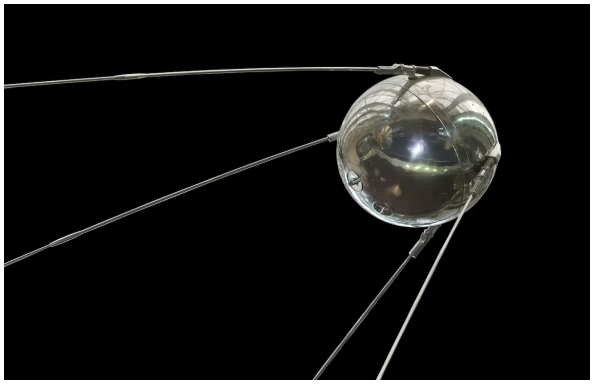
The beginnings

The prospect of interplanetary travel became a focus of scientific thinking at the beginning of the twentieth century, owing mostly to the efforts of Russian engineer Konstantin Tsiolkovsky and American engineer Robert Hutchings Goddard. Their work was expanded upon by Hermann Oberth, an Austro-Hungarian-born German scientist and engineer, and his pupil Wernher von Braun, who was essential in the creation of the first space rocket, the V-2. V-2 rockets were designed primarily as weapons of war, but the knowledge gathered during their creation subsequently aided in the development of space travel.

The Earth's atmosphere has no definite limit; its density drops exponentially as we travel higher and higher, yet we still want to define what qualifies as an aircraft and what counts as a spacecraft. Theodore von Kármán, a Hungarian engineer and scientist, was the first to define this border, which we today believe to be the legal limit of space. Consider an aircraft soaring higher and higher to find the boundary or Kármán line. The plane may remain in the air because of buoyancy, which is related to the density of the air and the square of the plane's speed. This implies that when the plane goes higher, it must travel quicker to maintain the same amount of lift. And this speed will ultimately approach the first cosmic velocity, which means that our aircraft will no longer require a lift and will become, by definition, a spaceship. According to Kármán's calculations, this limit lies at roughly 91 km, however, this depends on the particular characteristics of the aircraft, hence the Kármán line is defined as 100 km. Because a V-2 test rocket

reached a height of 189 km in 1944, it passed the Kármán line and so entered outer space.

Following WWII, the British and Americans obtained the concepts of German engineers' military rockets and began their own development. The space race between the two powers began in 1957 when the United States and the Soviet Union revealed their desire to launch satellites, i.e. to place a body in orbit around the Earth. On October 4, 1957, the Soviet Union successfully launched its first satellite, Sputnik 1. Sputnik was a 58-centimetre-diameter sphere with four radio antennas that could receive communications for three weeks.



Sputnik 1, the first satellite

The first Sputnik was followed by numerous more, including Sputnik 2, which transported the first living animal into space, the dog Laika. Soon later, in February 1958, the United States successfully launched Explorer 1, a satellite.

رحلات الفضاء البشرية

كانت رحلات الفضاء البشرية هي الخطوة المهمة التالية. علموا السوفييت أن الأمريكيين يمكن أن ينجزوا رحلات فضائية بشرية شبه مدارية بحلول عام 1961. وهذا يعني أن سرعة الصاروخ أقل من السرعة الكونية الأولى اللازمة للوصول إلى المدار، ومع ذلك فهو يتجاوز خط كارمان لأنه في مدار غريب الأطوار للغاية. قبل رحلة الفضاء شبه المدارية الأمريكية، بدأ رئيس برنامج الفضاء السوفيتي، سيرجي كورولیوف، برنامج فوستوك، الذي كان يهدف إلى تحقيق رحلة فضائية مدارية بشرية حقيقية، أي إرسال رائد فضاء إلى المدار وإعادته بنجاح إلى الأرض. كان البرنامج ناجحاً، وفي 12 أبريل 1961، تم إطلاق المركبة الفضائية فوستوك 1، وعلى متنها أول رائد فضاء في العالم، يوري غاغارين. في الواقع، في 5 مايو، أكمل برنامج American Mercury رحلة فضائية شبه مدارية ناجحة، مما جعل آلان شيبارد Alan Shepard أول رائد فضاء أمريكي.

استمر برنامج فوستوك بإجمالي ست بعثات بشرية. كانت فالنتينا تيريشكوفا، أول رائدة فضاء، على متن فوستوك 6.

يوري جاجارين، أول رجل في الفضاء

واصل السوفييت تطوير برنامج فوسخود Voskhod، حيث تم تحويل مركبات فوستوك الفضائية إلى سفن تحمل شخصين. تم تنفيذ مهمتين مأهولتين في البرنامج، مع أول سير في الفضاء قام به أليكسي ليونوف خلال مهمة فوسخود 2 عام 1965. وفي الوقت نفسه، حقق برنامج الجوزاء الأمريكي Gemini أيضاً نجاحاً كبيراً، على سبيل المثال من خلال ربط مركبتين فضائيتين معاً للمرة الأولى.

رجال على القمر

ركزت القوتان السوفييتية والأمريكية جهودهما على القمر، حيث أنتج برنامج الفضاء السوفيتي سويوز، الذي بدأ في عام 1967، صاروخاً ومركبة فضائية جديدة، والبرنامج مستمر حتى يومنا هذا، ولكن بأهداف متغيرة. ومع ذلك، فاز الأمريكيون، وليس السوفييت، بهذه المرحلة من سباق الفضاء مع برنامج أبولو. في مايو 1961، أعلن الرئيس الأمريكي جون ف. كينيدي أنه سيتم إرسال رجل إلى القمر والعودة بنجاح خلال العقد. لسوء الحظ، بدأ البرنامج بداية مأساوية، حيث مات طاقم أبولو 1 أثناء اختبار على الأرض في عام 1967. ومع ذلك، تبع ذلك سلسلة من الرحلات الجوية الناجحة، وبلغت ذروتها في أبولو 11، في 20 يوليو 1969، وفي هذه الرحلة التاريخية أصبحا نيل أرمسترونج، و باز ألدرين، الرجال الأوائل الذين تطأ أقدامهم سطح القمر في Mare Tranquillitatis، أو Sea of Tranquility. أمضى رواد

الفضاء ساعتين ونصف الساعة خارج مركبتهم الفضائية في جمع العينات لإعادتها إلى الأرض. لم يتوقف برنامج أبولو بعد هذا الانتصار الكبير، بعد أربعة أشهر، هبط رواد فضاء أبولو 12 بنجاح على القمر وأخذوا صوراً ملونة. انفجر خزان الأكسجين أبولو 13 في رحلته إلى القمر، لكن الرجال الثلاثة نجوا وعادوا إلى الأرض. شهد مشروع أبولو أربع عمليات هبوط ناجحة على سطح القمر، حيث حمل رواد الفضاء مركبة فضائية على القمر في الثلاثة الأخيرة لتغطية مساحة أكبر من سطح القمر. حدث آخر هبوط على سطح القمر في ديسمبر 1972، عندما هبط 12 رائد فضاء أمريكي على سطح القمر.

نيل أرمسترونج، أول رجل على سطح القمر

Human spaceflight

Human spaceflight was the next significant step. The Soviets were informed that the Americans could accomplish human suborbital spaceflights by 1961. It means that the rocket's speed is less than the first cosmic velocity necessary to achieve orbit, yet it crosses the Kármán line since it is in a very eccentric orbit. Before the American suborbital spaceflight, the Soviet space programme's chief, Sergei Korolyov, initiated the Vostok programme, which was meant to achieve a true human orbital space flight, i.e. to send a cosmonaut into orbit and successfully return him to Earth. The programme was a success, and on April 12, 1961, the Vostok 1 spacecraft was launched, carrying the world's first cosmonaut, Yuri Gagarin. Indeed, on May 5, the American Mercury programme completed a successful suborbital spaceflight, making Alan Shepard the first American

astronaut. The Vostok programme continued, with a total of six human missions. Valentina Tereshkova, the first female cosmonaut, was aboard Vostok 6.

Yuri Gagarin, the first man in space

The Soviets continued the development with the Voskhod programme, in which Vostok spacecrafts were converted into two-man vessels. Two manned missions were carried out in the programme, with the first spacewalk being carried out by Alexei Leonov during the 1965 Voskhod 2 mission. Meanwhile, the American Gemini programme had also achieved great success, for example by linking two spacecraft together for the first time.

Men on the Moon

The two powers then focused their efforts on the Moon. The Soviet Soyuz space programme, which began in 1967, produced a new rocket and spacecraft, and the programme continues to this day, but with altered goals. However, the Americans, not the Soviets, won this leg of the space race with the Apollo programme. In May 1961, US President John F. Kennedy announced that a man will be sent to the Moon and successfully return within the decade. Unfortunately, the programme got off to a tragic start, with the Apollo 1 crew dying during a test on Earth in 1967. However, a succession of triumphant flights followed, culminating in Apollo 11: on July 20, 1969, Neil Armstrong and Buzz Aldrin became the first men to set foot on the Moon's surface at Mare Tranquillitatis, or Sea of Tranquility. The astronauts spent two and a half hours outside their spacecraft collecting samples for return to Earth. Even after such a major triumph, the Apollo programme has not come to an end. Four months later, Apollo 12 astronauts successfully landed on the Moon and recorded colour photographs. The Apollo 13 oxygen tank burst on its journey

to the Moon, but the three men survived and returned to Earth. The Apollo project saw four more successful moon landings, with the astronauts carrying a lunar rover on the latter three to cover a bigger area of the lunar surface. The most recent lunar landing occurred in December 1972, when 12 US astronauts landed on the Moon.

Neil Armstrong, the first man on the Moon

المحطات الفضائية والحاضر

يعد بناء محطة فضائية خطوة مهمة في مهمة استكشاف الفضاء. المحطات الفضائية عبارة عن هياكل تدور حول الأرض ويمكن أن تؤوي سفن الفضاء وطاقمها لفترات طويلة من الزمن. كما أنها مفيدة للغاية من الناحية العلمية، لأنه يمكن استخدام محطة فضائية لفترات طويلة من الوقت للبحث في آثار الجاذبية الصفرى (انعدام الوزن) أو الإشعاع الكوني على جسم الإنسان أو المواد الأخرى. نظراً لأن المحطات الفضائية الأولى كانت مكونة من وحدة واحدة، فقد تم إطلاقها في المدار كقطعة واحدة. دارت محطة الفضاء السوفيتية ساليوت 1 حول الأرض في مدار أرضي منخفض لمدة 175 يوماً بدءاً من أبريل 1971، وزارتها مركبتان فضائيتان خلال تلك الفترة. بعد ذلك، أطلق السوفييت محطات ساليوت فضائية أخرى، بعضها كان عسكريًا والبعض الآخر مدنياً. كانت سكايلاب أول محطة فضاء أمريكية، حيث أجرى رواد الفضاء الأمريكيون مئات التجارب العلمية في الفترة 1973-1974. كانت محطة الفضاء السوفيتية مير، التي عملت من 1986 إلى 2001، أول محطة فضاء متعددة الوحدات وأكبر بكثير من سابقتها. أمضى فاليري بولياكوف 437 يومًا على متن مير، التي لا تزال تحافظ على الرقم القياسي لأطول رحلة فضائية. لم تكن محطة مير الفضائية الروسية مقصورة على رواد الفضاء السوفييت، بل زارها أيضاً رواد فضاء من العديد من البلدان الأخرى، بما في ذلك رواد الفضاء الأمريكيون بعد انتهاء الحرب الباردة.

برامج الفضاء الكبرى تحتاج بشكل متزايد إلى تعاون عالمي. تم تطوير محطة الفضاء الدولية (ISS)، التي تدور حول الأرض كل 92 دقيقة على ارتفاع 400 كيلومتر فوق

سطح الأرض، بالتعاون مع وكالات الفضاء من الولايات المتحدة وروسيا واليابان وأوروبا وكندا. تم إطلاق الوحدة الأولى من محطة الفضاء الدولية (ISS) في عام 1998. منذ عام 2000 وحتى وقتنا الحاضر تستمر إقامة رواد الفضاء بشكل متناوب في المحطة الدولية. صُممت محطة الفضاء الدولية بشكل أساسي لإجراء الابحاث العلمية، ولكنها قد تعمل أيضاً كمنصة انطلاق للرحلات المستقبلية إلى القمر أو المريخ.

منذ أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، لم يكن السفر للفضاء مقصورا على رواد الفضاء المحترفون فحسب، بل حتى سائحو الفضاء (الاسم الرسمي هو مشارك في رحلات الفضاء) تمكنوا من السفر إلى الفضاء. كانت الشركات الخاصة (مثل SpaceX و Blue Origin و Northrop Grumman) جهات فاعلة بارزة في السفر إلى الفضاء في السنوات الأخيرة.

Space Stations and the present

The construction of a space station is a significant step in space exploration. Space stations are structures that orbit the Earth and can house spaceships and their crew for extended periods of time. They are also highly helpful scientifically, because a space station may be utilised for extended periods of time to research the effects of microgravity (weightlessness) or cosmic radiation on the human body or other materials. Because the first space stations were made up of a single module, they were launched into orbit in one piece. The Soviet Salyut 1 space station orbited the Earth in low Earth orbit for 175 days beginning in April 1971, and was visited by two spacecraft during that period. Following that, the Soviets launched other Salyut space stations, some of which were military and others civilian. Skylab was the first American space station, where hundreds of scientific experiments were conducted by American astronauts in 1973-1974. The Soviet Mir space station, which functioned from 1986 to 2001, was the first multi-module space station that was far larger than previous ones. Valeri Polyakov spent 437 days aboard Mir, which still maintains the record for the longest space voyage. The Mir space station was visited not just by

Soviet astronauts, but also by astronauts from many other countries, including American astronauts after the Cold War ended.
The largest space programmes increasingly need worldwide collaboration. The International Space Station (ISS), which circles the Earth every 92 minutes at a height of 400 km above the surface, was developed in collaboration by space agencies from the United States, Russia, Japan, Europe, and Canada. The first module of the International Space Station (ISS) was launched in 1998, and the first astronauts took possession of the station in 2000, which has been continually occupied by astronauts since then. The ISS is primarily designed to conduct scientific research, but it might also function as a launch pad for future journeys to the Moon or Mars.

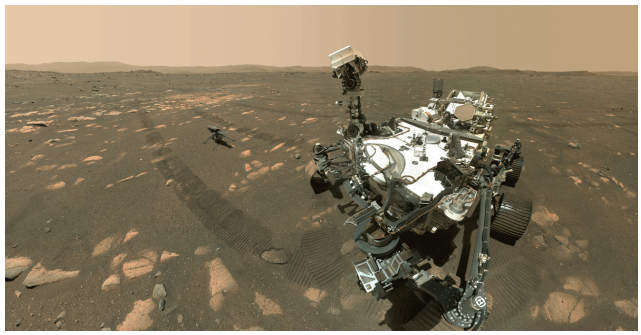
Since the early 2000s, not only professional astronauts but even space tourists (the official name is spaceflight participant) have been able to travel into space. Private corporations (such as SpaceX, Blue Origin, and Northrop Grumman) have been more prominent actors in space travel in recent years.

استكشاف الكواكب

يصعب دراسة كوكب عطارد باستخدام المجسات الفضائية نظرًا لقربه من الشمس، لذلك زارت بعثات قليلة الكوكب. أولها كانت المركبة الفضائية الأمريكية مارينر 10، التي وصلت إلى عطارد في عام 1974 بعد الحصول على صور عن قرب لكوكب الزهرة وإجراء أول عملية مقلاع جاذبية (Gravitational slingshot) حيث تستخدم الحركة النسبية (مثل المدار حول الشمس) وجاذبية كوكب أو جسم فلكي آخر لتغيير المسار. التقطت مارينر 10 مئات الصور للكوكب قبل أن تقوم بعبورين قريبين آخرين، وتم عمل رسوم لحوالي نصف سطح الكوكب قبل أن يفقد الاتصال.

كان برنامج فينيرا (Venera) السوفيتي، الذي أطلق 16 مسباراً فضائياً لفحص كوكب الزهرة بدءاً من عام 1961، حاسماً في تحديد معالمه. كانت أول مركبتين فضائيتين تهدفان فقط إلى الاقتراب من كوكب الزهرة، وبعد اصطدامهما بسطح كوكب الزهرة في عام 1966، أصبحت فينيرا 3 أول جسم من صنع الإنسان يصل إلى سطح كوكب آخر. كانت Venera 7 أول مركبة فضائية تهبط بأمان على كوكب وترسل البيانات إلى الأرض، وقد التقطت Venera 9 صوراً بالفعل.

كوكب المريخ هو أفضل كوكب تمت دراسته. لقد قامت العديد من البعثات الفضائية بفحص الكوكب منذ الستينيات، وهبطت العديد من مركبات الإنزال والمركبات الجوالة على سطحه. بدأ برنامج المريخ السوفيتي عام 1960، لكن أول مسبار سوفيتي ناجح للمريخ، المريخ 2 (Mars 2)، تأخر إطلاقه حتى عام 1971، وبالتالي تغلب الأمريكيون على السوفييت. كانت مارينر 4 أول مركبة فضائية تطير بالقرب من المريخ وتصورها. قام السوفييت بأول هبوط على سطح المريخ، بينما تحطمت مركبة الهبوط Mars 2 على سطح الكوكب، تم إطلاق مسبار Mars 3 بعد بضعة أيام، ونجح في نقل الإشارات إلى المسبار لمدة 15 ثانية، بما في ذلك أول صورة لسطح الكوكب. أرسل برنامج Viking التابع لناسا مركبتي هبوط إلى المريخ في سبعينيات القرن الماضي، بهدف أساسي هو البحث عن أدلة على الحياة ودراسة الظروف الجوية للكوكب، فضلاً عن السمات الزلزالية والمغناطيسية. وحققت المركبة المريخ باثفايندر، التي حملت أيضًا مركبة متجولة صغيرة، سوجورنر، الهبوط الناجح التالي في عام 1997. وفي نفس العام أطلقت ناسا مهمة Mars Global Surveyor، والتي درست الكوكب حتى عام 2006.
عام 2001 تم ارسال المركبة Mars Odyssey، وهي مركبة فضائية تابعة لوكالة ناسا، بالإضافة إلى دراسة جيولوجيا المريخ وبيئته، نقلت البيانات من سبيريت Spirit و أوبورتيونيتي Opportunity، اللتين هبطتا بنجاح عام 2004. وكان من المقرر مبدئياً تشغيل المركبتين المتجولتين على المريخ لمدة 90 يوماً، ولكن كلاهما تجاوزا هذا إلى حد كبير، فُقد الاتصال بسبيريت عام 2010، بينما استمرت أوبورتيونيتي للعمل حتى يونيو 2018، بعد أكثر من 14 عامًا من عمرها المتوقع. وصل المسبار المتجول (Perseverance rover) التابع لناسا إلى المريخ عام 2021، جنباً إلى جنب مع المروحية الروبوتية Ingenuity، لتكمل أول رحلة تعمل بالطاقة خارج كوكب الأرض على الإطلاق. تكريماً، يحمل Ingenuity قطعة قماش صغيرة من طائرة الأخوين رايت.



العربة الجوالة المثابرة والمروحية الروبوتية الصغيرة Ingenuity (يسار) على سطح المريخ

كانت أول مركبة فضائية تطير بالقرب من كوكب المشتري هي بايونير 10، التي حصلت على أول صور عن قرب للعملاق الغازي أثناء استكشاف حلقاته ومجاله المغناطيسي عام 1973. وكان للمشتري أكبر عدد من زيارات المركبات الفضائية من صنع الإنسان من بين جميع الكواكب الكبيرة. حيث يتم تنفيذ مناورات الجاذبية بشكل روتيني في مهمات لدراسة الكواكب البعيدة من أجل الحفاظ على الوقود.

وصلت فوييجر 1 و 2 إلى زحل بعد بايونير 11، والتي كانت أول مركبة فضائية تقوم بذلك. تم وضع فوييجر 1 بمدار يجعل من السهل رؤية تيتان، أكبر أقمار زحل. كان قادراً على جمع معلومات حول كثافة القمر وتكوينه ودرجة حرارته. ومع ذلك، لم يتمكن من إجراء دراسات شاملة للسطح بسبب الغلاف الجوي السميك.

وصل مشروع Cassini-Huygens، وهو تعاون بين وكالة ناسا ووكالة الفضاء الأوروبية، إلى زحل عام 2004. هبطت مركبة الهبوط Huygens بنجاح، والتقطت صور قريبة للقمر تيتان بينما كانت كاسيني تدور حول تيتان والتقطت أفضل الصور عالية الدقة للقمر تيتان على الإطلاق.

لا توجد العديد من القياسات الدقيقة للكوكبين الخارجيين، أورانوس ونبتون، كما هو الحال بالنسبة لعمالقة الغاز الآخرين لأن فوييجر 2 هي المركبة الفضائية الوحيدة التي زارتهم.

Exploring the planets

Mercury is difficult to study with space probes due to its closeness to the Sun, therefore few missions have visited the planet. The first of them was the American Mariner 10 spacecraft, which arrived at Mercury in 1974 after obtaining close-up photographs of Venus and performing the first gravitational slingshot operation. It captured hundreds of photos of the planet before making two more close passes, charting about half of its surface before losing contact.

The Soviet Venera programme, which launched 16 space probes to examine Venus beginning in 1961, was critical in determining its features. The first two spacecraft were only intended to approach Venus, and after crashing into the surface of Venus in 1966, Venera 3 became the first man-made object to reach the surface of another planet. Venera 7 was the first spacecraft to safely land on a planet and relay data back to Earth, and Venera 9 has already taken pictures.

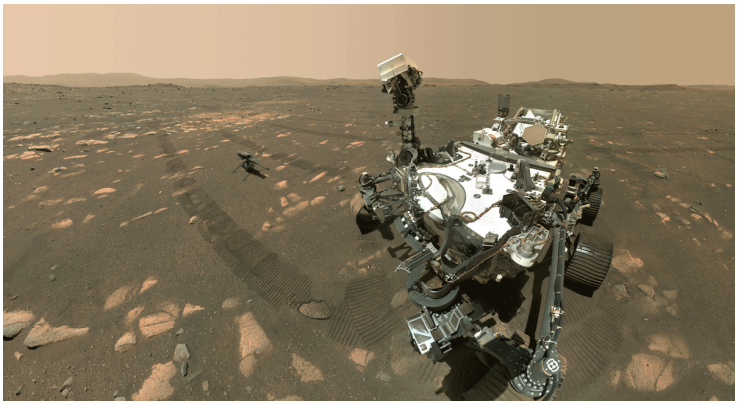
Mars is the best-studied planet: many space missions have examined the planet since the 1960s, and multiple landers and rovers have landed on its

surface. The Soviet Mars programme began in 1960, but the first successful Soviet Mars probe, Mars 2, did not launch until 1971, thus the Americans beat the Soviets: Mariner 4 was the first spacecraft to fly by Mars and photograph it. The Soviets made the first landing on Mars: while the Mars 2 lander crashed into the planet's surface, the Mars 3 lander, launched a few days later, successfully

relayed signals to the probe for 15 seconds, including the first photograph of the planet's surface. NASA's Viking programme dispatched two landers to Mars in the 1970s, with the primary purpose of looking for evidence of life and studying the planet's weather conditions, as well as seismic and magnetic features. The Mars Pathfinder, which also carried a tiny rover, the Sojourner, achieved the next successful landing in 1997. NASA launched the Mars Global Surveyor mission the same year, which examined the planet until 2006.

The 2001 Mars Odyssey is a NASA spacecraft that, in addition to studying Mars' geology and environment, transmitted data from the Spirit and Opportunity rovers, which landed successfully in 2004. The two rovers were initially scheduled to function on Mars for 90 days, but both considerably surpassed this: Spirit lost

communication in 2010, while Opportunity continued to operate until June 2018, more than 14 years past its anticipated lifespan. NASA's Perseverance rover arrived on Mars in 2021, together with the Ingenuity robotic helicopter, completing the first powered extraterrestrial flight ever. As a homage, Ingenuity carries a little piece of cloth from the Wright brothers' aeroplane.



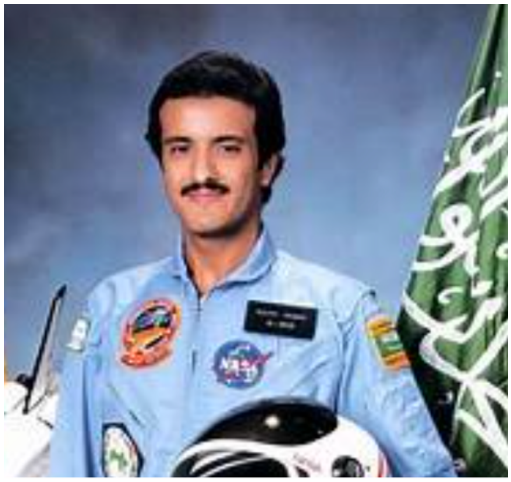
The Perseverance rover and the small Ingenuity robotic helicopter (left) on Mars

The first spacecraft to fly close to Jupiter was Pioneer 10, which obtained the first close-up pictures of the gas giant while discovering its rings and magnetic field in 1973. Jupiter has had the most human-made spacecraft visits out of all the large planets since gravity-assist manoeuvres are routinely carried out there on missions to study more distant planets in order to conserve fuel.

Voyager 1 and 2 arrived at Saturn after Pioneer 11, which was the first spacecraft to do so. Voyager 1 was built with an orbit that makes it easy to see Titan, Saturn's biggest moon. It was able to gather information about the density, composition, and temperature of the moon. However, it was unable to conduct a thorough investigation of the surface due to the thick atmosphere.

The Cassini-Huygens project, a collaboration between NASA and ESA, arrived at Saturn in 2004. The Huygens lander successfully landed to get up-close photographs of the moon as Cassini orbited Titan and captured the best-ever high-resolution images of the moon.
There aren't as many precise measurements of the two outermost planets, Uranus and Neptune, as there are of the other gas giants since Voyager 2 is the only spacecraft to have visited them.

رواد الفضاء السعوديين



24 يونيو1985 م، كانت أول مشاركة للمملكة العربية السعودية في السباق نحو الفضاء، حيث اصبح صاحب السمو الملكي الأمير سلطان بن سلمان بن عبد العزيز آل سعود، أول رائد فضاء عربي وأول رائد فضاء مسلم، وذلك في رحلة مكوك الفضاء ديسكفري.

هذه الرحلة فتحت آفاق الاهتمام بعلوم الفلك والفضاء، والعمل على تطوير البنى التحتية والموارد البشرية في هذا المجال والسعي لتحقيق إنجازات على المستويين المحلي والدولي.

تحقيقا لمخرجات رؤية 2030، تطمح السعودية من خلال برامجها لإعداد رواد الفضاء، إلى تمكين الشباب والشابات المتميزون والموهوبون لمنافسة أقرانهم محليًا وعالميًا، وتطويرهم، وذلك بتوفير كل السبل لدعم موهبتهم وقدراتهم.

وفي هذا الصدد شاركت المملكة من خلال رائدة الفضاء السعودية ريانة برناوي ورائد الفضاء السعودي علي القرني، في الرحلة الدولية إلى المحطة الدولية ISS، حيث قاما بإجراء العديد من التجارب العلمية المهمة للبشرية.

وتعد هذه المشاركات دافع ومحفز للنشء على الدخول في مجال الفلك والفضاء.

ولقد أجرى رواد الفضاء السعوديون عدة تجارب بحثية علمية رائدة في الجاذبية الصغرى. استهدفت التجارب السعودية في الفضاء، البحوث البشرية وعلوم الخلايا واستمطار السحب الاصطناعية، مما سيسهم في زيادة معدلات هطول الأمطار في العديد من دول العالم.

وللمساهمة في فهم أفضل لصحة الإنسان خلال وجوده في الفضاء، أجرى رواد الفضاء السعوديين اختبار وظائف الأعضاء والأجهزة الحيوية للإنسان، مثل قياس تدفق الدم إلى الدماغ، وتقييم الضغط داخل الجمجمة، والنشاط الكهربائي للدماغ، ومراقبة التغيرات في العصب البصري، وأخذ عينات الدم والعينات البيولوجية لفحص المؤشرات الحيوية المرتبطة برحلات الفضاء، ورسم خريطة التغيرات في الطول والبنية والتخلق الوراثي للجينات، وتجارب علوم الخلية للتحقيق في الاستجابة الالتهابية للخلايا المناعية البشرية.

ولقد شاركت موهبة، التجارب التي قدمها رائدا الفضاء السعوديان؛ ريانة برناوي وعلي القرني، داخل محطة الفضاء الدولية، مع طلبة التعليم العام داخل مؤسسة "موهبة"، وذلك لمدة 3 أيام، ضمن تجربة "بيئة الجاذبية الصغرى"؛ الهادفة إلى تعزيز الوعي المعرفي لدى الطلبة بعلوم الفضاء ومجالاته، عبر برامج إثرائية وتدريبية نوعية، بمشاركة طلبة من مختلف أنحاء المناطق، للتعرف على محطة الفضاء الدولية(ISS) ، والتواصل المباشر واللحظي مع رائدي الفضاء السعوديين في رحلتهما إلى الفضاء، في إطار برنامج المملكة لرواد الفضاء.

The Saudi astronauts

June 24, 1985 AD, was the first participation of the Kingdom of Saudi Arabia in the race towards space, where His Royal Highness Prince Sultan bin Salman bin Abdulaziz Al Saud became the first Arab astronaut and the first Muslim astronaut, in the flight of the space shuttle Discovery.
This trip opened the horizons of interest in astronomy and space sciences, working on developing the infrastructure and human resources in this field and striving to achieve achievements at the local and international levels.
To achieve the outcomes of Vision 2030, Saudi Arabia aspires, through its programs to prepare astronauts, to enable distinguished and talented young men and women to compete with their peers locally and globally, and to develop them, by providing all means to support their talent and abilities.
In this regard, the Kingdom, through the Saudi astronaut Rayyanah Barnawi and the Saudi astronaut Ali Al-Qarni, participated in the international flight to the International Station ISS, where they conducted many important scientific experiments for humanity.
These participations motivate young people to enter the field of astronomy and space.

The Saudi astronauts conducted several pioneering scientific research experiments in microgravity. The Saudi experiments in space targeted human research, cell sciences, and artificial Cloud seeding, which will contribute to increasing rainfall rates in many countries of the world.

The Saudi astronauts examined the physiological processes of human vital organs and systems to assist us understand the way human health will adapt in space. They obtained blood flow to the brain, assessed intracranial pressure, observed changes in the optic nerve, and obtained blood samples and biological samples for investigation. further, they traced changes in gene length, structure, and epigenetics.

Mawhiba discussed the two Saudi astronauts' experiences with general education students from the "Mawhiba" foundation as part of the "microgravity environment" experience. The mission was to increase students' awareness of space science and its fields through high-quality enrichment and training programs, with their participation, to learn about the International Space Station ISS.

اختبار تجريبي

Practice Test

اختر الإجابة الصحيحة في الأسئلة التالية:

1. ما هي المرحلة التي ستتطور إليها الشمس في النهاية؟

What will the Sun eventually evolve into?

A) قزم ابيض
White dwarf

B) قزم بني
Brown dwarf

C) نجم نيوتروني
Neutron star

D) ثقب أسود
Black hole

2. ما هو أول كوكب زاره قمر صناعي غير الأرض؟

What was the first planet other than the Earth to be visited by a satellite?

A) عطارد
Mercury

B) الزهرة
Venus

C) المريخ
Mars

D) المشتري
Jupiter

3. ما الذي يسبب الفصول على الأرض؟

What causes seasons on Earth?

A) تفاوت المسافة بين الشمس والأرض
The varying distance between the Sun and the Earth

B) سرعة الأرض وهي تدور حول محورها
The speed of Earth as it rotates around its axis

C) ميل محور الأرض أثناء دورانها حول الشمس
The tilt of the Earth's axis as it moves around the Sun

D) كمية الضوء التي يحجبها القمر
The amount of light blocked by the Moon

4. أي المواقع التالية على الأرض يتساوى فيها الليل والنهار؟

In which of the following places do both the day and the night last for 12 hours on the day of this competition?

A) باريس
Paris

B) بكين
Beijing

C) القطب الشمالي
The North Pole

D) خط الاستواء
The Equator

5. في أي يوم يتساوى فيها الليل والنهار في مدينة الرياض؟

On which of the following days does both the day and the night last for 12 hours in Riyadh?

A) January 1

B) March 23

C) August 31

D) October 20

6. للأقمار الصناعية المستقرة بالنسبة إلى الأرض مدار معين يمكّنها من البقاء دائمًا فوق نفس النقطة على الأرض. أين يمكن أن تكون هذه النقطة على سطح الأرض؟

Geostationary satellites have a particular orbit that enables them to always stay above the same point on the Earth. Where can this point be on the Earth's surface?

A) عند خط الاستواء
On the Equator

B) على مدار السرطان أو مدار الجدي
On the Tropic of Cancer or the Tropic of Capricorn

C) إما القطب الشمالي أو القطب الجنوبي
Either the North Pole or the South Pole

D) في أي مكان على وجه الأرض
Anywhere on Earth

7. ما هو الارتفاع الذي يجب أن تكون فيه الأقمار الصناعية المستقرة فوق سطح الأرض؟ على اعتبار أن نصف قطر الأرض 6378 كم.

How high do they have to be above the surface of the Earth? The radius of Earth 6378 km

A) 12756 km

B) 35786 km

C) 42164 km

D) 63495 km

8. يسقط رائد فضاء صخرة وريشة في نفس الوقت على القمر. ماذا يحدث؟

An astronaut drops a rock and a feather simultaneously on the Moon. What happens?

A) نظرًا لعدم وجود جاذبية على القمر، فلن يسقطوا.
As there is no gravity on the Moon, they won't fall down.

B) تسقط الصخرة في وقت سابق.
The rock falls down earlier.

C) الريشة تسقط في وقت سابق.
The feather falls down earlier.

D) كلاهما يسقطان في نفس الوقت.
They both fall down at the same time.

9. كم سيكون طول السنة إذا تحركت الأرض فجأةً ضعف المسافة من الشمس وبدأت في الدوران هناك في مدار دائري؟

What would be the length of the year if the Earth were suddenly moved twice as far away from the Sun and started to orbit there on a circular orbit?

A) It wouldn't change, 365 days
B) 579 days
C) 730 days
D) 1032 days

10. مركبة فضائية تدور في مدار دائري حول الأرض بسرعة v. فجأة تشعل صواريخها وتدخل في مدار مكافئ، تاركة محيط الأرض. ما هي سرعتها الجديدة؟

A spaceship is on a circular orbit around Earth with a velocity v. Suddenly it ignites its rockets and gets into a parabolic orbit, leaving the vicinity of Earth. What is its new velocity?

A) Still v
B) $2\ v$
C) $v\sqrt{2}$
D) We can't be sure just from these data.

11. تسارع الجاذبية (g) على المريخ هو ⅓ الجاذبية على الأرض. ماذا يمكننا أن نقول عن السرعة الكونية الأولى على المريخ؟

The gravitational acceleration (g) on Mars is only ⅓ of that on Earth. What can we say about the first cosmic velocity on Mars?

A) أكبر من الموجودة على الأرض.
It is larger than the one on Earth.
B) تساوي الموجودة على الأرض.
It is equal to the one on Earth.
C) أصغر من الموجود على الأرض.
It is smaller than the one on Earth.
D) يعتمد ذلك على نوع المركبة الفضائية التي نستخدمها.
It depends on what kind of spacecraft we use.

12. نرمي جسمًا صغيرًا أفقيًا على كل من الأرض والقمر، بنفس الارتفاع والسرعة المبدئيين. كم مرة يقطعها الجسم من نقطة رميه في اتجاه أفقي على القمر عنها على الأرض؟ (تسارع الجاذبية على القمر هو سدس قيمة الجاذبية على الأرض.)

We throw a small object horizontally on both the Earth and the Moon, with the same initial height and velocity. How many times further the object travels from the point of throw in a horizontal direction on the Moon than on the Earth? (The gravitational acceleration on the Moon is one-sixth of the Earth's value.)

A) يقطع الجسم نفس المسافة.
The object travels the same distance.

B) يقع الجسم 3 مرات أكثر.
The object falls 3 times further.

C) ينخفض الجسم بمقدار $\sqrt{6}$ مرات أكثر.
The object falls $\sqrt{6}$ times further.

D) يقع الجسم 6 مرات أكثر.
The object falls 6 times further.

13. ماذا سيحدث إذا قلصنا الشمس إلى جزء من الألف من حجمها دون تغيير كتلتها؟

What would happen if we were to shrink the Sun to a thousandth of its size without changing its mass?

A) ستستمر الأرض والكواكب الأخرى في الدوران دون تغيير.
The Earth and the other planets would continue to orbit unchanged.

B) ستستمر الأرض في الدوران دون تغيير لكن الكواكب الغاز العملاقة ستهرب.
The Earth would continue to orbit unchanged, but the gas giants would escape.

C) ستسقط الأرض والكواكب الأخرى في الشمس.
The Earth and the other planets would fall into the Sun.

D) ستهرب الأرض والكواكب الأخرى من النظام الشمسي.
The Earth and the other planets would escape the Solar System.

14. **مركبة فضائية تدور حول الأرض في مدار بيضاوي الشكل. متى نشعر بانعدام الوزن في سفينة الفضاء؟**

A spaceship is orbiting the Earth in an elliptical orbit. When do we experience weightlessness in the spaceship?

A) إذا كانت المركبة الفضائية تتسارع عند أقرب نقطة من الأرض.
If the spaceship is accelerating at the point closest to the Earth.

B) إذا كانت المركبة الفضائية تتباطأ عند النقطة الأبعد عن الأرض.
If the spaceship is decelerating at the point farthest from the Earth.

C) إذا كانت المركبة الفضائية تتسارع عند أبعد نقطة من الأرض.
If the spaceship is accelerating at the point farthest to the Earth.

D) إذا كانت المركبة الفضائية لا تستخدم محركاتها.
If the spaceship does not use its engines.

#	الإجابة
.1	A
.2	B
.3	C
.4	D
.5	B
.6	A
.7	B
.8	D
.9	D
.10	C
.11	C
.12	C
.13	A
.14	D

المراجع
References

- Fundamental Astronomy, 5th edition, Hannu Karttunen, University of Turku, Finland

- An Introduction to Modern Astrophysics, 2nd edition, Bradley W. carroll, weber state university, USA