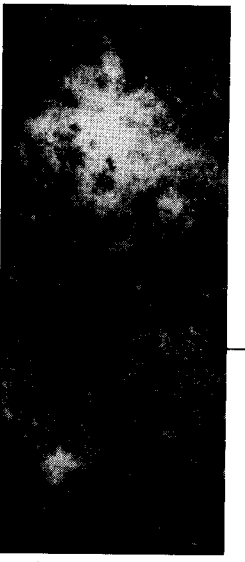
5

التطور النجمي



إن لكل شيء أواناً، ولكل مرام تحت السماء وقتاً مقدراً. ثمة ساعة للولادة وساعة لحلول الأجل.

Ecclesiastes 3:1-2 (سفر الجامعة)

الأهداف:

- تعريف التطوُّر النجمي.
- ذِكر مراحل دورة حياة نجمٍ كالشمس وفقاً للنظرية الحديثة للتطوُّر النَّجمي.
- بيان أهمية مخطَّط H-R في نظريات التطوُّر النجميّ.
- بيان العلاقة بين عُمر نجم وموقعه على مخطط H-R.
- ذِكر المراحل الثلاث الرئيسية لولادة نجم.
- وصف ميزان الطاقة وميزان الضغط في نجوم من التسلسل الرئيسي.
- مقايسة ما يحدث في المراحل المتقدِّمة لتطوُّر النجوم الكبيرة الكتلة والصغيرة الكتلة: السُّدُم الكوكبية، والأقزام البِيْض، والمستَعِرات

obeikandl.com

الفائقة، والنجوم النبَّاضة/ النترونية، والثقوب السوداء.

- تَعرُّف السُّدُم، والتسلسل الرئيسي، والعملاق الأزرق، والعملاق الأحمر، والنجوم المتغيِّرة النبّاضة التي يمكن رصدها في السماء.
- بيان طريقة رصد المستَعِرات الفائقة والنجوم النبَّاضة.
- تحرّي منشأ العناصر الكيميائية المختلفة، وأهمية المستعرات الفائقة للأجيال الجديدة من النجوم.
- إيراد دليلٍ رصديٍّ عن الثقوب السوداء.

1.5 دورة حياة النجوم

ليس ثمة نجمٌ يبقى مضيئاً إلى الأبد. والتطوُّر النَّجمي stellar evolution هو ما يطرأ على النجوم من تغيُّرات مع الزمن، وهذا ما يسمّى دورة حياة النجوم life cycle of stars. ويتعذَّر بالطبع رصدُ هذه التغيُّرات رصداً مباشراً لأنها لا تحدث بين عشية وضحاها، وإنما على مدى ملايين، بل مليارات السنين. ويعتمد علماءُ الفلك مبادئ نظريةً في التطوُّر النجميِّ تتَّفق وقوانينَ الفيزياء، ثم يتحقَّقون صحةَ هذه المبادئ عن طريق رصد نجومٍ حقيقية ساطعة في السماء.

لإجراء عملية التحقُّق هذه يستعين العلماءُ بمخطَّطات H-R، فيقدِّمون توقُّعات نظريّةً تتعلَّق بسلسلة تغيُّرات في ضيائية النجوم ودرجة حرارتها منذ ولادتها وحتى اندثارها. تُثْبَت هذه التغيُّرات على مخطط H-R، فتؤلِّف ما يسمى مسارات التطوُّر tracks of evolution النظرية. تقارَن مخطَّطاتُ H-R النظريةُ بعد ذلك بمخططاتِ H-R موضوعة استناداً إلى أرصاد مجموعات نجومٍ حقيقية (الفقرة 4.6).

إن التوقُّعات التي تقدِّمها نظريةُ التطوُّر النجميِّ الحديثةُ modern theory of stellar evolution، الواردة في هذا الفصل، تنسجم تماماً والمعطيات المتحصَّلة من أرصاد نجومٍ حقيقية.

ما هو التطوُّر النجميّ؟ .....

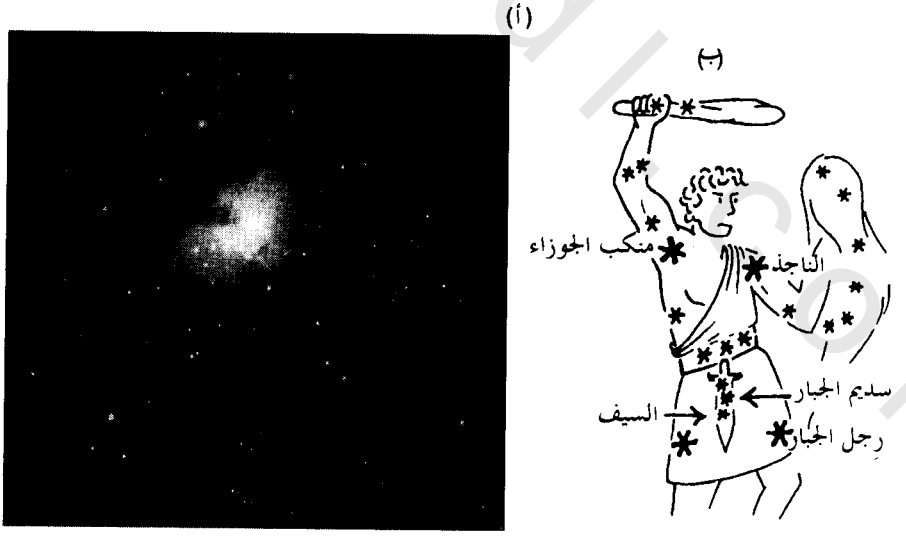
.....

الجواب: التغيُّرات التي تحدث في النجوم بمرور الزمان عليها، أي دورة حياة النجوم.

2.5 منشأ النجوم

تتكوّن النجومُ من مادة توجد في الفضاء. ويرى العلماءُ أن السُّحُبَ البَيْنَجميَّة interstellar clouds العملاقةَ من الغاز والغبار لا بدَّ من أن تكون هي موطن ولادة النجوم.

وبإمكانك أن ترى أقربَ سحابة في الفضاء حيث تتكوَّن الآن نجومٌ وليدة؛ فسديم الجبّار Orion Nebula المعروف، الواقع على بُعد نحو 1500 سنة ضوئية في كوكبة الجبّار هي منطقة تكوُّنٍ نجميٍّ كثيف (الشكل 1.5).



الشكل 1.5 سديم الجبّار (في كوكبة الجبّار).

obeikandl.com

ابحثْ عن سديم الجبّار في فصل الشتاء؛ إنه يقع في سيف الجبّار على خريطة السماء في الشتاء، ويبدو لعينك رقعةً ضبابيّة. فإذا نظرتَ إليه من خلال مقراب تراه متوهِّجاً بلون يميل إلى الخضرة، ذلك لأن الغازات تتوهَّج بفعل النجوم الحارّة الحديثة التكوُّن في المنطقة. وهذا السديم مرتبطٌ بسحابةٍ أكبر بكثير لكنها غير مرئية.

هل هناك نجومٌ جديدةٌ مازالت تولَد اليوم؟ أين؟ .....

.....

الجواب: نعم، في سُحُبٍ عملاقةٍ من الغاز والغبار، من قبيل سديم الجبّار.

3.5 ولادة نجم

نسمّي النجمَ في أولى مراحل تطوُّره نجماً أوَّلياً وليداً protostar. ويمكنك القول إنه نجمٌ يولَد الآن.

تتكوَّن النجومُ الوليدةُ اتّفاقاً على شكل كُتَلٍ عالية الكثافة داخل سُحُبٍ غازية (معظم تركيبها من الهيدروجين) وغباريّة توجد في فضاء الكون. ويرجَّح أن هذه العمليةَ تنطلق بفعل موجة صدمٍ shock wave صادرة عن نجمٍ منفجر (مسْتَعِر فائق).

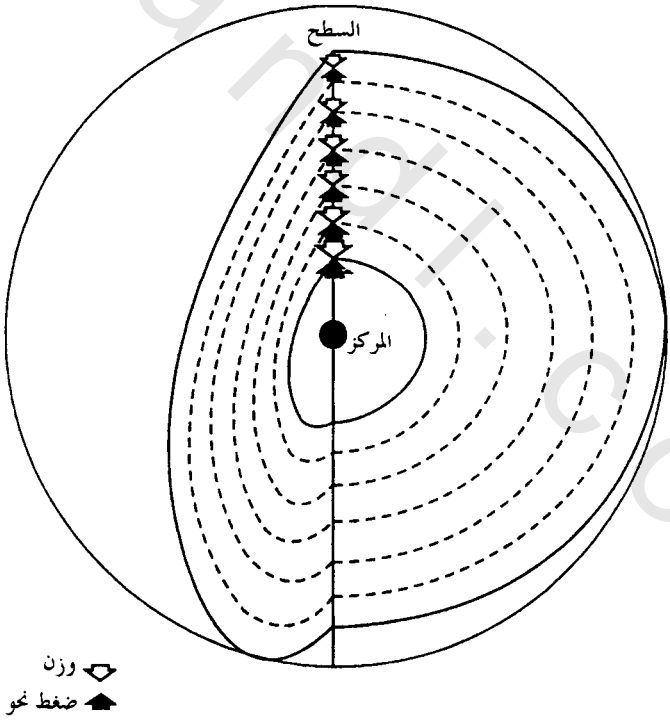
يتماسك النجمُ الوليد بتأثير قوة الثقالة، التي تَجذب المادةَ بادئ الأمر إلى الداخل باتجاه مركزِ كتلة كثيفة، فتسبِّب تقلُّصَها وتَزايُدَ كثافتِها أكثر فأكثر. تستمر المادة بالتنامي على النجم الوليد في أثناء تقلُّصه. ويُفضي التقلُّصُ التثاقلي للسحابة والنجم إلى ارتفاعٍ كبير في درجة الحرارة والضغط داخلهما.

تتدفَّق الحرارةُ من المركز الحارّ للنجم الوليد إلى سطحه الذي هو أقلّ حرارة، فيُطلقها النجمُ في الفضاء طاقةً تشعُّ عند الأطوال الموجيَّة تحت الحمراء.

وفي سحابةٍ دوّارة، قد يحيط بالنجم الوليد قرصٌ من الغبار والغاز يُطلِق هو بدوره الطاقةَ تحت الحمراء من جديد. ومن المحتمل أن جسيمات في القرص تتنامى لتكوِّن الكواكب (الشكل 2.12).

وعندما تبلغ درجةُ الحرارة في مركز النجم الوليد 10 ملايين كلفن تبدأ تفاعلاتُ اندماجٍ نوويٍّ تتحرَّر منها كمياتٌ ضخمةٌ من الطاقة، التي تتولَّد في المركز بالسرعة نفسها التي تتحرَّر بها إلى الفضاء، وهكذا تبقى درجةُ الحرارة الداخلية العالية جداً، وكذلك درجة الضغط الداخلي العالي مصونتين.

يتوازن ضغطُ الغازات الحارّة جداً نحو الخارج مع قوة الجذب الثقالي نحو الداخل (الشكل 2.5)، ويسمى هذا بالتوازن الهيدروستاتي (السكوني -



الشكل 2.5 ضغط الغاز نحو الخارج يوازن الثقالةَ عند كل مستوىً في النجم.

السائلي) hydrostatic equilibrium. يتوقف هذا النجمُ الأوَّليُّ عن التقلُّص، ويُرسل ضوءَه الذاتيَّ في الفضاء باطّراد ليصبح نجماً وليداً. وأغلب الظن أنَّ شمسنا قد وُلدت بهذه الطريقة منذ نحو 5 مليارات سنة خلت.

هذا وتؤيِّد الأرصادُ الحديثةُ نظريةَ ولادة النجوم هذه وتعضدها؛ فقد أمكن تصويرُ نجومٍ أوَّلية في اللُّبوب الكثيفة dense cores لسُحُبٍ غازيَّة عند الأطوال الموجيَّة تحت الحمراء. وكذلك رُصدت نفثاتٌ من الغاز تتدفَّق من نجومٍ فتيَّة. ولعلها تنتظم بفعل قرصٍ حول ـ نجميّ تنشأ عنه كواكب فيما بعد.

اذكرِ المراحلَ الثلاث الرئيسية لولادة نجم:

(1) .....

(2) .....

(3) .....

الجواب:

(1) التقلُّص التثاقلي ضمن سحابة غازٍ وغبار؛

(2) ارتفاع في درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي؛

(3) الاندماج النووي.

4.5 أعمار النجوم

إن السُّحُبَ التي تتكوَّن فيها النجومُ الوليدة لا تتماثل في كُتَلها أو توزُّع العناصر الكيميائية فيها. وتعتمد دورةُ حياة نجم ـ أي الزمن الذي يستغرقه النجم ليتطوَّر ـ على كتلته mass الأوَّلية وتركيبه الكيميائي chemical composition.

فالنجوم التي تبدأ حياتها بكُتَلٍ متقاربة وتركيبٍ كيميائي متشابه تمرُّ بمراحل تطوُّر واحدة في زمن متقارب.

ويلاحظ أن النجومَ المتماثلةَ التركيب الكيميائي ذاتَ الكتلة الكبيرة جداً هي أسرع النجوم تطوُّراً، في حين تستغرق نجومُ الكتلة المنخفضة جداً أطول زمنٍ كي تتطوَّر.

والشكل 3.5 يمثِّل مساراتِ التطوُّرِ النظريةَ على مخطط H-R. لاحظْ تغيُّر ضيائيةِ النجم الأوَّلي ودرجةِ حرارته وهو يتقلَّص ليصبح نجماً.

كم من الزمن على وجه التقريب يستغرق كلٌّ من النجوم الوليدة التالية ليبلغ عمره صفراً على التسلسل الرئيسي (أي ليولد)؟

(أ) نجومٌ كشمسنا .....؛

(ب) نجومٌ أكبر كتلةً من الشمس بكثير .....؛

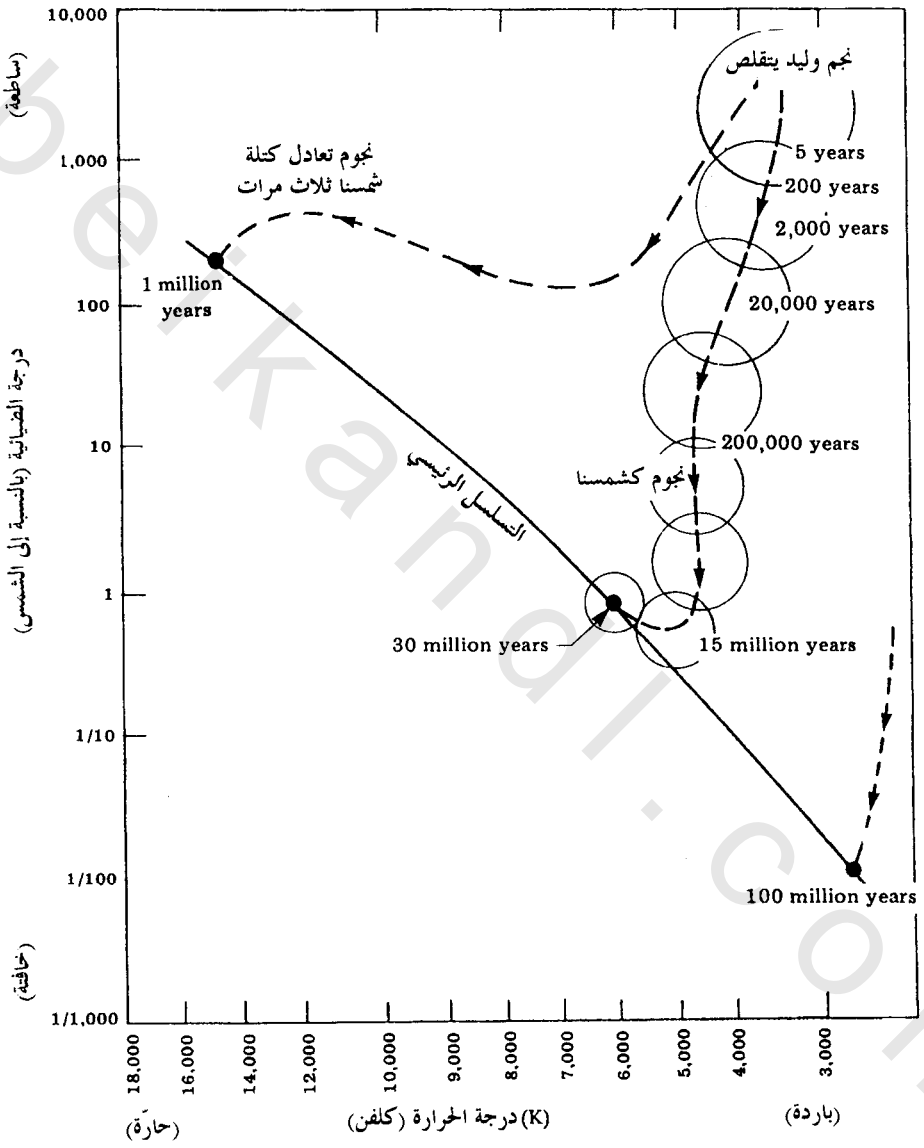
(ج) نجومٌ أصغر كتلةً من الشمس بكثير .....

الجواب: (أ) نحو 30 مليون سنة؛ (ب) نحو مليون سنة ؛ (ج) نحو 100 مليون سنة.

5.5 لماذا تضيء النجومُ

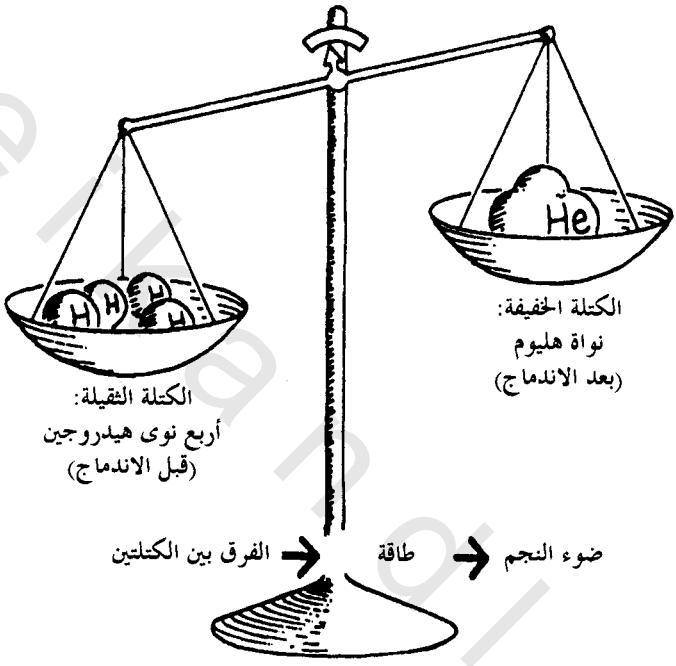
يمكنك عَدُّ نجوم التسلسل الرئيسي main sequence نجوماً تامةَ التطوُّر. وقد وُجد أن تطوُّر نجوم التسلسل الرئيسي بطيءٌ جداً مقارنةً بالتغيُّرات التي تطرأ على النجوم الوليدة. يَقضي النجمُ معظمَ دورةِ حياته وهو يضيء باطّراد، وتُدَوَّن قِيَم الضيائيةِ ودرجاتِ الحرارة على امتداد التسلسل الرئيسي لمخططات H-R.

يَستمدُّ نجمُ التسلسل الرئيسي طاقتَه من تفاعلات الاندماج النووي nuclear fusion reactions التي يتحوَّل فيها الهيدروجين في مركز النجم إلى



الشكل 3.5 المسارات النظرية للتطوُّر تُظهِر التغيُّراتِ الضيائيةَ والحراريةَ في نجومٍ وليدة متقلِّصة متفاوتة الكتلة. (زمن التقلُّص مدوَّن عند نقطة نهاية كلِّ مسار).

هليوم (الشكل 4.5)؛ إذ تندمج أربعُ نوى هيدروجين متحولة إلى نواة هليوم واحدة أخفّ وزناً، وتستحيل الكتلةُ المفقودةُ إلى طاقةٍ تتحرَّر. (هذه العملية نفسها تحرِّر طاقةً في القنابل الهيدروجينية).



الشكل 4.5 تجربة تخيُّلية تُظهِر لماذا تضيء النجوم. فلو كنتَ تستطيع وزن نوى الهيدروجين قبل الاندماج، ونواةِ الهليوم بعده، لتبيَّنتَ أن نواةَ الهليوم أخفُّ وزناً.

تصل الطاقةُ الناجمةُ عن تفاعلات الاندماج النووي في نهاية الأمر إلى سطح النجم، فيضيء النجمُ طاقةً في الفضاء.

ومن الممكن حسابُ كمية الطاقة المتحرِّرة من تفاعلِ اندماجٍ نووي، من العلاقة التالية المعروفة التي وضعها عالم الفيزياء الأمريكي (الألماني المولد) ألبرت أينشتاين Albert Einstein (1879 ـ 1955):

$$E = mc^2$$

حيث E = الطاقة، m = فرق الكتلة، c = سرعة الضوء

تقضي هذه المعادلة بأنه عند حدوث عدة تفاعلاتِ اندماجٍ نوويٍّ في وقت واحد، تتحرَّر كمياتٌ هائلةٌ من الطاقة. فالشمسُ كرةٌ عظيمةٌ من غازاتٍ بالغة الحرارة، تضيء إضاءةً ثابتةً مطَّردة، من غير أن يطرأ عليها تغيُّرٌ محسوس في حجمها أو في درجة حرارتها. ومعلوم أن ما يقدَّر بخمسة ملايين طن من الهيدروجين لا بدَّ من أن تتحوَّل فيها إلى هليوم كل ثانية لتوليد ضيائيَّتها، ومع ذلك فإن أقلَّ من 0,01 في المئة فقط من كتلة الشمس الإجمالية يتحوَّل إلى أشعة شمسية في غضون مليار سنة.

ما هو مصدرُ الطاقة الذي يحمل نجومَ التسلسل الرئيسي على الإضاءة؟

.....

الجواب: تفاعلات الاندماج النووي التي يتحوَّل فيها الهيدروجين إلى هليوم.

6.5 شيخوخة النجوم ✪

يستمر النجمُ بالإضاءة باطّرادٍ وثبات، بصفته نجمَ تسلسلٍ رئيسي، إلى أن يتحوَّل كاملُ الهيدروجين المتاح في لبِّه إلى هليوم. عندئذ يبدأ النجم بالاندثار.

والشمس نجمٌ متوسط الحجم، مضى عليه حتى اليوم مضيئاً مستقراً من نجوم التسلسل الرئيسي نحوٌ من 5 مليارات سنة، ويُنتظَر أن يستمر في إضاءته المطَّردة لخمسة مليارات سنة أخرى.

وأقصر النجوم عمراً وأسرعها اندثاراً النجومُ الساطعةُ الحارَّة ذات الكتلة الكبيرة جداً، ذلك لأنها أسرع في استنفاد هيدروجينها؛ فالنجومُ العملاقةُ الزُّرْق الكبيرة الكتلة (من مثل رِجل الجبّار Rigel في كوكبة الجبّار Orion) لا

تقضي أكثر من بضعة ملايين السنين مضيئةً في التسلسل الرئيسي.

أما أطول النجوم عُمراً فهي النجوم المعتمةُ الباردة ذات الكتلة الصغيرة جداً، لأنها أبطأ في استنفاد هيدروجينها؛ فالأقزام الحُمْر الصغيرة الكتلة هي أقدم النجوم عُمراً وأكثرها عدداً من بين نجوم التسلسل الرئيسي، إذ قد تصل أعمارها مليارات السنين.

ما أنواع النجوم التي يُتوقَّع لها أن تكون

(أ) أطول عمراً من غيرها؟ .....،

(ب) أقصر عمراً من غيرها؟ .....،

(ج) كم من الزمن على وجه التقريب يُتَوقَّع للشمس أن تستمر في سطوعها الحالي؟ .....

الجواب: (أ) نجوم الكتلة الصغيرة، كالأقزام الحُمْر؛ (ب) نجوم الكتلة الكبيرة جداً، كالعمالقة الزُّرْق؛ (ج) زهاء 5 مليارات سنة.

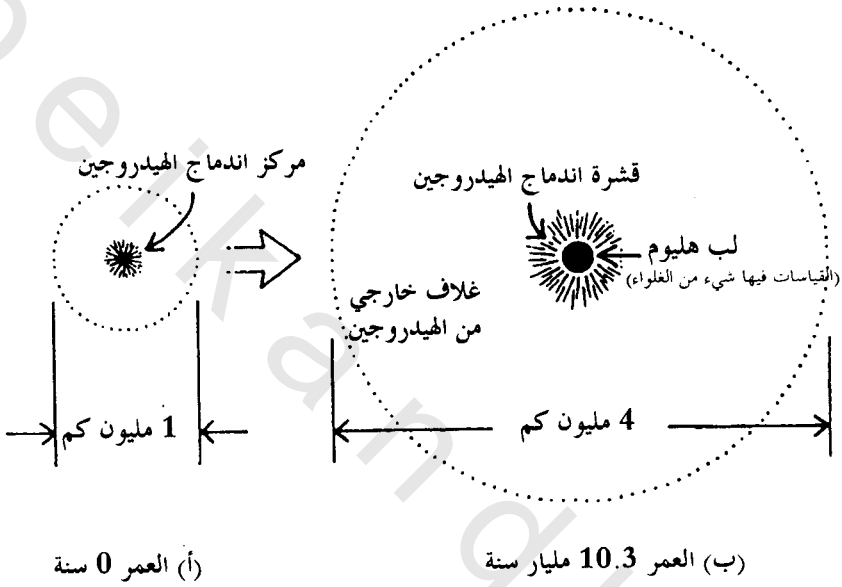
7.5 العمالقة الحُمْر

بعد استنفاد وقود الهيدروجين في لبّ النجم، عاد النجمُ الآنَ بدون مَصْدر للطاقة يغذّيه، فيبدأ لبُّه ـ الذي غدا مؤلّفاً من الهليوم في المقام الأول ـ بالتقلُّص ثقاليّاً. ويستمر اندماج الهيدروجين عند الحدِّ الفاصل بين اللبّ والغلاف الهيدروجيني الخارجي.

يؤدي التقلُّصُ الثقاليُّ إلى ارتفاع درجة حرارة اللبِّ الهليومي للنجم، ومن شأن الحرارة العالية أن تسرِّع عملية اندماج الهيدروجين، فتزداد ضيائيةُ النجم تبعاً لذلك.

وبفعل الطاقة الهائلة المتحرِّرة نتيجةً للاندماج الهيدروجينيِّ والتقلُّصِ التثاقلي، تتسخَّن الطبقاتُ المحيطة، ويؤدي هذا التسخين إلى تمدُّد النجم

تمدُّداً عملاقياً. وتكون الكثافة عندئذ منخفضةً جداً في كل مكان من النجم إلا في لبِّه (الشكل 5.5).



الشكل 5.5 رسم تمثيلي لنجم شبيهٍ بالشمس (أ) في بداية حياته على التسلسل الرئيسي، و(ب) عندما يَشِيخ متحوِّلاً إلى عملاقٍ أحمر.

وإذ يتمدَّد النجم، تهبط درجةُ حرارته السطحية، ويتغيَّر لونُ سطحه إلى الأحمر. وبذلك يكون قد تحوَّل إلى نجمٍ هَرِمٍ أحمرِ اللون هائلِ الجِرم وساطعِ الضوء نسمّيه عملاقاً أحمر red giant. صحيحٌ أنه بارد، إلا أنه ساطعٌ بسبب مساحة سطحه الرحيبة، وصارت له قِيَمُ الضيائية ودرجة الحرارة لمنطقة العمالقة الحُمر على مخطط H-R.

يمكنك رؤيةُ بعض النجوم فوق العملاقة تسطع في السماء، ومن الأمثلة الصالحة عليها منكبُ الجوزاء Betelgeuse من كوكبة الجبّار Orion،

وقلب العقرب Antares من كوكبة العقرب Scorpius، اللذان يبلغ قطرُ كلٍّ منهما قطرَ الشمس 400 مرة أو يزيد (انظر الجدولين 1.1 و 1.2).

ويُتَوقَّع لشمسنا ـ شأنَ سائر النجوم ـ أن تتحوَّل إلى عملاقٍ أحمرَ هائلٍ عندما يحين وقت اندثارها، وعندئذ ستضيء الشمسُ العملاقةُ الحمراء بسطوعٍ شديد تنصهر معه صخورُ الأرض وتتبخَّر محيطاتها وتنمحق الحياةُ على سطحها.

متى يبدأ نجمٌ بالتحوُّل من نجم تسلسلٍ رئيسيّ إلى عملاقٍ أحمر؟

.....

الجواب: عندما يتحوَّل كلُّ وقود الهيدروجين الموجود في لبّها إلى هليوم.

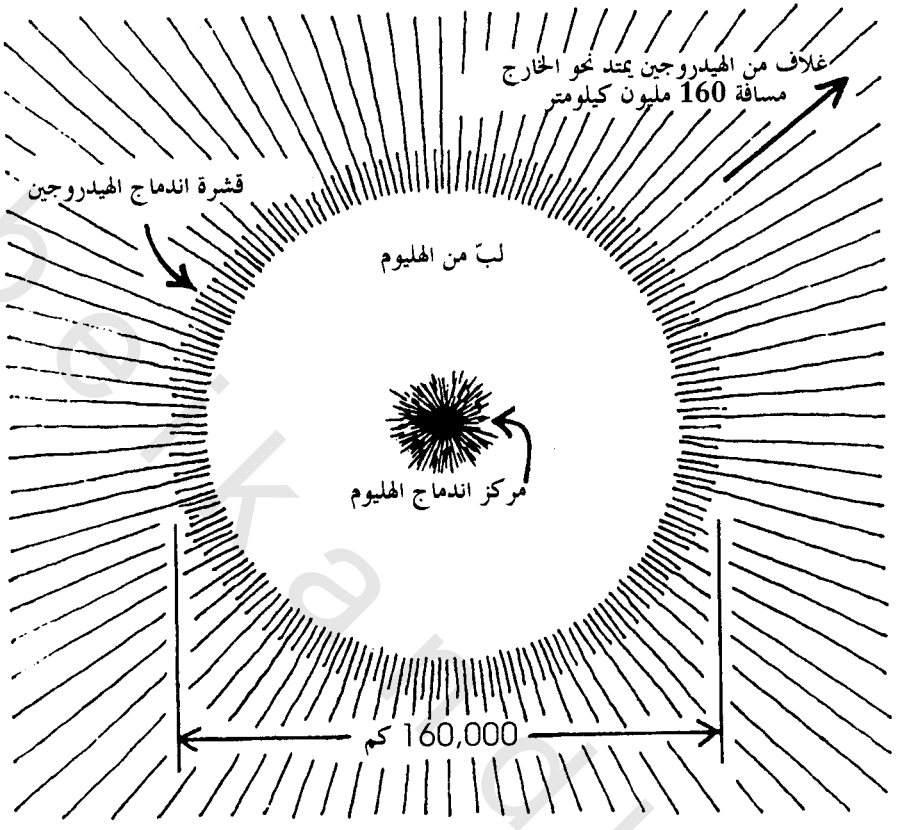
8.5 تخليق العناصر الثقيلة

يتسبَّب التقلُّص التثاقلي في ارتفاع درجة الحرارة داخل اللبّ الهليومي للعملاق الأحمر ارتفاعاً كبيراً يصل إلى 100 مليون كلفن. عند هذه الحرارة يتحوَّل الهليوم إلى كربون بحدوث تفاعلات اندماجٍ نووي (الشكل 6.5).

وحالما تبدأ عمليةُ اندماج الهليوم يتوقف اللبُّ عن التمدُّد تمدُّداً كبيراً. تتنامى درجة الحرارة بسرعة دون حصول تمدُّد يساعد في التبريد وحفظ التوازن، فتندمج نوى الهليوم بصورة أسرع فأسرع، ويصبح اللبُّ أشدَّ حرارة. يسمّى هذا الاشتعالُ الانفجاريُّ لاندماجِ الهليوم ومضةَ الهليوم helium flash.

بمرور بعض الوقت، ترتفع درجةُ الحرارة ارتفاعاً يكفي لتمديد اللُّب. وفي حين يحدث التبريدُ في الداخل، يستمر اندماجُ الهليوم بمعدّل سرعةٍ ثابت، محاطاً بقشرة اندماج الهيدروجين hydrogen-fusing shell.

وفي باطن أكبر العمالقة الحُمْر كتلةً، قد يؤدي حدوثُ مزيدٍ من



الشكل 6.5 بنية نجمِ عملاقٍ أحمر.

تفاعلات الاندماج إلى توليد عناصر مألوفة أثقل من الكربون، مثل الأكسجين والألمنيوم والكالسيوم (الملحق 4).

يعتقد علماءُ الفلك أن عناصر كالكربون والأكسجين، التي نحتاج إليها لحياتنا، تتكوَّن (أين)؟ .....

الجواب: في باطن النجوم العمالقة الحُمر.

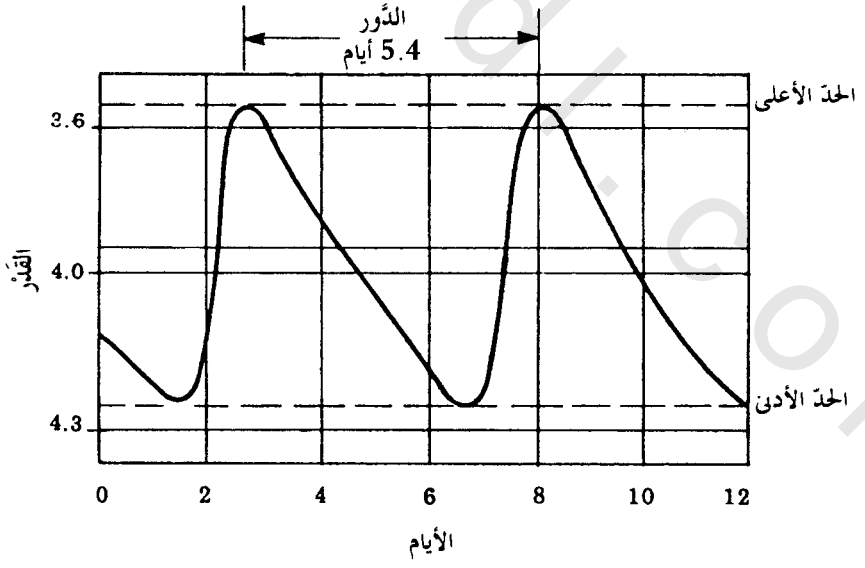
9.5 النجوم المتغيِّرة

يترجَّح للفلكيين أن النجوم ـ قبل أن تدخل المراحلَ الأخيرةَ من دورة

حياتها ـ تتحرك إقبالاً وإدباراً بين منطقة العمالقة الحُمر والتسلسل الرئيسي عدة مرات، حركةً لم يدركوا كنهها حتى اليوم إدراكاً تاماً.

وأغلب الظن أن معظم النجوم تتحوَّل من عمالقةٍ حُمر إلى نجوم متغيِّرةٍ نبّاضة pulsating variable stars قبل أن تبيد؛ بمعنى أنها تتمدَّد وتتقلَّص وتسطع وتخبو دورياً.

وهناك المتغيِّرات القيفاوية cepheid variables، وهي نجومٌ صفراء كبيرةٌ جداً ومضيئة يتفاوت خَرْج ضوئها في الأدوار الواقعة بين يومٍ واحد و 70 يوماً. فبإمكانك رصدُ المتغيِّر القيفاوي دلتا قيفاوس Delta Cephei، وهو أول ما اكتُشف من هذه المتغيرات، اشتُقَّ منه اسمُ هذا الصنف منها (الشكل 7.5). وتَبرز أهميةُ القيفاويات في أنها توفِّر طريقةً لقياس المسافات البعيدة التي يتعذَّر قياسها بطريقة اختلاف المنظر المثلَّثي trigonometric parallax.



الشكل 7.5 منحنى الضوء، يُظهِر تغيُّرَ خَرْج الضوء للمتغيِّر القيفاوي الأوَّلي دلتا قيفاوس.

تجدر الإشارة إلى أنه قد عُرِفَ أكثر من 700 متغيِّرٍ قيفاويٍّ في مجرَّتنا دربِ التبّانة، وأنَّ نجمَ القطب Polaris هو أقربها إلينا، وتتغيَّر درجةُ سطوعه بين القَدْرَيْن 2.5 و 2.6 كلَّ نحو أربعة أيام.

اكتَشَفتْ عالمةُ الفلك الأمريكية هنرييتا ليفيت Henrietta Leavitt (1868 ـ 1921) علاقةً تقضي بتزايد ضيائية القيفاويات مع تزايد طول دَوْر التغيُّر في ضوئها؛ أي أن لأكثر النجوم ضيائيةً أدواراً نبضيَّةً أطول. تسمى هذه العلاقةُ علاقةَ الدَّور بالضيائية period-luminosity relation، يرجع إليها الفلكيون في تحديد القَدْر المطلَق للقيفاويات بعد قياس أدوارها.

إن مقارنةَ القدر المطلق المحسوب بالقدر الظاهري المرصود يعطي بُعدَ القيفاويات، إضافةً إلى المجموعات النجمية التي تنتمي إليها (الفقرة 16.3). كذلك تعدُّ القيفاويات ذات فائدة باعتبارها معالم مسافات distance markers حتى مسافة 3 ميغا فرسخ فلكي تقريباً (10 ملايين سنة ضوئية).

وهناك أيضاً متغيِّرات الشلياق RR (RR Lyrae variables)، المسماة نسبةً إلى النجم المتغيِّر RR في كوكبة الشلياق Lyra، وهي عمالقةٌ نبّاضة بيض مزرقّة يتغيَّر خرجُ ضوئها من أعلى درجات السطوع إلى أدنى درجات العتامة في أدوارٍ لا تتجاوز يوماً واحداً. وقد عُرِف من متغيرات الشلياق هذه في مجرّة درب التبانة نحو 4500 نجم، ويستعان بها في قياس المسافات إلى الحشود النجمية التي تنتمي إليها، حتى مسافة 200،000 فرسخ فلكي (600،000 سنة ضوئية) تقريباً.

أما متغيِّرات أعجوبة قَيْطس الطويلة الدَّور long-period Mira variables، المسماة نسبةً إلى النجم مايرا (أي الأعجوبة) المعروف في كوكبة قيطس، فهي عمالقةٌ حُمْر تستغرق بين 80 و 1000 يوم لتتغيَّر بين سطوع أعظمي وخفوتٍ أدنى. والنجم مايرا نفسُه ـ الذي يبعد قرابة 40 فرسخاً فلكياً (130 سنة ضوئية) ـ يتغيَّر من أعلى درجات سطوعه الأحمر إلى خَرْجه الأدنى في

غضون 332 يوماً، فيصبح عندئذٍ غير مرئي. ولعلَّ من الطريف أن التسمية اللاتينية «مايرا» Mira بمعنى «الأعجوبة» قد أطلقها عليه الراصدون الفلكيون في القرن السابع عشر، تعبيراً عن عجبهم وإعجابهم به، وكانوا هم أوَّلَ مَنْ دوَّنَ تراوحات سطوعه.

ما الصفتان اللتان تتغيران دوريّاً في نجمٍ متغيِّرٍ نبّاض؟

(1) ..... ؛ (2) ..... .

الجواب: (1) الحجم؛ (2) الضيائية.

10.5 اندثار النجوم

تتطوَّر النجومُ كلُّها على منوالٍ واحد تقريباً، إلى أن تغدو لبوبُها ركاماً من الكربون أو تكاد، على أن ذلك يحدث على آمادٍ زمنيةٍ مختلفة (الشكل 8.5). وتتوقَّف المرحلةُ الأخيرةُ من تطوُّر نجم ـ أو الطريقةُ التي تنتهي بها حياته ـ على كتلته إلى حدٍّ بعيد.

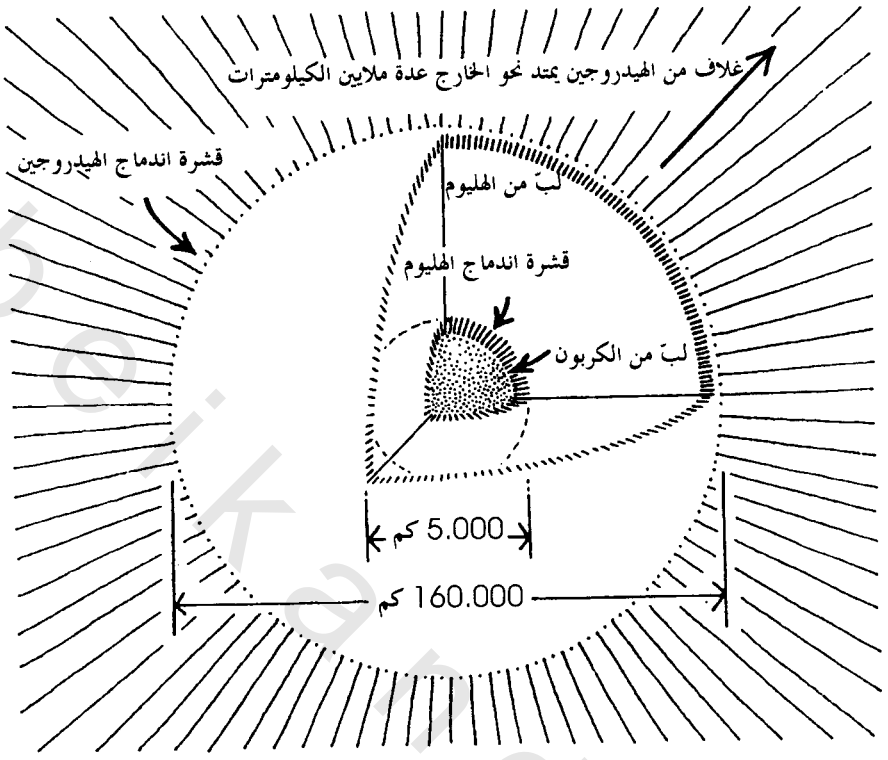
فالنجوم الصغيرة، التي قد تصل كتلتها 1,4 مرة كتلةَ الشمس، تندثر في نهاية الأمر بهدوء، فلا أكثر من أن تذوي وتضمحلّ في لُجِّ ظلمة الفضاء الكوني. أما النجوم الكبيرة الكتلة فتندثر بانفجارٍ عنيف يُطلِق ضوءاً باهراً يَذهب بالأبصار قبل أن تلفظ أنفاسها.

ما الصفة التي تحدِّد طريقةَ اندثار نجمٍ عند انتهاء دورة حياته؟ .....

الجواب: كتلته.

11.5 فقدان الكتلة

ما إن يَستنْزِف نجمٌ ذو كتلةٍ ـ كالشمس ـ كلَّ وقود الهليوم المتاح لَه، حتى يمسي نجماً عملاقاً أحمر منتفخاً للمرة الأخيرة. (تتضخَّم الشمسُ في



الشكل 8.5 بنية نجمٍ ذي لبٍّ داخليٍّ يتزايد فيه الكربون باطّراد.

هذه المرحلة من حياتها تضخُّماً مفرطاً، فتَبتلع كواكبَ: عطارد والزهرة والأرض والمرّيخ).

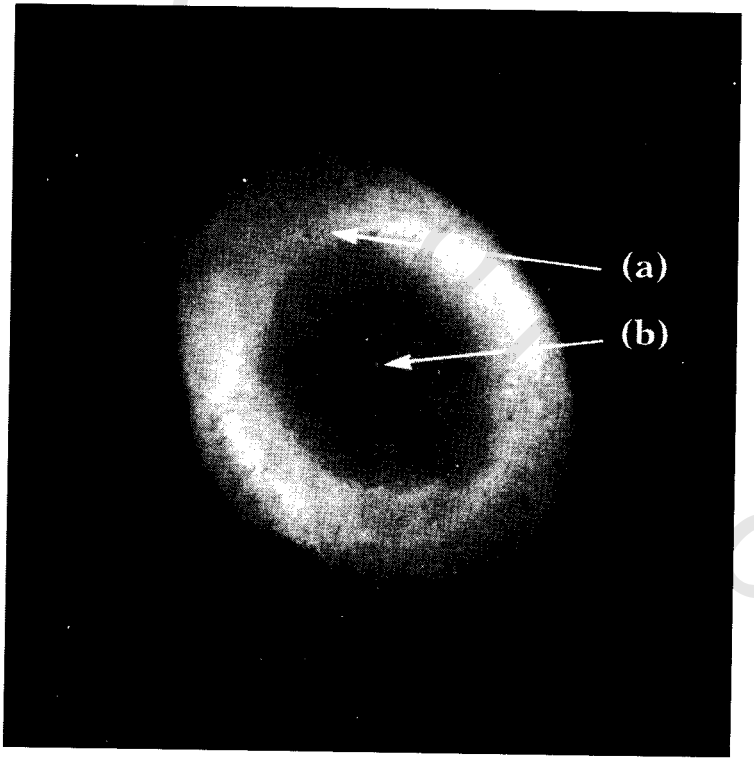
يطرح النجمُ بعد ذلك شيئاً من كتلته، فينفلت غلافُه الهيدروجينيُّ الخارجي في فضاء الكون وقد أغْنَتْه العناصرُ الثقيلة. تنساب الجسيماتُ المشحونةُ كهربائياً على صورة دفقٍ يسمى الريح النجميَّة stellar wind. (تقدَّمتْ لك دراسةُ الريح الشمسية في الفقرة 14.4). ثم تنطرح الطبقاتُ التي هي أعمق ضمن قشرة غازية هشَّة ومتمدِّدة يبلغ قطرها عادةً زهاء 0,5 – 1 سنة ضوئية، تسمّى سديماً كوكبيّاً planetary nebula يستمر في الاتِّساع بسرعة تقارب 20 ـ 30 كيلومتر/ثانية (45,000 – 67,000 ميل/ساعة). حتى إذا تمَّ ذلك، لم يبقَ من النجم إلا لبّه.

وقد رُصد بالفعل قرابة 1600 سديم كوكبيّ يُعتقَد على الأرجح أن أعمارها أقلّ من 50،000 سنة؛ آيةُ ذلكَ سرعةُ انفصال ذرّات الغاز في السديم. وبعد مرور نحو 100،000 سنة تكون القشرةُ قد أمعنت في الاتّساع إلى حدٍّ بعيد جداً تختفي معه عن النظر.

انظرْ في الشكل 9.5، وحدِّد لبَّ النجم والسَّديمَ الكوكبيَّ على الصورة.

(أ) ..... ؛ (ب) .....

الجواب: (أ) السديم الكوكبي؛ (ب) لبّ النجم.



الشكل 9.5 السَّديم الحَلْقي المعروف في كوكبة الشلياق: سديمٌ كوكبيٌ ولبٌّ نجميّ.

12.5 الأقزام البِيْض

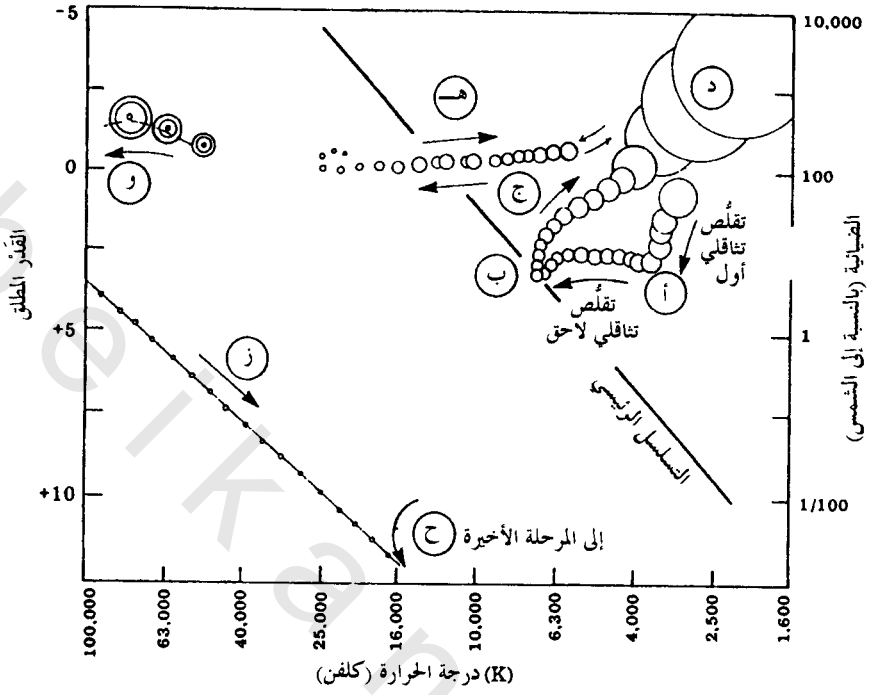
أَمَا وقد نَزَعَ النجمُ عنه غلافَه الغازيَّ، فإنه يبقى لبّاً من الكربون تكتنفه قشرةٌ من الهليوم الملتهب.

إن النجمَ الذي استَهلك كاملَ وقوده النووي عاد الآن غيرَ قادرٍ على الصّمود أمام قوة جذب الثقالة، فينكمش من جديد في الوقت الذي تجذب الثقالةُ المادةَ باتجاه المركز. هذا التقلُّص التثاقلي يُحدِث ارتفاعاً كبيراً في درجة الحرارة والضغط، وتُنْتَزَع الإلكترونات من الذرّات، فيؤول النجمُ إلى قزمٍ أبيض white dwarf صغيرٍ وحارٍّ يتألف في معظمه من إلكترونات ونوى. يمكن ضغط هذه الجسيمات دون الذرّية بعضها إلى بعض على نحوٍ أكثر إحكاماً مما هو ممكنٌ في حالة ذرات كاملة.

أخيراً، وعندما يصير النجمُ القزمُ الأبيضُ مقارباً لحجم الأرض، يتعذَّر تقلُّصه أكثر من ذلك. وتتميَّز الأقزامُ البِيْض المقارِبة للشمس كتلةً بارتفاع كثافتها، لأن كامل تلك الكتلة يحتشد ـ بفعل قوة الثقالة ـ مرتصّاً ضمن حيِّز نجم بحجم الأرض. وقد وُجد أن قوةَ الثقالة على نجم قزم أبيضَ كهذا قد تكون أكبر 350،000 مرة منها على الأرض، فلو تسنّى لكَ ـ على سبيل الافتراض ـ الوقوفُ عليه لكان وزنُك هناك أكبر 350،000 مرة من وزنك على الأرض.

وقد يتولَّد في هذه المرحلة أحياناً ما يسمى بـ المستعر nova، وهو نجمٌ ساطعٌ ملتهب. فإذا كان القزمُ الأبيضُ منتمياً إلى منظومةٍ ثنائية، فلربما سقطتِ المادةُ من نجمه الرفيق عليه، فأذكت ذلك اللهبَ الساطع القصيرَ الأمد.

يتبرَّد النجمُ القزمُ الأبيضُ تدريجياً، ويتغيَّر لونُه إلى الأحمر الكامد، مطلقاً آخر زفرات طاقته في الفضاء، ليتحوَّل من ثَمَّ إلى قزمٍ أسود black dwarf بائد في مقبرة الفضاء.



الشكل 10.5 مراحل حياة نجمٍ كالشمس.

ما هو القزمُ الأبيض؟ .....

.....

.....

الجواب: نجمٌ صغيرٌ كثيفٌ (محتَضَر) ذو ضيائيةٍ منخفضة ودرجةِ حرارةٍ سطحيةٍ عالية، حجمه يقارب في العادة حجم الأرض، إلا أن كتلته تعادل كتلة الشمس.

13.5 دورة حياة نجومٍ كالشمس

حدِّد مراحل حياة نجمٍ شبيهٍ بشمسنا، وفقاً للتتابع الموسوم بحروفٍ

في الشكل 10.5.

(أ) .....؛

(ب) .....؛

(ج) .....؛

(د) .....؛

(هـ) .....؛

(و) .....؛

(ز) .....؛

(ح) .....

اشرح إجابتك.

الجواب:

(أ) نجمٌ أوَّلي وليد، تقلُّص ثقالي لسحابةٍ من الغاز الغبار؛

(ب) نجمٌ مستقرّ في التسلسل الرئيسي، يضيء بفعل الاندماج النووي (محوِّلاً الهيدروجين إلى هليوم)؛

(ج) تطوُّر إلى عملاقٍ أحمر عند تكوُّن لبّ الهليوم؛

(د) عملاقٌ أحمر، يضيء بفعل اندماج الهليوم؛

(هـ) نجمٌ متغيِّر، تكوُّن اللبّ الكربوني؛

(و) سديمٌ كوكبيّ، غلافٌ هيدروجيني غنيٌّ يُقذَف في الفضاء؛

(ز) قزمٌ أبيض، تُحشَد كامل الكتلة في نجمٍ بحجم الأرض تقريباً؛

(ح) قزمٌ أسود بائدٌ في الفضاء الكوني.

obeikandl.com

14.5 النجوم المنفجرة

تندثر النجومُ الكبيرة الكتلة، التي تتجاوز كتلتُها كتلةَ الشمس ثماني مرات على الأقل، اندثاراً مثيراً حقاً يفوق في روعته مشهدَ اندثار نجوم كالشمس. والمستَعِرُ الفائق supernova ما هو إلا انفجارٌ نجميٌّ ماحق [يؤذن بنهاية تطوُّر نجم].

يتقلَّص اللبُّ الكربوني لنجم كبير الكتلة بتأثير قوة الثقالة، بالطريقة نفسها التي يتقلَّص بها اللبُّ الكربوني لنجم أصغر كتلةً، سوى أنَّ درجةَ حرارة اللُّب في الحالة الأولى تواصل ارتفاعَها باطِّرادٍ إلى أن تبلغ 600 مليون كلفن، يبدأ اللبُّ الكربوني عندها بالانصهار. تتوقَّف عمليةُ الارتصاص[1] collapse بتحوُّل الكربون إلى مغنِزيوم في تفاعلات اندماجٍ نووي.

وعند استنفاد الكربون تبدأ دورةٌ جديدة: تقلُّصٌ تثاقليّ، وارتفاعٌ في درجة الحرارة، واستهلالُ تفاعلاتٍ نووية جديدة، وإنتاجُ عناصر جديدة، ثم توقُّفٌ في عملية الارتصاص. وتتولَّد عناصر أثقل من الكربون مثل الآزوت والسليكون داخل النجم إلى أن يصير اللبُّ في معظمه حديداً.

يضع الحديدُ نهايةً لهذه الدورات من التفاعلات النووية والارتصاص، ذلك لأنه لا يطلِق طاقةً في التفاعلات النووية، بل إنه يتطلَّبها. يرتصّ النجمُ الآيل إلى الاندثار آخرَ مرّة، إلى درجةٍ يصبح من المتعذِّر معها ضغطه أكثر من ذلك، فينفجر انفجاراً عنيفاً جداً، بحيث قد يتجاوز الضوءُ الصادرُ عن المستعر الفائق ضيائيةَ الشمس 100 مليار مرة، بل ربما فاق سطوعُ المستعر الفائق سطوعَ مجرَّته كلِّها لبرهةٍ قصيرة.

ويعتقد الفلكيون أن معظم الطاقة المحرَّرة من الانفجار غير مرئية، فينتقل جزءٌ كبيرٌ منها بسرعة الضوء عن طريق الإشعاع العالي الطاقة

(1) ارتصَّت الأشياءُ: انضمّ بعضُها إلى بعض [المعجم الوسيط] (المعرِّب)

والنيوترينوات الناشئة عن اللُّب المتداعي. تحمل هذه الطاقةُ دلالاتٍ عن مسبِّبات الانفجارات النجميَّة، وعن أنواع ومقادير العناصر الكيميائية التي تكوِّنها المستعراتُ الفائقة وتبثُّها في الفضاء.

ظهر المستعرُ الفائق 1987A، وهو أول مستعرٍ فائقٍ ساطعٍ يُرصد في السماء منذ اختراع المقراب، في سحابة ماجلان الكبرى Large Magellanic Cloud سنة 1987. وكان مرئياً من نصف الكرة الجنوبي لعدة شهور، وهو أفضل ما رُصد من مستعراتٍ فائقة حتى اليوم (الشكل 11.5). وقد كُشِفَ عن وجود نيوترينوات، تماماً كما توقَّعت الدراساتُ النظرية. ويرى العلماءُ أن درجةَ حرارة اللُّب عند الانفجار قد وصلت بالتأكيد إلى 200 مليار كلفن! وهم يستفيدون من المعطيات المتاحة عن المستعر الفائق 1987A في تطوير نظريات اندثار النجوم، واختبار صحَّتها.

ما نوع النجوم التي تندثر مستعراتٍ فائقةً؟ .....

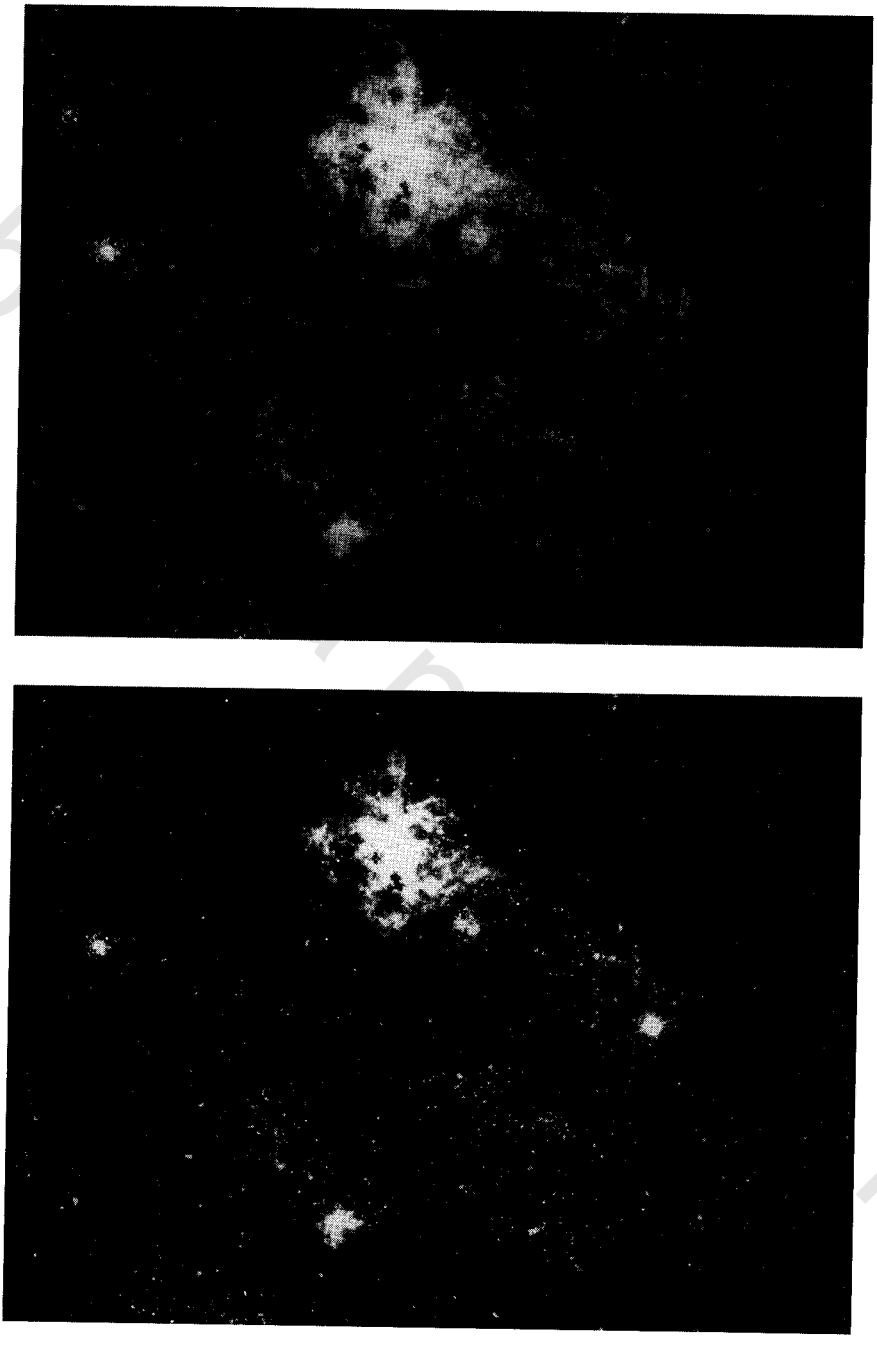
الجواب: النجوم المفرطة الكتلة (التي تفوق كتلتُها كتلةَ الشمس ثماني مراتٍ أو أكثر).

15.5 مخلَّفات المستعرات الفائقة

يمكننا أن نزعم أننا ـ نحن البشر ـ قد جُبِلْنا من غبارٍ نجميّ.

وربما كان الهيدروجين والهليوم هما العنصرين الوحيدين في الكون لدى نشوئه، في حين تتكوَّن العناصرُ الأخرى من مثل الكربون والأكسجين والآزوت (الضرورية للحياة) داخلَ اللُّبوب الناريّة الملتهبة للنجوم الهرِمة. أما أثقل العناصر كلِّها، كالذهب والرصاص، فتتولَّد في درجات الحرارة العالية جداً والدَّفقِ النتروني الكثيف لانفجار مستعرٍ فائق.

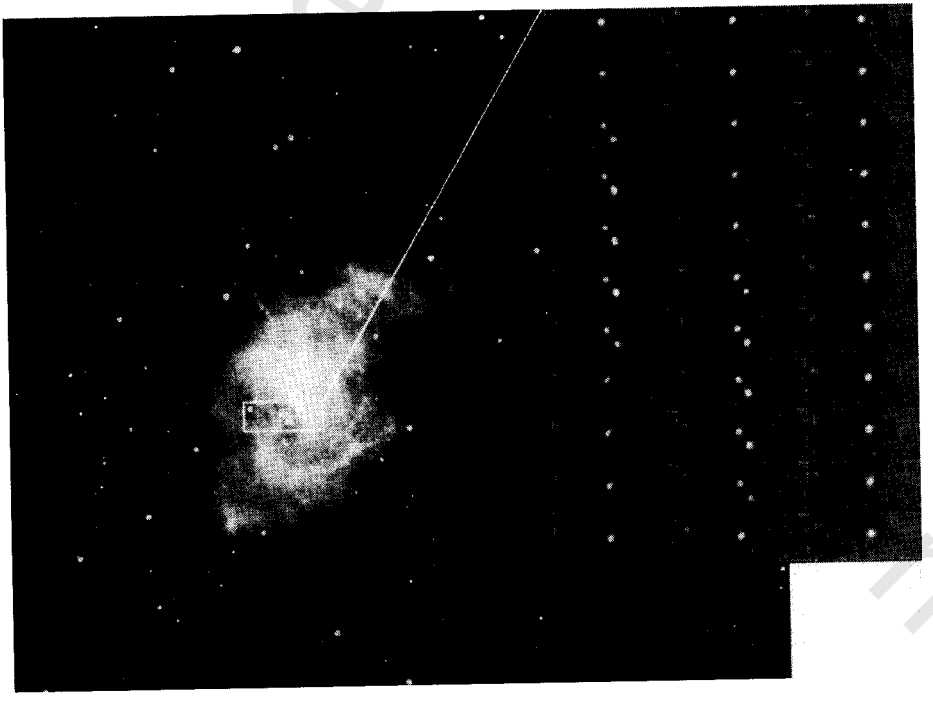
يَنشر انفجارُ المستعرِ الفائق كلَّ هذه العناصر الجديدة في الفضاء



الشكل 11.5 المستعر الفائق 1987A (الصورة العليا) كما ظهر سنة 1969 قبل انفجاره، ثم (الصورة السفلى) بعد أسبوعٍ من انفجاره في شهر شباط (فبراير) سنة 1987.

الخارجي، فتمتزج بالهيدروجين والهليوم والغبار هناك. وتغدو المادةُ المتبعثرة في الفضاء بفعل انفجار نجوم كبيرة الكتلة مهيَّأةً من جديد للإسهام في تكوين نجوم جديدة وكواكب جديدة. إن الشمسَ والأرض قد تكوَّنتا منذ خمسة مليارات سنة من سحابة هيدروجين وهليوم تعزَّزت بهذه الطريقة.

في سنة 1054 أعلن راصدون صينيّون وأمريكيون أصليّون أنهم رأوا نجماً جديداً ساطعاً يتألق في السماء حتى في وضح النهار. إنها سديم السرطان Carb Nebula في كوكبة الثور Taurus، وهي سحابةٌ غازيةٌ تتمدَّد بمعدَّل 1600 كيلومتر (1000 ميل) في الثانية، وتشاهَد اليومَ في موقع ذلك المستعر الفائق، بقطرٍ يبلغ نحواً من 3 فراسخ فلكية (10 سنوات ضوئية)، علماً بأن اللبَّ المتخلِّف عن النجم المنفجر مازال في المركز (الشكل 12.5).



الشكل 12.5 سديم السرطان في كوكبة الثور، ويلاحَظ أن لُبَّ سَلَفِه النجم المنفجر مازال يومض عند المركز. المنطقة المكبَّرة هي مجموعةٌ مؤلَّفةٌ من 33 شريحة ميلي ثانية في دَوْر نبّاض السرطان.

أيُّ العناصر تعتقد أنها أكثر توفُّراً في الكون: أهي العناصر التي هي أخفّ من الحديد أم التي هي أثقل منه؟ ولماذا؟ .....

.....

.....

.....

.....

الجواب: العناصر التي هي أخفّ. لأن هذه العناصر متاحٌ لها زمنٌ أطول بكثير لكي تتكوَّن؛ فهي تنشأ من هيدروجين بدائي على مدى زمنٍ طويل داخل لُبُوب نجوم كبيرةِ الكتلة، في حين تتولَّد العناصرُ التي هي أثقل من الحديد خلال مدَّةٍ وجيزة، حينما ينفجر النجمُ (مستعراً فائقاً) في نهاية دورة حياته.

16.5 النجوم الفائقة الكثافة

عند انفجار نجم كبير الكتلة، قد يخلِّف نجماً أكبر كتلةً من الشمس، منضغطاً ومرصوصاً على شكل كرةٍ لا يتجاوز قطرُها 16 كيلومتراً (10 أميال). يتألف هذا النجمُ المفرط الكثافة بالدرجة الأولى من نترونات neutrons، أي من جسيماتٍ ذرّيةٍ غير مشحونة. لذلك سُمِّي نجماً نترونياً neutron star عندما افتُرِضَ وجودُه أوَّلَ مرة.

وتمكَّنت جوسلين بِلْ Jocelyn Bell (وهي طالبة دراساتٍ عليا في جامعة كامبريدج بإنكلترا) سنة 1967 من رصد نوعٍ نابضٍ من النجوم الراديوية أُطلق عليه اسم النجوم النبّاضة أو النبّاضات pulsars[1]، تُطْلِق دفقاتٍ نَشِطةً من

(1) من الكلمتين (pulsating = نبّاض) و (star = نجم). (المعرّب)

الأمواج الراديوية إلى الأرض بإيقاعٍ منتظم شبيهٍ بإيقاع الساعة الميقاتية، بفواصل زمنيةٍ تقع بين الميلي ثانيةً وأربع ثوان. وقد رُصِد مئات من هذه الأجرام الغريبة حتى الآن (الشكل 13.5).

الشكل 13.5 النجم النبّاض أو النجم النتروني أصغر حجماً من أن يُرى. وما يرصده الفلكيون هو نبضاتٌ منتظمة من حُزَم إشعاعٍ تنبثق من القطبين المغنطيسيّين للنجم الدوّار لدى اقترابهما من الأرض.

تنبَّأت الدراساتُ النظريةُ بوجود نجمٍ نترونيٍّ في مركز سديم السرطان، علماً بأن نجماً نبّاضاً عُثر عليه هناك سنة 1968 (الشكل 12.5). ومنذئذٍ ونبّاض السرطان Carb Pulsar يُرصَد على أطوال الأمواج الكهرطيسية كافةً: من الراديويّة إلى الغاميّة.

ويبدو النجمُ النبّاضُ نجماً نترونياً سريعَ الدوران، عالي المغنطيسيّة. وتنشأ نبضاتُه القصيرةُ والمنتظمة المميَّزة من حُزَم إشعاع تَصْدر عن جسيماتٍ مشحونةٍ متسارعة وعالية النشاط تمرّ قريباً من الأرض مع دَوَمان النجم بصورةٍ دورية. يُبطئ الدورانُ ومعدّلاتُ النبض تدريجياً مع انطلاق الطاقة.

ومن المهم أن نعلم أن النجمَ النبّاض أو النتروني هو أكثف جِرمٍ سماويٍّ رُصد حتى اليوم.

ماذا تقول في قوّة الثقالة على سطح نجمٍ نبّاض، مقارنةً بها على الأرض؟

.....

.....

الجواب: إنها أكبر بكثير على النجم النبّاض. تكون قوةُ الثقالة أقوى كلما كانت المادةُ مرتصَّةً، والنبّاضُ كثيفاً.

17.5 الثقوب السوداء

قد يستمر نجمٌ كبير الكتلة بالارتصاص بعد بلوغه مرحلة النجم النبّاض، فيصبح آنئذٍ جِرماً ناشزاً غريباً يسمّى الثقب الأسود black hole (الشكل 14.5).

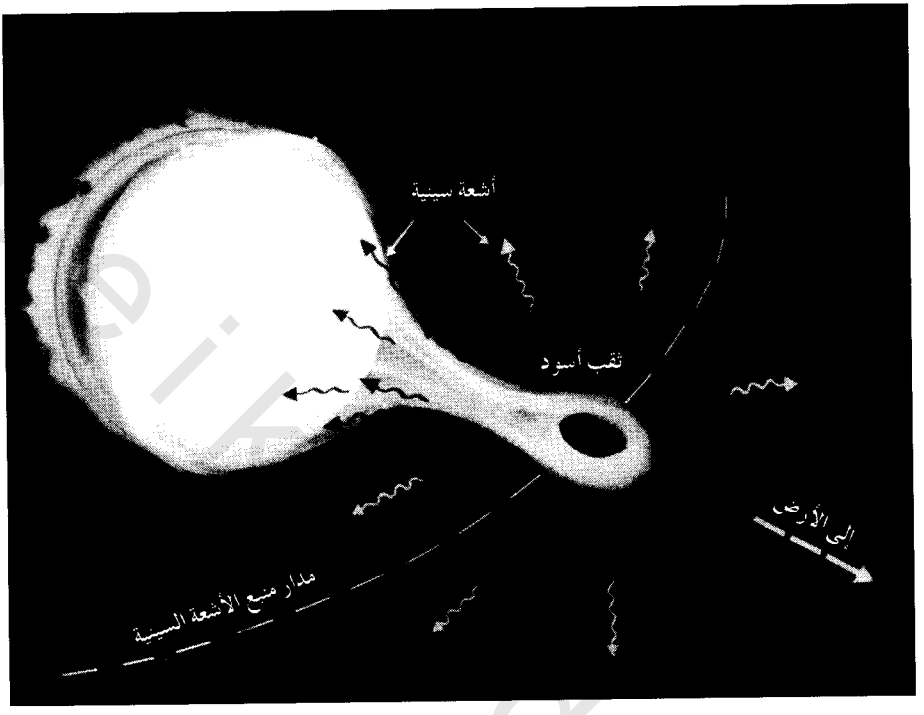
والثقوبُ السوداء ـ إن وُجدت فعلاً ـ ليست ثقوباً على الإطلاق، بل نقيضَ ذلك: إنها كتلةٌ كبيرةٌ انكمشت إلى حجمٍ صغيرٍ جداً وكثافة عالية جداً. وطبقاً لنظرية أينشتاين النسبيّة، فإن قوةَ الثقالة في جِرمٍ كهذا كبيرةٌ جداً بحيث إنه قد يجتذب إليه كلَّ ما جاوره من مادّةٍ وضوء.

على أن الثقب الأسود لا يمكن أن يُرى أبداً، لأن قوة جذبه التثاقلي تجعل من المتعذِّر تماماً انفلاتَ أي ضوءٍ أو مادّةٍ أو إشارة مهما كان نوعها. ومن هنا اسمه. يُطلَق على سطح الثقب الأسود، أو على الحدِّ الذي لا يمكن لأي ضوءٍ التسرُّب من خلاله، اسم أُفُق الحدَث event horizon.

يُعرَف نصف قطر الثقب الأسود اليوم بشعاع شڤارتزشيلد[1] Schwarzschild radius (Rs)، وهو نصفُ القطر الحَرِج الذي يتحوَّل عنده جِرمٌ

(1) نسبةً إلى عالِم الفيزياء الفلكية الألماني كارل شڤارتزشيلد. (المعرِّب)

obeikandl.com



الشكل 14.5 ثقبٌ أسود كما تَصوَّره فنان.

كبيرٌ متناظرٌ كرويّاً إلى ثقبٍ أسود، وفقاً للمعادلة:

$$R_S = 2GM/c^2$$

حيث G هو ثابت التثاقل، M كتلة الجِرم، c سرعة الضوء (الملحق 2).

ويُذكر أن شعاع شڤارتزشيلد للشمس يبلغ زهاء 3 كيلومترات (2 ميلان). وللأرض نحو 1 سنتيمتر (0,4 بوصة).

وتتنبّأ الدراساتُ النظريةُ أنَّ أيَّ نجمٍ تزيد كتلتُه على ثلاث كُتَلٍ شمسية عند آخر ارتصاصٍ له، لا بد من أن يَعْبُرَ أُفق حَدَثه ويختفي تماماً عن النظر. وليس ثمة أيُّ قوةٍ معروفةٍ تستطيع إيقاف مزيدٍ من الارتصاص، بحيث قد

يستمر النجمُ في التقلُّص إلى أن يستحيل نقطةً في المركز تسمى المتفرِّدة singularity.

تجدر الإشارة إلى أن المنبع المسمى بالدجاجة 1-X (Cygnus X-1) هو منبعٌ سينيٌّ شديد يبعد ما يزيد على 2500 فرسخٍ فلكي (8000 سنة ضوئية) في كوكبة الدجاجة. وقد اكتُشف سنة 1966، وهو نجمٌ ثنائيٌّ كَسُوف (دَوْرُه 5,6 أيام) يُعرَف بأن جزءه غير المرئي كان أوَّل ثقبٍ أسود تحدَّث عنه علماء الفلك. أما الجزء الرئيسي المنظور فهو نجمٌ فوق عملاق أزرق يبدي تغيُّرات في سِماتِه الطيفيَّة من ليلة إلى ليلة. ويُفترَض أن الثقب الأسود عندما يجتذب المادة تثاقلياً من رفيقه المرئي تَصْدُر عنه الأشعة السينيّة المرصودة.

ولا شك في أنك ستسمع المزيد عن هذه الثقوب السوداء المثيرة في المستقبل، بعد أن يستزيد العلماء في دراستها أكثر فأكثر.

ماذا يمكن أن يحدث لو أنَّ مركبةً فضائيةً منكودة الطالع مرَّت على مقربةٍ دانيةٍ من ثقبٍ أسود في الفضاء؟.....

.....

.....

الجواب: ستنجذب المركبةُ إلى الثقب الأسود بفعل قوة الجذب التثاقلي العظيمة، وينجم عن ذلك قوةٌ مدمِّرة تتزايد بسقوط المركبة في الثقب، وسيؤدي ذلك إلى تحطُّمها حتماً.

obeikandl.com

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الخامس وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. عرِّف التطوُّر النجميّ .....

.....

2. كيف يتحقّق علماء الفلك من صحة نظريةٍ في التطوُّر النجميّ؟ .....

.....

.....

.....

3. اذكر المراحلَ الثلاث الرئيسية لولادة نجم.

(1) .....

(2) .....

(3) .....

4. ما هو مصدر الطاقةِ الرئيسيُّ الذي يجعل نجماً من التسلسل الرئيسي يضيء في الفضاء؟ .....

.....

5. ما الخاصّية التي تحدِّد طولَ المدة التي تستغرقها النجومُ المتشابهةُ التركيب الكيميائي لكي تتطوَّر؟ .....

6. لماذا ستتوقف الشمسُ عن السطوع بصفتها نجمَ تسلسلٍ رئيسي، بعد

زهاء خمسة مليارات سنة من الآن؟ .....

.....

.....

7. عدِّد المراحلَ السبع الرئيسية لدورة حياة نجمٍ كشمسنا، بحسب ترتيبها منذ نشوئه وحتى يبيد.

(1) ..... (2) .....

(3) ..... (4) .....

(5) ..... (6) .....

(7) .....

8. عدِّد المراحلَ السبعَ الرئيسية لتطوُّر النجوم الكبيرة الكتلة بحسب ترتيبها منذ النشأة وحتى الاندثار.

(1) ..... (2) .....

(3) ..... (4) .....

(5) ..... (6) .....

(7) .....

9. لماذا كانت العناصرُ الكيميائيةُ (من قبيل الهيدروجين والهليوم والكربون والأكسجين) التي هي أخفُّ من الحديد أكثرَ توفُّراً في الكون إلى حدٍّ بعيد من العناصر التي هي أثقل من الحديد؟ .....

.....

.....

.....

obeikandl.com

.....

10. قابلْ كلاً من الحقول الثمانية التالية من نظرية التطوُّر النجمي بالجِرم السماوي الذي يناسبه.

(أ) موطن نشأة النجوم.
(ب) ثقبٌ أسود محتمَل.
(ج) عملاقٌ أزرق.
(د) نجمُ تسلسلٍ رئيسي.
(هـ) نجمٌ نتروني.
(و) نجمٌ متغيِّر نبّاض.
(ز) عملاقٌ أحمر.
(ح) مخلَّفات مستعر فائق.

(1) منكب الجوزاء في كوكبة الجبّار.
(2) سديم السرطان في كوكبة الثور.
(3) نبّاض السرطان في كوكبة الثور.
(4) منبع الدجاجة X – 1.
(5) الأعجوبة مايرا في كوكبة قيطس.
(6) سديم الجبّار.
(7) الرِّجْل في كوكبة الجبّار.
(8) الشمس.

11. ما هو الثقب الأسود؟ .....

.....

.....

obeikandl.com

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. التغيُّرات التي تطرأ على النجوم بمرور الزمان عليها. أي دورة حياة النجوم.

(الفقرة 1.5)

2. إنهم يضعون تصوُّراً لما قد يطرأ على النجوم من تغيُّرات في ضيائيَّتها ودرجة حرارتها بمرور الزمن، ثم يقارنون هذه المساراتِ النظريةَ للتطوُّر على مخططات H-R بمخططات H-R تمثِّل مجموعاتٍ نجميةً حقيقية.

(الفقرة 1.5)

3. (1) التقلُّص الثاقلي لسحابة غازٍ وغبار؛

(2) ارتفاع درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي؛

(3) الاندماج النووي.

(الفقرة 3.5)

4. تفاعلات الاندماج النووي في اللُّب (يتحوَّل الهيدروجين إلى هليوم).

(الفقرتان 3.5 و 5.5)

5. الكتلة. (الفقرة 4.5)

6. سوف تغادر الشمسُ التسلسلَ الرئيسي عند استنفاد وقود الهيدروجين

المتاح في لبِّها عن آخره، فتصبح بدون مصدر طاقة داخلي.

(الفقرتان 6.5 و 7.5)

7. (1) نجمٌ أوَّليٌّ وليد؛ (2) نجمُ تسلسلٍ رئيسي؛

(3) عملاقٌ أحمر؛ (4) نجمٌ متغيِّر؛

(5) لفظ السديم الكوكبي؛ (6) قزمٌ أبيض؛

(7) قزمٌ أسود مندثر .

(الفقرات 3.5 و 5.5 إلى 13.5)

8. (1) نجمٌ أوَّليٌّ وليد؛ (2) التسلسل الرئيسي؛

(3) عملاقٌ أحمر؛(4) نجمٌ متغيِّر؛

(5) مستعرٌ فائق؛ (6) نجمٌ نبّاض/نتروني؛

(7) ثقبٌ أسود محتمل.

(الفقرات 3.5 و 5.5 إلى 7.5 و 9.5 و 14.5 و 16.5 و 17.5)

9. ربما كان الهيدروجين وبعض الهليوم هما العنصرين الأصليّين في الكون. وتتكوّن العناصرُ الأخرى التي هي أخفُّ من الحديد في باطن النجوم الهرمة على امتداد حقبةٍ من الزمن. أما العناصر التي هي أثقل من الحديد فتتكوَّن حصراً في أثناء المدة الوجيزة لمستعرٍ فائق.

(الفقرة 15,5)

10. (أ) 6؛ (ب) 4؛ (ج) 7؛ (د) 8 ؛ (هـ) 3؛ (و) 5؛ (ز) 1؛ (ح) 2.

(الفقرات 2.5 و 5.5 إلى 7.5 و 9.5 و 14.5 إلى 17.5)

11. كتلةٌ فائقة الكثافة، مرصوصةٌ ثقالياً، لا يمكن أن ينفلت منها أيُّ ضوءٍ أو مادةٍ أو إشارةٍ من أي نوع.(الفقرة 17.5)

obeikandi.com