رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1-2

النجوم والمجرات

Stars and Galaxies

الأهداف

- **يشرح** دورة حياة النجوم.
- **يصنف** أنواع المجرات.
- **يوضح** تركيب مجرة درب التبانة.

المفردات الجديدة

النجم

النجوم المزدوجة

الحشود النجمية

الوسط بين النجوم

التوازن الهيدروستاتيكي

العملاقة الحمراء

سديم كوكبي

قزم أبيض

قزم أسود

مستعر أعظم

النجم النيتروني

ثقب أسود

المجرة

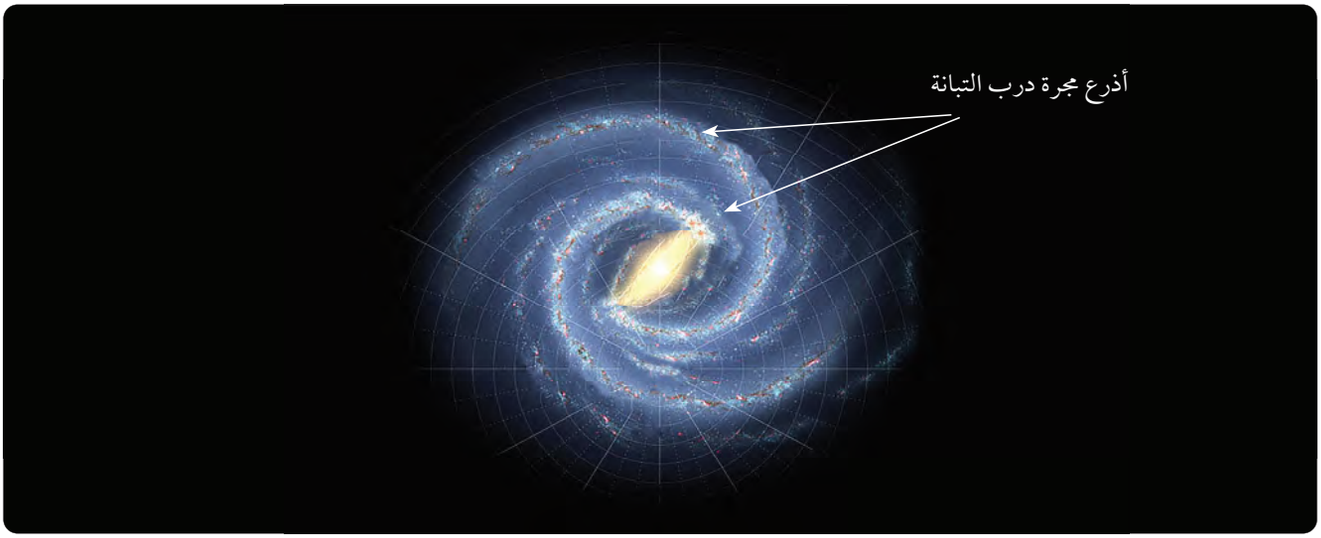
الفكرة الرئيسة **وصف مراحل دورة حياة النجوم، وتحديد موقعنا في مجرة درب التبانة.**

الربط مع الحياة تعد النجوم اللبنة الأساسية للمجرات منذ نشأة الكون وتطوره، وهي من أبرز الأجرام السماوية التي حازت على اهتمام الإنسان منذ القدم، وكانت العرب تستخدمها قديمًا للاستدلال بالاتجاهات وفصول السنة، قال تعالى: ﴿وَهُوَ ٱلَّذِى جَعَلَ لَكُمُ ٱلنُّجُومَ لِتَهْتَدُوا۟ بِهَا فِى ظُلُمَٰتِ ٱلْبَرِّ وَٱلْبَحْرِ﴾ سورة الأنعام الآية: 97.

النجم star عبارة عن جرم غازي متألق تتولد الطاقة في باطنه بواسطة تفاعلات الاندماج النووي، و تمر النجوم بدورة حياة تمتد إلى مليارات السنين ؛ فهي تولد وتتطور وتموت ومن ثم تولد نجوم أخرى، وتميل النجوم إلى التكون في مجموعات مثل: **النجوم المزدوجة Binary star**، وهما نجمان مرتبطان جاذبيًا ، يدوران حول بعضهما، و**الحشود النجمية Star Cluster** التي تحتوي على مئات الألوف من النجوم، ويمكن أن يولد النجم مفردًا.

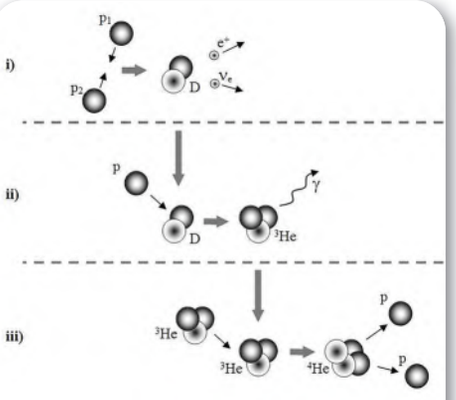
يتكون **الوسط بين النجوم interstellar medium** من الغاز والغبار بكثافة مختلفة؛ فنجد مناطق كثافتها عالية ومناطق أخرى ذات كثافة منخفضة، يحتوي الغاز في غالبيته على الهيدروجين والهيليوم وأيضًا بعض العناصر الأثقل مثل ذرات الكربون، والأوكسجين والنيتروجين والسليكون. يتواجد الهيدروجين في الوسط بين النجوم إما في الحالة الذرية ^{1}H أو المتأينة $^{1}H^{+}$ أو الجزيئية H_2 ، وعند وجوده في الحالة الجزيئية يطلق على سحب الغاز والغبار بالسحب الجزيئية وهي سحب تتكون من جزيئات الهيدروجين والهيليوم والكربون والنيتروجين والأوكسجين. تتميز هذه السحب بكثافة عالية ودرجات حرارة أعلى وتتواجد بكثرة في أذرع مجرة درب التبانة، وهي أذرع لولبية تمتد من مركز المجرات الحلزونية **الشكل 9–1**.

تولد النجوم في السحب الجزيئية وتمر بعدة مراحل تمتد لملايين السنين، تنكمش السحابة تحت تأثير جاذبيتها ثم يبدأ الغاز والغبار بالتكور ويسمى النجم حينها بالنجم الأولي، ومع زيادة الضغط تبدأ حرارة اللب المنكمش بالارتفاع، وعند ارتفاع درجة الحرارة ما بين 10–15 مليون درجة مئوية تبدأ تفاعلات الاندماج النووي وتحول الهيدروجين إلى هيليوم في تفاعلات موضحة في **الشكل 10–1** لتبدأ بذلك حياة النجم.

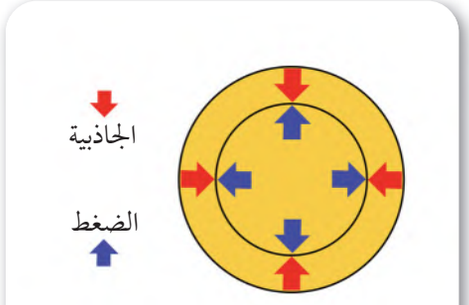


الشكل 9–1 صورة افتراضية لأذرع مجرة درب التبانة.

بعد تفاعلات الاندماج النووي وهي تفاعلات يتم فيها دمج نواتين خفيفتان لتكوين نواة أثقل مع إطلاق كميات هائلة من الطاقة، ترتفع درجة الحرارة و يتكون ضغط حراري عالي في اللب يدفع الطاقة الى الخارج، ويواجه النجم في المقابل قوة معاكسة وهي قوة الجاذبية التي تدفع الى الداخل، يستقر النجم عند موازنة قوة الجاذبية الداخلية بواسطة قوة الضغط الخارجية ويسمى هذا التوازن **بالتوازن الهيدروستاتيكي Hydrostatic Equilibrium** **الشكل 11–1**. تحدد كتلة النجم المولود درجة حرارته وحجمه ولونه حيث أن النجم الأقل سخونة يكون باللون الأحمر ثم الأصفر ثم الأبيض وأخيرًا عند درجات الحرارة العالية جدًا يكون النجم أزرق.



الشكل 10–1 تفاعلات الاندماج النووي في النجوم.



الشكل 11–1 التوازن الهيدروستاتيكي في النجوم.

مخطط التتابع الرئيسي
Main sequence diagram

حاول العلماء فهم العلاقة بين درجة حرارة النجوم ولمعانها والتصنيف الطيفي بعد توفر بيانات هائلة لها، وتوصلوا الى اكتشاف مخطط التتابع الرئيسي Hertzsprung–Russell diagram يتيح هذا المخطط فهم دورة حياة النجم عند تحديد موضعه في المخطط. يوضح **الشكل 12–1** أن المحور الأفقي يمثل درجة الحرارة، ويمثل المحور الرأسي اللمعان، ويعد هذا المخطط من أهم الوسائل التي تساعد في معرفة بعض المعلومات المهمة عن النجوم. ويمكن تقسيم المخطط إلى عدة مناطق:

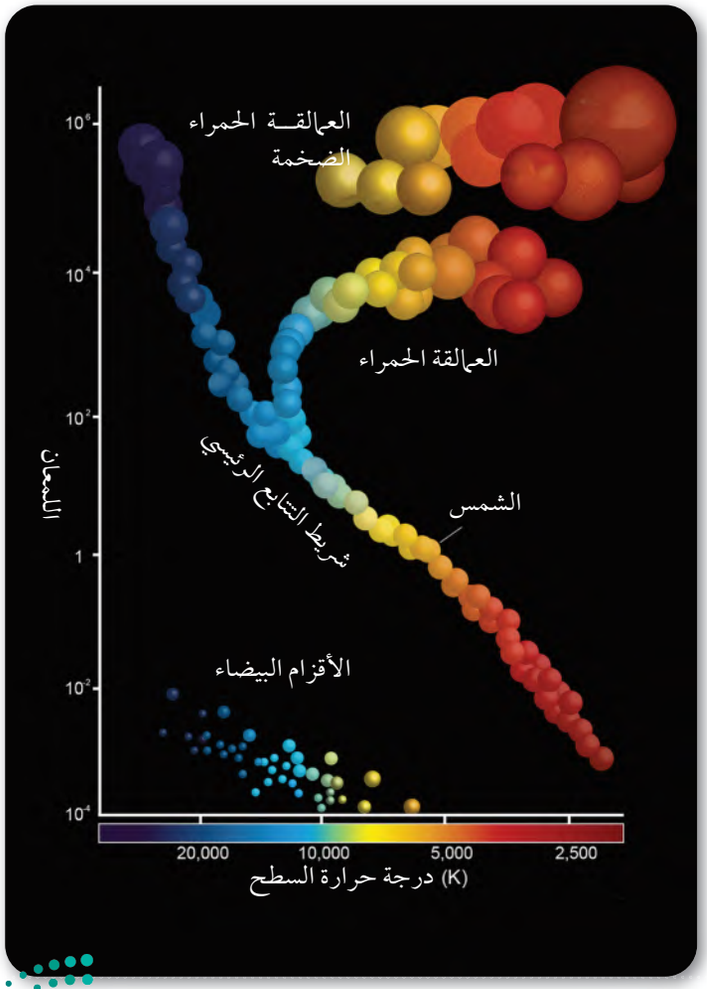
منطقة شريط التتابع الرئيسي: لو رسمنا درجات الحرارة أو اللمعان مع النوع الطيفي للنجوم لوجدنا أن غالبية النجوم تنتظم في شريط يمتد من أعلى اليسار إلى أسفل اليمين، سمي هذا الشريط بالتتابع الرئيسي Main Sequence، ونلاحظ أن الشمس تقع عليه، وهي المرحلة الأولى من التطور، يصل النجم إلى التسلسل الرئيسي بمجرد أن يبدأ الاندماج، وهذا ما يفسر سبب تواجد معظم النجوم على شريط التتابع الرئيسي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

خــلال هذه المرحلة تتولد طاقة النجم عن طريق عمليات الاندماج التي تحــول الهيدروجين إلى هيليوم ويقضي النجم90% من حياته في هذه المرحلة. ويحتــوي الشريط على نجــوم مختلفة اللون والحرارة والســطوع، حيث تقع النجوم الحمراء ذات الســطوع المنخفض والحرارة المنخفضة في أسفل يمين الشريط وتقع النجوم الزرقاء ذات الحرارة العالية والســطوع العالي في أعلى يسار الشريط.

منطقة العمالقة الحمراء والعمالقة الحمراء الضخمة: نجد **العمالقة الحمراء Red giant** والعمالقة الحمراء الضخمة Red supergiant في أعلى يمين المخطط وهي نجوم ذات حجم هائل، بقطر أكبر من الشــمس ب 200 إلى 800 مرة، ولذا هي أســطع من نجوم التتابع الرئيسي، ولكن أبرد بسبب انتهاء عمليات الاندماج النووي وإطلاق الطاقة.

منطقــة الأقزام البيضاء: أخيرًا، نرى مجموعة مــن النجوم ذات درجات حرارة شــديدة ولمعان منخفض وحجم صغير جدًا بقطــر يتراوح من عدة آلاف إلى 10 آلاف كيلومتر، تقع هذه النجوم في أسفل يسار المخطط وتسمى الأقزام البيضاء.



الشكل 12–1 مخطط H–R الذي يوضح مواضع النجوم بحسب درجة الحرارة واللمعان.

بقايا النجوم Star Remnants

تعيش النجوم لملايين، ومليارات، بل وحتى مئات المليارات من السنين، وتحدد كتلة النجم كيفية انتهاء حياته. كتل النجوم المنخفضة التي تساوي 1.4 كتل شمسية أو أقل عندما ينتهي الهيدروجين في لبه تتوقف التفاعلات النووية ويتقلص اللب وينهار على نفسه ويطرد الطبقات الخارجية إلى الخارج مما يسبب تمدد وتوسع النجم إلى أضعاف نصف قطر النجم الأصلي، وهذا التمدد يؤدي إلى تبريد الطبقات الخارجية ويصبح النجم عملاقًا أحمر، هناك عدة عمالقة حمراء يمكن مشاهدتها في السماء ليلًا، مثل: الدبران Aldebarán والسماك الرامح Arcturus وقلب العقرب Antares ومنكب الجوزاء Betelgeuse.

إذا كان النجم ذا كتلة كافية، يصبح اللب المنهار ساخنًا بدرجة كافية لبدء سلسلة تفاعلات لعناصر أثقل من الهيدروجين وتنتج عناصر أثقل فتبدأ تفاعلات الهيليوم، ثم تفاعلات الكربون، ثم تفاعلات النيون إلى أن تصل إلى الحديد في اللب وتتوقف التفاعلات النووية وتبدأ نقطة النهاية للنجم منخفض الكتلة حيث يطرد طبقاته الخارجية إلى الفضاء مشكلًا منظرًا جميلًا مضيئًا يعرف بالسديم الكوكبي **الشكل 13–1** وسمي **سديم كوكبي Planetary Nebula**: لأنه عندما كان يرى من تلسكوب صغير كان يشبه إلى حد ما الكواكب الغازية.

بعد طرد الطبقات الخارجية للنجم يبقى اللب فقط ويصبح **قزمًا أبيض White Dwarf**، وهو نجم شديد الحرارة بسبب الحرارة المتبقية من التفاعلات النووية، وذو كثافة عالية جدًا حيث إن كتلته تساوي كتلة الشمس وحجمه بحجم الأرض.

على مدى عدة مليارات من السنين، ستنخفض درجة حرارة ولمعان القزم الأبيض وينهي حياته على شكل رماد بارد داكن من الكربون يُعرف باسم **القزم الأسود Black Dwarf**.

أما إذا كان النجم بكتلة عالية تصل إلى 8–10 أضعاف كتلة الشمس، تتغلب قوة الجاذبية على قوة الضغط فينهار النجم على نفسه في ثوانٍ معدودة مما يسبب انفجار النجم بمشهد عظيم قاذفًا جميع العناصر إلى الفضاء ويسمى **مستعر أعظم Supernova** **الشكل 14–1**.

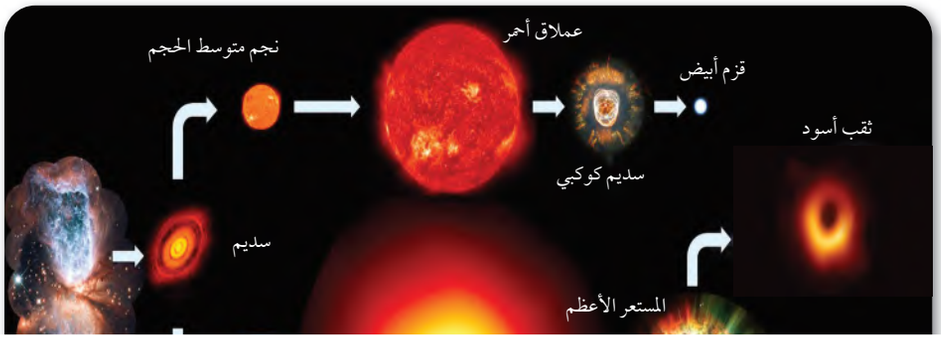
المستعر الأعظم يخلف وراءه إما نجمًا نيترونيًا أو ثقبًا أسود بحسب كتلة اللب المنهار، إذا كانت كتلة لب النجم ما بين1.5إلى 3 كتل شمسية، يستمر الانهيار حتى تتحد الإلكترونات والبروتونات لتشكل النيترونات وينتج **النجم النيتروني Neutron Stars**، وهي نجوم كثيفة جدًا يبلغ قطرها المتبقي حوالي 16 كيلومترًا فقط، وتدور بسرعة حول محورها، عادةً من 20 إلى 50 مرة في الثانية مكونة

الشكل 13–1 سديم هيليكس الكوكبي.

الشكل 14–1 سديم السرطان، وهو بقايا نجم ضخم من مجرتنا، تمت رؤية انفجاره في عام 1054.

مجالًا مغناطيسيًا قويًا يسرع الجسيمات الذرية حول الأقطاب المغناطيسية وتنتج حزم إشعاع قوية يتم رصدها بالتلسكوبات الراديوية، إذا كان النجم بزاوية مناسبة لرصد تلك الإشعاعات فإنها تكون كنبضات بسبب دوران النجم السريع ويسمى في هذه الحالة النجم النيتروني بالنجم النابض، أما إذا كان اللب المنهار أكبر من 3 كتل شمسية فإنه ينهار تمامًا ليشكل **ثقبًا أسودًا Black Hole**، وهو جسم كثيف بشكل هائل وتكون جاذبيته قوية جدًا وكما يوحي اسمه، لا يمكن للمادة أو الإشعاع الهروب منه.

يمتزج الغبار والغاز الذي خلفه المستعر الأعظم في النهاية مع الغاز والغبار بين النجوم، مما يزودها بالعناصر الثقيلة والمركبات الكيميائية الناتجة أثناء الموت النجمي. في النهاية يتم إعادة تدوير هذه المواد، مما يوفر اللبنات الأساسية لجيل جديد من النجوم **الشكل 15–1** يلخص دورة حياة النجوم.



الشكل 15–1 دورة حياة النجوم.

جواب 5: المصباح الذي لم يُغطى برقاقة القصدير سيكون سطوعه أكبر.

جواب 6: العوامل التي تؤثر في سطوع المصباحين تشمل قوة الضوء (الواط) ومساحة الفتحة التي يخرج منها الضوء. نعم، الأمر ينطبق على النجوم أيضًا؛ حيث يعتمد سطوع النجم على حجمه ودرجة حرارته ومسافته عنا. النجوم الأكبر حجمًا والأكثر حرارة تكون عادةً أكثر سطوعًا من النجوم الأصغر والأبرد. كما أن النجوم الأقرب إلينا تبدو أكثر سطوعًا من تلك البعيدة، حتى لو كانت النجوم البعيدة أكبر حجمًا أو أكثر حرارة.

تجربة

العلاقة بين سطوع النجوم وحجمها

نلاحظ أن النجوم لها سطوع في الليل بإضاءات مختلفة. فهل هناك عوامل تؤثر في كمية إضاءة النجوم؟

خطوات العمل

1. غطِ عدسة أحد المصابيح الكهربائية برقاقة قصدير، وقم بثقب مركز الرقاقة.
2. أحضِر مصباحًا كهربائيًا آخر.
3. سلط ضوء كلٍ من المصباحين على شاشة بيضاء كلًا على حده، وبنفسٍ البعد عن الشاشة.
4. راقب حجم ضوء كلا المصباحين.

التحليل

5. أي المصباحين سطوعه أكبر؟
6. ما العوامل التي ترى أن لها دورًا في تغير سطوع المصباحين؟ و هل الأمر ينطبق على النجوم أيضًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المجرات Galaxies

المجرات Galaxies عبارة عن مجموعات هائلة من النجوم والغاز والغبـــار المرتبطة ببعضها بفعل الجاذبية وهي مصدر كل النجوم؛ لأن النجـــوم لا تولد خارج المجرات. ويختلف عـــدد النجوم في المجرات اختلافًا كبيرًا، على سبيل المثال، في بعض المجرات العملاقة، قد يكون هناك أكثر من تريليون نجم وفي المجـــرات القزمة الصغيرة قد يكون هناك بضع مئات من الآلاف فقط.

تـــأتي المجرات في مجموعـــات متنوعة من الأشـــكال والأحجام، ويمكن تصنيف المجرات إلى ثلاث فئات رئيسة:

1. المجرات الحلزونية SpiralGalaxy

هي مجرات تظهر على شكل أقراص مسطحة مع انتفاخات صفراء في مركزهـــا ذات تركيز عالٍ جدًا من النجـــوم. منطقة القرص تكون ممتلئة بالغبار والغـــاز كما هو الحال في درب التبانة. أكثر ما يميزها هو الأذرع الحلزونيـــة، تتميز هذه الأذرع بكثافة أعـــلى من الغاز والغبار وهي مواقع ولادة النجوم وتبدو أكثر ســـطوعًا مقارنةً ببقية القرص بسبب النجوم الساطعة المتكونة حديثًا. المجرات الحلزونية لديها نسبة أعلى بكثير من النجوم الصغيرة بالعمر على عكس المجرات البيضاوية التي تكثـــر فيها النجوم القديمة. وتنتمي مجرتنـــا (مجرة درب التبانة) وأيضًا مجرة المرأة المسلسلة **الشكل 16–1** إلى المجرات الحلزونية.

2. المجرات البيضاوية Elliptical Galaxy

تظهر المجرات البيضاوية على شكل هياكل بيضاوية **الشكل 17–1** مع انخفاض في كثافة النجوم والغاز والغبار، وبالتالي لا يوجد تكوين نجمي جديد. هذه المجرات تكثر فيها النجـــوم القديمة ذات الكتلة المنخفضة واللون الأصفر والأحمر. وتشكل المجرات البيضاوية 10 إلى 15% من المجـــرات. وتميل النجوم في المجرات البيضاوية إلى التحرك بطريقة عشوائية أكثر من تلك الموجودة في المجرات الحلزونية.

3. المجرات غير المنتظمة Irregular Galaxy

هنـــاك أيضًا فئة من المجرات تعرف بالمجرات غير المنتظمة، والتي ليس لها بنيـــة منتظمة. ويعتقد علماء الفلك أن الأشـــكال المشـــوهة للمجـــرات غير المنتظمة قد تكون ناجمة عن جاذبية المجرات المجاورة مثل ســـحابتي ماجلان Magellanic Clouds، وهما مجرتان قزمتان غـــير منتظمتان، تعد إحـــدى أقرب المجـــرات لمجـــرة درب التبانة **الشكل 18–1**.

الشكل 16–1 مجرة المرأة المسلسلة احدى المجرات الحلزونية.

الشكل 17–1 مجرة NGC 1316 البيضاوية.

الشكل 18–1 مجرة سحابة ماجلان الكبرى غير المنتظمة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مجرة درب التبانة Milky Way Galaxy

مجرة درب التبانة مجرة حلزونية تحتوي على أكثر من200 مليار نجم، المكونات الرئيسة لمجرة درب التبانة كما في **الشكل 19–1** هي: القرص الرقيق، ونواة تبدو ككتلة واحدة من شدة تقارب النجوم، ويحيط بالنواة أذرع حلزونية الشكل بالإضافة إلى هالة ضخمة. وتحتوي الأذرع على سحب كثيفة من الغاز والغبار؛ لذلك لا نشاهد النجوم حديثة الولادة إلا على أذرع المجرة، وهذا يفسر اللمعان الشديد لها.

تقع الشمس على الحافة الداخلية لذراع الجبار **الشكل 20–1** وتتحرك الشمس بسرعة 200km /s وبالتالي تكمل دورة كاملة حول مركز المجرة كل 200 مليون سنة.

ماذا قرأت؟ ما موقع نظامنا الشمسي من مجرة درب التبانة؟

نظامنا الشمسي يقع في أحد الأذرع الحلزونية لمجرة درب التبانة، وتحديدًا في الذراع الجانبية المعروفة باسم ذراع الجبار (Orion Arm)، وهو يبعد حوالي 27,000 إلى 28,000 سنة ضوئية عن مركز المجرة.

تركيب مجرة درب التبانة

Structure of Milky Way Galaxy

تتركب مجرة درب التبانة من:

1. قرص المجرة Galaxy Disk

هو قرص بقطر يساوي 100ألف سنة ضوئية يحتوي على نجوم صغيرة نسبيًا مقارنة بالنجوم الموجودة في الهالة. كما أنه يحتوي على كمية كبيرة من الغاز والغبار والعديد من مناطق التكوين النشط للنجوم. تقع المجموعة الشمسية على بعد 30سنة ضوئية من مركزها على حافة ذراع الجبار.

2. نواة المجرة Galaxy Bulge

تحتوي منطقة نواة المجرة على كثافة عالية من النجوم وبقايا المستعر الأعظم والغاز والغبار، وتبين ملاحظات الراديو والأشعة السينية على وجود ثقب أسود في نواة المجرة، ويحيط بالنواة سحب كثيفة تخفي ما يدور بداخلها.

3. هالة المجرة Galaxy Halo

هي هالة معتمة تحيط بالقرص وتشكل نسبة عالية من كتلة المجرة، تحتوي الهالة على غاز وغبار ضئيل، وبالتالي لا يوجد تكوين نجمي ؛ لذا تكثر فيها النجوم الكبيرة بالعمر والقديمة.

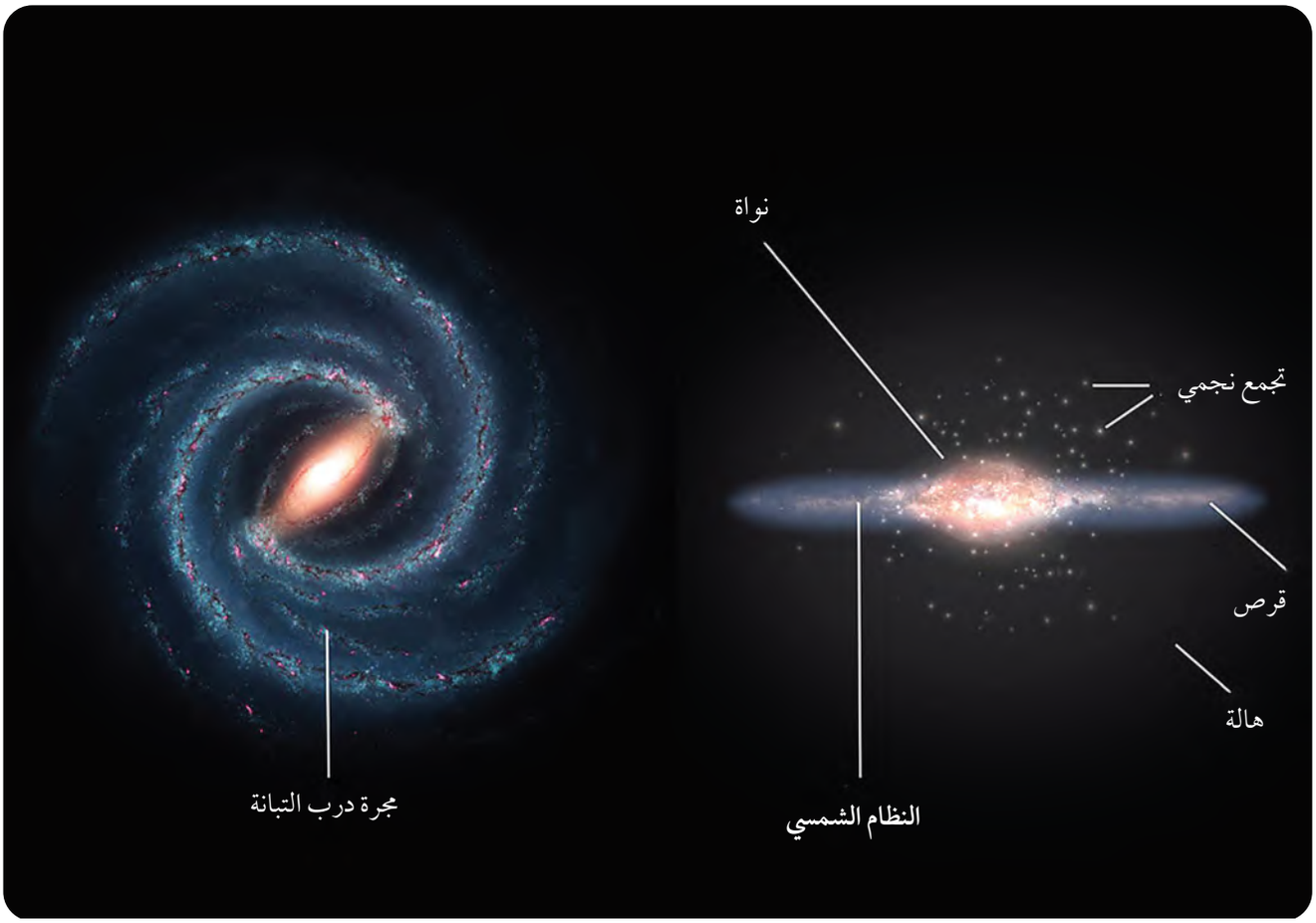
King Faisal PRIZE

تمكن الروسي راشد سنييف الفائز بجائزة الملك فيصل في العلوم لعام 2009 م من ابتكار نموذج لدراسة كتلة الثقوب السوداء.

الربط مع تاريخ علماء الإسلام

كان للعلماء المسلمين دور بارز في اكتشاف المجرات لأول مرة؛ حيث لاحظ الفلكي عبدالرحمن الصوفي مجرة أندروميدا Andromeda في كوكبة المرأة المسلسلة وسماها لطخة سديمية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

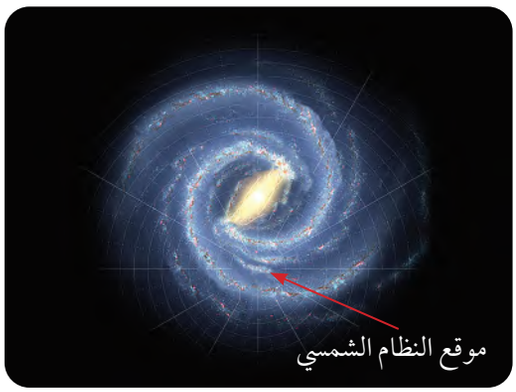


الشكل 19–1 تركيب مجرة درب التبانة.

رؤية 2030 للتقليل من تلوث البيئة

Vision 2030 to reduce light pollution

أفاد مجموعة من علماء البيئة مؤخرًا أن أكثر من ثلث سكان العالم لم يعـودوا قادرين على رؤية نجـوم درب التبانة حتى في أكثر الليالي صفاء، وذلك بعد أن تسبب الإنسان في إحاطتها بغيمة مضيئة مصدرها المصابيح الموجهة للسماء. ولذلك لجأت بعض الدول كالسعودية إلى إعداد متنزهات للاستمتاع بنجوم درب التبانة كما في مدينة (تروجينا) بمشروع نيوم.



الشـكل 20–1 صورة افتراضية لموقع الشـمس في مجرة درب التبانة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

KACST
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

تجربة رحلة صاحب السمو الملكي الأمير سلطان بن سلمان لرصد الأشعة السينية في الفضاء

تم ذلك بواسطة المركبة "سبارتان" التي كانت مهمتها إعداد خارطة توضح مدى انتشار أشعة إكس وتوزيعها، والمنبعثة من مصادر كونية موجودة في مركز درب التبانة. و كان من ضمن المهمة أيضًا دراسة خصائص الثقب الأسود المتواجد بمركز مجرتنا.

التفكير الناقد

علاقة تمدد الكون بالمجرات

أثبت هابل أن الكون ليس ثابتًا؛ وإنما يتمدد. بعد ذلك بعقودٍ رصد التلسكوب هابل الفضائي مستعراتٍ عظمى بعيدة (السوبرنوفا) تتباعد عن بعضها، ووجد أن الكون منذ زمنٍ طويلٍ كان يتمدد.

التحليل

ما أبرز الاحداث المتوقعة التي يمكن أن تطرأ بين مجرتنا ومجرة إندروميدا نظرًا لكونها أقرب مجرة إلينا؟

من أبرز الأحداث المتوقعة هو اصطدام مجري متوقع أن يحدث بعد حوالي 4.5 بليون سنة. على الرغم من أن معظم المجرات تبتعد عنا بسبب توسع الكون، إلا أن مجرة إندروميدا تتجه نحو مجرتنا بسرعة تبلغ 120 كيلومتر/ الثانية. عندما يحدث الاصطدام، من المتوقع أن يُقذف النظام الشمسي إلى مدارات جديدة، وقد تندمج المجرتان لتكوين مجرة إهليلجية هائلة. هذا الحدث سيؤدي إلى تغييرات جذرية في بنية المجرتين.

التقويم 2-1

الخلاصة

- تولد النجوم في السحب الجزيئية وتمر بعدة مراحل أهمها :
  - التقلص التثاقلي لسحابة غاز وغبار.
  - ارتفاع درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي.
  - الاندماج النووي.
- يتيح مخطط التتابع الرئيسي فهم دورة حياة النجم عند تحديد موضعه في المخطط.
- تتكون مجرة درب التبانة من نواة تحوي كثافة نجمية عالية يحيط بها هالة تحوي نجومًا كبيرة وقديمة، و قرصًا به عدد من النجوم الصغيرة.
- تم تقسيم المجرات إلى ثلاثة أنواع بحسب شكلها: حلزونية، بيضاوية وغير منتظمة.

فهم الأفكار الرئيسة

1. قارن بين المراحل الثلاثة الرئيسة لولادة نجم .
2. ما هو مصدر الطاقة الرئيسي الذي يجعل نجمًا من التسلسل الرئيسي يضيء في الفضاء؟
3. ما أهمية المستعر الأعظم في توليد نجم جديد؟
4. كم عدد أذرع مجرة درب التبانة ؟ وعلى أي أذرعها تقع شمسنا؟

التفكير الناقد

5. كيف يتحقق علماء الفلك من صحة نظرية في التطور النجمي؟

الكتابة في علم الفلك

6. ابحث في كيفية استطاعة الفلكيين -مستقبلاً - تطوير معداتهم لتصبح قادرة على رصد الثقوب السوداء وتصويرها بسهولة؟

جواب 1:

تولد النجوم في السحب الجزيئية وتمر بعدة مراحل أهمها:

التقلص التثاقلي لسحابة غاز وغبار: في هذه المرحلة، تبدأ سحابة الغاز والغبار بالتقلص تحت تأثير الجاذبية الذاتية، مما يؤدي إلى تكون كرة كثيفة من الغاز.

ارتفاع درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي: مع استمرار الانكماش، ترتفع درجة الحرارة والضغط داخل الكرة الغازية حتى تصل إلى مستويات عالية جدًا، مما يمهد الطريق لبدء الاندماج النووي.

الاندماج النووي: هذه هي المرحلة النهائية حيث تبدأ الذرات المتأينة للهيدروجين بالاندماج لتكوين الهيليوم، مما ينتج عنه طاقة كبيرة ويجعل النجم يضيء ويصبح نجمًا كاملًا.

جواب 2: تتولد طاقة النجم عن طريق عمليات الاندماج التي تحول الهيدروجين إلى هيليوم.

جواب 3: المستعر الأعظم يخلف وراءه إما نجماً نيترونياً أو ثقباً أسود بحسب كتلة اللب المنهار. فإذا كانت كتلة لب النجم ما بين 1.5 إلى 4 كتل شمسية، يستمر الانهيار حتى تتحد الإلكترونات والبروتونات لتشكل النيترونات وينتج النجم النيتروني، أما إذا كان اللب المنهار أكبر من 3 كتل شمسية فإنه ينهار تماماً ليشكل ثقباً أسوداً.

جواب 4: تتكون مجرة درب التبانة من أربعة أذرع تقع الشمس على الحافة الداخلية لذراع الجبار.

جواب 5: من خلال مخطط التتابع الرئيسي يتيح هذا المخطط فهم دورة حياة النجم عند تحديد موضعه في المخطط، ويعد هذا المخطط من أهم الوسائل التي تساعد في معرفة بعض المعلومات المهمة عن النجوم.

جواب 6: يستخدم علماء الفلك التلسكوبات عبر طيف الضوء بأكمله، من موجات الراديو إلى الأشعة السنية إلى أشعة جاما. دراسة سقوط المادة - التي تسمى "التراكم"- على الثقوب السوداء باستخدام شاندرا للأشعة السينية التابع لناسا.