

علوم الأرض والبيئة

الصف العاشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الأول

10

فريق التأليف

د. موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

سكينة محي الدين جبر

د. مروة خميس عبد الفتاح

د. محمود عبد اللطيف حبوش

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسر المركز الوطني لتطوير المناهج استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العناوين الآتية:

☎ 06-5376262 / 237 ☎ 06-5376266 ☎ P.O.Box: 2088 Amman 11941

📧 @nccdjr 📧 feedback@nccd.gov.jo 🌐 www.nccd.gov.jo

قرّرت وزارة التربية والتعليم تدرّيس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (2020/3)، تاريخ 2020/6/2 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2020/45)، تاريخ 2020/6/18 م، بدءاً من العام الدراسي 2020 / 2021 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2022.

- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

ISBN: 978 - 9923 - 41 - 258 - 9

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية:
(2022/3/1373)

375,001

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

علوم الأرض والبيئة: الصف العاشر: كتاب الطالب (الفصل الأول)/ المركز الوطني لتطوير المناهج. - ط2؛ مزيدة

ومنتقة. - عمان: المركز، 2022

(68) ص.

ر.إ.: 2022/3/1373

الواصفات: / تطوير المناهج / المقررات الدراسية / مستويات التعليم / المناهج /

يتحمّل المؤلّف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مُصنّفه، ولا يُعبّر هذا المُصنّف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, sorted in retrieval system, or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher or a license permitting restricted copying in the United Kingdom issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, Barnard's Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.

British Library Cataloguing -in- Publication Data

A catalogue record for this publication is available from the Library.

1441 هـ / 2020 م

2021 م - 2025 م

الطبعة الأولى (التجريبية)

أعيدت طباعته

قائمة المحتويات

5	المقدمة.....
7	الوحدة الأولى: الصخور.....
10	الدرس 1: الصخور النارية.....
19	الدرس 2: الصخور الرسوبية.....
28	الدرس 3: الصخور المتحولة.....
34	الإثراء والتوسع: الصوف الصخري.....
35	مراجعة الوحدة.....
37	الوحدة الثانية: النجوم.....
40	الدرس 1: ماهية النجوم.....
45	الدرس 2: الأنظمة النجمية والكوكبات.....
50	الدرس 3: دورة حياة النجوم.....
56	الإثراء والتوسع: مقراب الكوة الدائرية الصيني (فاست).....
57	مراجعة الوحدة.....
59	مسرد المصطلحات.....
64	قائمة المراجع.....

المقدمة

انطلاقاً من إيمان المملكة الأردنية الهاشمية الراسخ بأهمية تنمية قدرات الإنسان الأردني، وتسليحه بالعلم والمعرفة؛ سعى المركز الوطني لتطوير المناهج، بالتعاون مع وزارة التربية والتعليم، إلى تحديث المناهج الدراسية وتطويرها، لتكون معيّنًا للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجارة أقرانهم في الدول المتقدمة.

يُعَدُّ هذا الكتاب واحداً من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحلّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفق أفضل الطرائق المُتبَّعة عالمياً؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبّيتها لحاجات أبنائنا الطلبة والمعلّمين والمعلّّمات.

جاء هذا الكتاب مُحققاً لمضامين الإطار العام والإطار الخاص للعلوم، ومعاييرها، ومؤشّرات أدائها المُتمثلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الواحد والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومُعترّ - في الوقت نفسه - بانتماؤه الوطني. وتأسيساً على ذلك، فقد اعتُمِدَت دورة التعلّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطالب الدور الأكبر في العملية التعلّمية التعليمية، وتوفّر له فرصاً عديدة للاستقصاء، وحلّ المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلاً عن اعتماد منحنى STEAM في التعليم الذي يُستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

يحتوي الفصل الدراسي الأول من كتاب علوم الأرض والبيئة للصف العاشر على وحدتين دراسيتين، هما: الصخور، والنجوم. وتحتوي كل وحدة منهما على تجربة استهلاكية، وتجارب وأنشطة استقصائية مُتضمّنة في الدروس، وقضايا البحث، والموضوع الإثرائي في نهاية كل وحدة. يضاف إلى ذلك الأسئلة التقويمية، بدءاً بالتقويم التمهيدي المُتمثل في طرح سؤال بداية كل وحدة ضمن بند (أتأمّل الصورة)، وانتهاءً بالأسئلة التكوينية المتنوعة في نهاية كل موضوع من موضوعات الدروس، فضلاً عن الأسئلة التقويمية في نهاية كل درس، والتقويم الختامي في نهاية كل وحدة، التي تتضمّن أسئلة تثير التفكير، وأخرى تحاكي أسئلة الاختبارات الدولية (TIMSS)، و(PISA). وقد ألحِقَ بالكتاب كتاب الأنشطة والتجارب العملية، الذي يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب؛ لتساعده على تنفيذها بسهولة.

ونحن إذ نُقدِّم هذه الطبعة من الكتاب فإننا نأمل أن يُسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصيّة المتعلّم، وتنمية اتجاهات حُبّ التعلّم ومهارات التعلّم المستمرّ، فضلاً عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بملاحظات المعلّمين والمعلّّمات.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الصخور Rocks

قال تعالى:

﴿أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ شَجَرَاتٍ مُخْتَلِفًا
أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيْضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا
وَعَرَابِيبٌ سُودٌ﴾.

(فاطر، الآية 27)

أتأمل الصورة

كيف تكونت الجبال الصخرية العالية في منطقة وادي رم جنوب الأردن؟ ما علاقتها ببقية
أنواع الصخور؟

الفكرة العامة:

تُصنّف الصخور تبعاً لآلية تكونها إلى صخور نارية، وصخور رسوبية، وصخور مُتحوّلة.

الدرس الأول: الصخور النارية.

الفكرة الرئيسة: تتكوّن الصخور النارية نتيجةً لتبريد الماغما أو اللابة وتبلورها، وتُصنّف بناءً على مكان تبريدها وتبلورها إلى صخور نارية جوفية، وصخور نارية سطحية.

الدرس الثاني: الصخور الرسوبية.

الفكرة الرئيسة: تتكوّن الصخور الرسوبية نتيجةً تصخّر الرسوبيات على شكل طبقات متتالية.

الدرس الثالث: الصخور المُتحوّلة.

الفكرة الرئيسة: تتكوّن الصخور المُتحوّلة من صخور نارية، أو رسوبية، أو مُتحوّلة تعرّضت لعوامل عدّة، منها: الضغط، والحرارة، والمحاليل الحرمائية.

تصنيف الصخور

تتنوع الصخور في الطبيعة، وتختلف في ما بينها من حيث الخصائص مثل اللون وحجم الحبيبات، ولكنها تشترك معاً في خصائص رئيسية استند إليها العلماء في عملية تصنيفها.

المواد والأدوات: عيّنات صخرية متنوعة، أدوات تحديد القساوة، عدسة مكبرة، حمض الهيدروكلوريك (HCl) المخفف، مطرقة، قطارة.

إرشادات السلامة:

- الحذر في أثناء استعمال حمض الهيدروكلوريك المخفف، والمطرقة.
- غسل اليدين جيداً بالماء والصابون بعد الانتهاء من تنفيذ التجربة.

خطوات العمل:

- 1 أرقم العيّنات الصخرية.
- 2 أتحص خصائص العيّنات الصخرية بالعين المجردة، وباستعمال العدسة المكبرة، من مثل: الملمس، وحجم الحبيبات، ووجود بقايا كائنات حيّة أو آثارها (أحافير)، واللون، والقساوة، واحتوائها على طبقات رقيقة، وتفاعلها مع حمض الهيدروكلوريك المخفف، ثم أدوّن ملاحظاتي.
- 3 أصنّف العيّنات الصخرية بناءً على ملاحظاتي، وأذكر المسوّغ الذي اعتمدت عليه في عملية التصنيف، ثم أكتب النوع المقترح للصخر.

التحليل والاستنتاج:

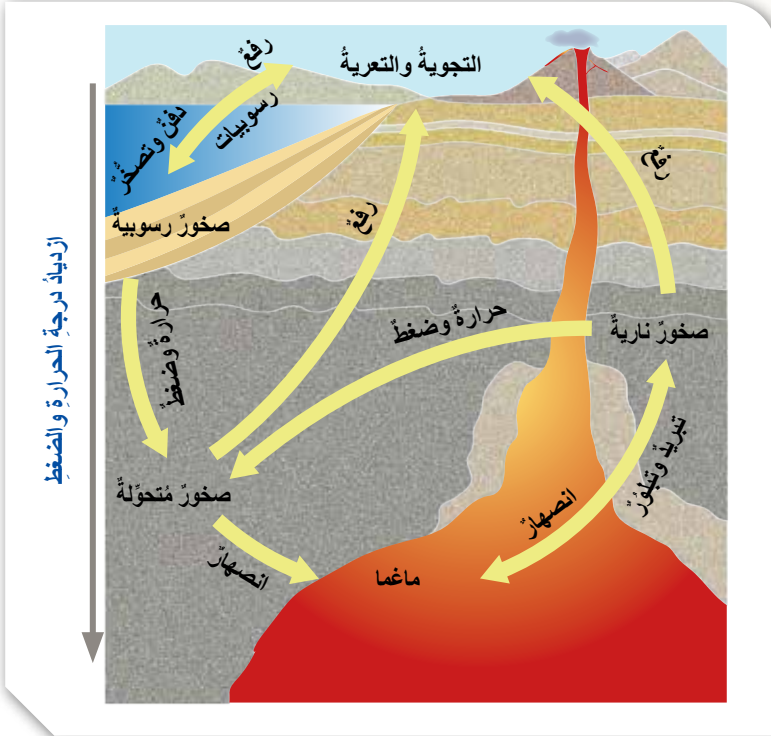
- 1 - أقارن بين الأنواع المقترحة للصخور. ما أوجه التشابه والاختلاف بينها؟
- 2 - أقارن تصنيفي للعيّنات الصخرية بتصنيفات زملائي / زميلاتي. هل يوجد بينها تشابه أم اختلاف؟
- 3 - أحدد الخصائص الرئيسة التي يمكن تصنيف الصخور على أساسها.

دورة الصخور Rock Cycle

استفاد الإنسان من الصخور ومكوناتها المعدنية على مرّ العصور؛ إذ استخدمها في بناء مسكنه، وصنع أسلحته، واستخرج منها عديدًا من العناصر، مثل: الحديد، والنحاس. وقد اهتم العلماء قديمًا وحديثًا بدراسة الصخور والمعادن، وبحثوا في خصائصها، وأماكن وجودها، وكيفية نشأتها. وزاد هذا الاهتمام في ظلّ التقدم العلميّ.

بوجه عامّ، صنّف العلماء صخور القشرة الأرضية بحسب طريقة نشأتها وتكوّنها إلى ثلاثة أنواع رئيسية، هي: الصخور النارية Igneous Rocks، والصخور الرسوبية Sedimentary Rocks، والصخور المتحوّلة Metamorphic Rocks.

ترتبط هذه الأنواع الثلاثة بعلاقات متبادلة عن طريق العمليات الجيولوجية المختلفة؛ إذ يتغيّر كل نوع منها إلى الآخر في دورة تُسمّى **دورة الصخور Rock Cycle**، أنظر الشكل (1) الذي يمثّل هذه الدورة.



الشكل (1): دورة الصخور في الطبيعة.

أحدّد: ما المرحلة التي يجب أن تمرّ بها الصخور جميعًا لتُشكّل الصخور النارية؟

الفكرة الرئيسة:

تتكوّن الصخور النارية نتيجةً لتبريد الماغما أو اللابة وتبلورهما، وتُصنّف بناءً على مكان تبريدها وتبلورها إلى صخور نارية جوفية، وصخور نارية سطحية.

نتائج التعلم:

- أُبين وجود ثلاثة أنواع من الصخور تتكوّن منها القشرة الأرضية.
- أعرّف أنواع الصخور النارية.
- أصف الصخور النارية وأشكالها في الطبيعة.

المفاهيم والمصطلحات:

Rock Cycle	دورة الصخور
Magma	الماغما
Lava	اللابة
	الصخور النارية الجوفية
Intrusive Igneous Rocks	
	الصخور النارية السطحية
Extrusive Igneous Rocks	
Texture	النسيج
	نسيج خشن الحبيبات
Coarse Grained Texture	
	نسيج ناعم الحبيبات
Fine Grained Texture	
Glassy Texture	النسيج الزجاجي
	النسيج السماقي (البورفيرّي)
Porphyritic Texture	
Vesicular Texture	النسيج الفقاعي



الشكل (2): صخورٌ تعرّضت لعمليات تجوية وتعرية.

تنشأ بعض أنواع الصخور النارية في باطن الأرض من تبريد الماغما وتبلورها، و**الماغما** Magma صُهَيْرٌ يتكوّن معظمه من السيليكات، ومن غازات أهمّها بخار الماء. عندما تتعرّض الصخور النارية المتكوّنة في باطن الأرض لعمليات جيولوجية تعمل على رفعها، فإنّها تتكشف على سطح الأرض، وتحدّث عليها عمليات التجوية والتعرية، أنظر الشكل (2)؛ ما يؤدي إلى تفتّت الصخور، وتكوّن الفتات الصخري الذي قد يُنقل بفعل الرياح أو الماء إلى أماكن أخرى تُسمّى أماكن الترسيب، فيستقرّ فيها، ويتراكم مُشكّلاً الرسوبيات بعملية تُسمّى الترسيب. وحين تتراكم الرسوبيات، وتدفن، فإنّها تتصخّر مُكوّنة الصخور الرسوبية. عند تعرّض الصخور الرسوبية المتكوّنة لضغط وحرارة عاليين دون درجة الانصهار، فإنّها تصبح صخوراً متحوّلة. وقد تنصهر هذه الأنواع الثلاثة عند دفنها في أعماق كبيرة بباطن الأرض نتيجة الحرارة العالية، فتشكّل الماغما مرّة أخرى.

✓ **أتحقّق:** ما الفرق بين الفتات الصخري والرسوبيات؟

تكوّن الصخور النارية Igneous Rocks Formation

تنشأ الصخور النارية من تبريد الماغما وتبلورها في باطن الأرض. تتراوح درجات حرارة الماغما بين (700 °C - 1300 °C). وعندما تخرج الماغما من باطن الأرض إلى سطحها، فإنّها تُسمّى **اللابة** Lava، وهي تمتاز عن الماغما بفقدانها كمية كبيرة من الغازات التي كانت ذائبة فيها. تختلف أنواع الصخور النارية المتكوّنة باختلاف نوع الماغما المتكوّنة لها، علماً بأن أكثر العناصر الرئيسة شيوعاً في الماغما هي العناصر الشائعة نفسها في صخور القشرة الأرضية: الأكسجين، السيليكون، والألمنيوم، والحديد، والكالسيوم، والصدوديوم، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم. ونظراً إلى وفرة عنصري السيليكون والأكسجين في الماغما، فإن ثاني أكسيد السيليكون SiO_2 هو أكثر المركّبات المتكوّنة للمعادن في الصخور النارية. فما أنواع الصخور النارية؟ كيف صنّفها العلماء؟

أفكّر: تتكوّن الماغما والقشرة الأرضية من عناصر رئيسة كما في النصّ المجاور. أفكّر: ما العلاقة بين نسبة عنصري الأكسجين والسيليكون في الماغما، ووفرة المعادن السيليكاتية في صخور القشرة الأرضية؟ أناقش زملائي / زميلاتي في النتائج التي أتوصّل إليها.



الشكل (3): صخور نارية سطحية تكونت من تبلور اللابة على سطح الأرض.

تُصنّف الصخور النارية بحسب أماكن تبلورها إلى صخور نارية جوفية وصخور نارية سطحية. فالصخور التي تنشأ نتيجة تبريد الماغما وتبلورها ببطء في باطن الأرض تُسمى **الصخور النارية الجوفية** **Intrusive Igneous Rocks**، ومن أمثلتها صخر الغرانيت. أما الصخور التي تنشأ بفعل تبريد اللابة وتبلورها بصورة سريعة على سطح الأرض، فتُسمى **الصخور النارية السطحية** **Extrusive Igneous Rocks**، أنظر الشكل (3)، ومن أمثلتها صخر البازلت.

تتكشف الصخور النارية الجوفية في جنوب الأردن، وبخاصة الصخور الغرانيتية. أما الصخور النارية السطحية، ولا سيما الصخور البازلتية، فتوجد في مناطق عدّة من الأردن، مثل: المناطق الشمالية الشرقية، والمناطق الوسطى، أنظر الشكل (4).



الشكل (4): أحد الصخور النارية السطحية المكتشفة في الأردن.

✓ **أتحقّق:** أفسّر سبب اختلاف اللابة عن الماغما بالرغم من أنهما يمثلان صخوراً مصهورة.



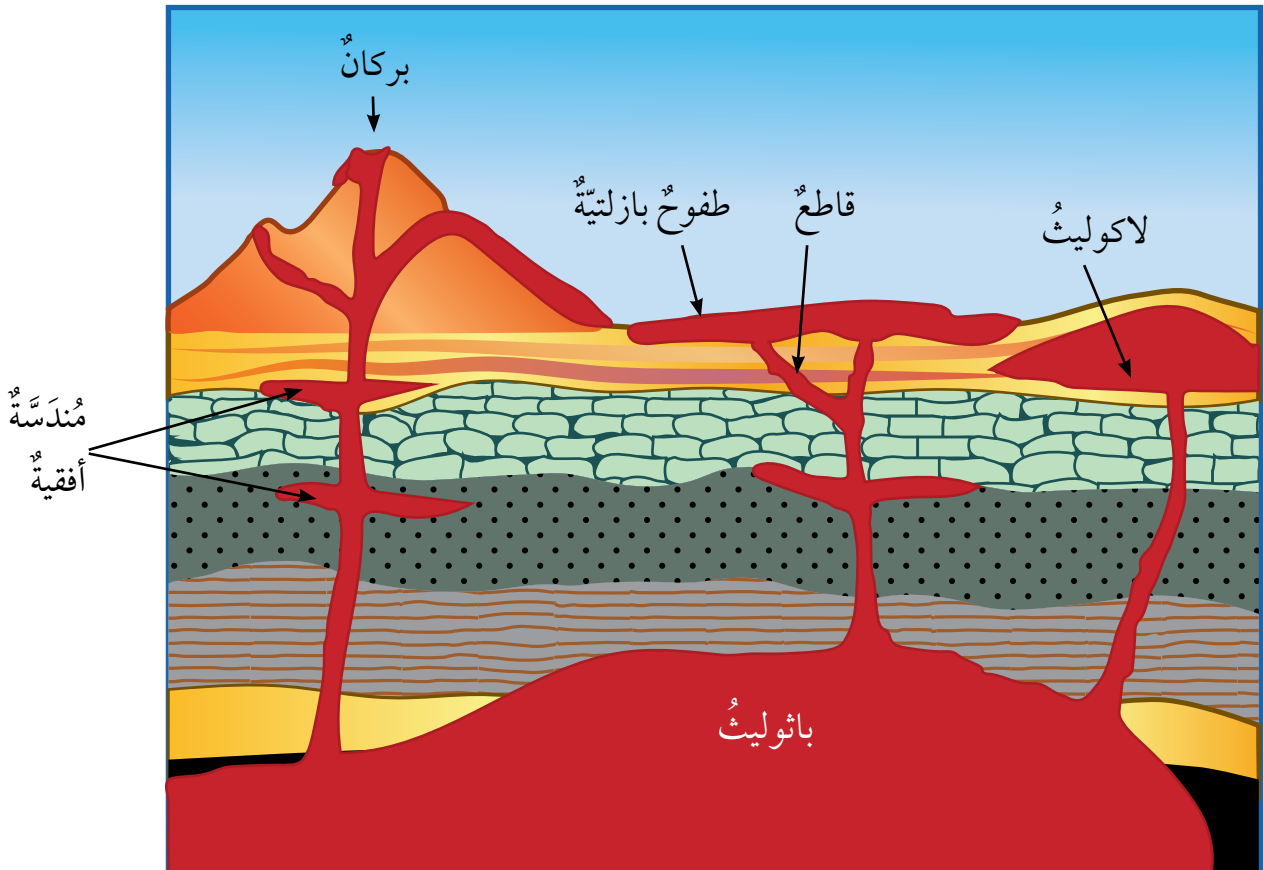
أعملُ فيلماً قصيراً
باستخدام برنامج صانع الأفلام
(movie maker)، أوضح فيه
كيفية تصنيف الصخور النارية
اعتماداً على أنسجتها في الطبيعة،
وأحرص على أن يشمل صوراً
توضيحية، ثم أشاركه زملائي/
زميلاتي في الصف.

أشكال الصخور النارية Igneous Rocks Landforms

توجد الصخور النارية الجوفية بأشكال مختلفة في الطبيعة، مثل: الباثوليث Batholith، وهو أكبر الأجسام الصخرية الجوفية، وقد يمتد إلى مئات الكيلومترات، واللاكوليث Laccolith، وهو أحد أشكال الصخور النارية الأصغر حجماً من الباثوليث، ويوجد قرب سطح الأرض، ويكون مدبب الشكل من الأعلى. ومنها أيضاً القواطع النارية Dykes، وهي صخور نارية تتبلور في الشقوق الصخرية أو الصدوع، وتقطع الصخور بشكل عمودي أو مائل، ويُطلق عليها اسم المندسة النارية Sill إذا كانت أفقية موازية للطبقات.

أما الصخور النارية السطحية، فتوجد في صورة براكين مختلفة الأنواع، أو في صورة طفوح بازلتية (حرات) Flood Basalts، وهي صخور تتصلب من اللابة المتدفقة من الشقوق، وتمتد إلى مساحات واسعة، أنظر الشكل (5) الذي يبين أشكال الصخور النارية في الطبيعة.

الشكل (5): أشكال الصخور النارية
السطحية والجوفية في الطبيعة.
أقارن بين الباثوليث واللاكوليث من حيث
الحجم.



التجربة 1

علاقة معدل التبريد بحجم البلورات

تمتاز الصخور النارية الجوفية بكبر حجم بلوراتها، خلافاً للصخور النارية السطحية التي تمتاز بصغر حجم بلوراتها، اعتماداً على سرعة تبريد الماغما أو اللابة.

المواد والأدوات:

كبريتات النحاس (CuSO_4)، وماء ساخن، وخيط قطني، وقلم رصاص، ووعاء زجاجيان سعة كل منهما (300 mL)، وثلاجة أو حافظة حرارة، وعدسة مكبرة، وساعة توقيت، وميزان حرارة، ونظارات واقية، وقفاز حرارية، وملعقة فلزية.

إرشادات السلامة:

- ارتداء النظارة الواقية والقفازين قبل البدء بتنفيذ التجربة.
- الحذر من انسكاب الماء الساخن على الجسم.
- غسل اليدين جيداً بالماء والصابون بعد استخدام مادة كبريتات النحاس.
- الحذر عند استخدام الوعاء الزجاجيين؛ خشية الإصابة بجروح في حال كسر أحدهما أو كليهما.

أصوغ فرضيتي بالتعاون مع زملائي/ زميلاتي لتوضيح أثر سرعة تبريد الماغما على حجم البلورات المتكونة في الصخور النارية الجوفية والسطحية؟

أختبر فرضيتي:

1. بالتعاون مع زملائي/ زميلاتي، أحضر محلولاً مشبعاً من كبريتات النحاس في الوعاءين باستخدام الماء الساخن.
2. أضع أولاً في كل وعاء (100 mL) من الماء الساخن، ثم أضيف تدريجياً كميات متساوية من كبريتات النحاس في الوعاءين.
3. أحرّك المحلول في الوعاءين بالملعقة حتى يصبح المحلول في الوعاءين مشبعاً.

4. أضع في كل وعاء خيطاً مربوطاً بقلم، وأجعل الخيط يتدلى في الوعاء، بحيث يغمر كلا الخيطين في المحلول المشبع، ثم أطلب إلى زميلي/ زميلتي تدوين الوقت ودرجة الحرارة في غرفة المختبر.



5. أترك أحد الوعاءين يبرد في درجة حرارة الغرفة، وأضع الوعاء الآخر في الثلاجة، أو في الحافظة الحرارية.
6. أراقب تشكّل البلورات على جوانب الوعاءين، وعلى الخيط في كل منهما، ثم أدوّن الوقت الذي بدأت فيه البلورات تتشكّل، وأحرص على مراقبة عملية تبريد الوعاءين في مُدد مُحدّدة.
7. **ألاحظ** المحلول الذي برد على نحوٍ أسرع، ثم أدوّن نتائجي.
8. أرسم شكل البلورات التي أشاهدها، ثم أكتب وصفاً لها.

التحليل والاستنتاج:

1. **أضبط المتغيرات:** أحدّد المتغير المستقل، والمتغير التابع.
2. **أقارن** بين حجم البلورات في الوعاءين.
3. **أحسب** الوقت الذي استغرقه تبلور كبريتات النحاس في الوعاءين.
4. **أستنتج** العلاقة بين حجم البلورات وسرعة التبلور.
5. **أفسر:** لماذا تمتاز البلورات التي تبرد سريعاً بصغر حجمها؟
6. **أصدر حكماً** عما إذا توافقت النتائج مع فرضيتي أم لا.



صخرُ الريوليت.



صخرُ الغرانيت.

الشكل (6): صخرُ الغرانيت الذي يمتازُ بحبيباته الكبيرة، وصخرُ الريوليت الذي يمتازُ بحبيباته الصغيرة. أُفسِّر: لماذا يُعدُّ نسيجُ الريوليت نسيجاً ناعم الحبيبات؟

تصنيف الصخور النارية Classification of Igneous Rocks

أشرنا سابقاً إلى أن الصخور النارية تُصنَّف بحسب مكان تبريدها وتبلورها إلى صخور نارية جوفية، وصخور نارية سطحية، لكن العلماء يُصنِّفون الصخور النارية أيضاً بناءً على خصائص أخرى، منها: النسيج، والتركيب الكيميائي والمعدني.

أولاً: النسيج Texture

يصفُ النسيج Texture حجم البلورات، وشكلها، وترتيبها في داخل الصخر. وهو يرتبطُ بسرعة تبريد الماغما الذي يعتمدُ على مكان تبلور الصخر الناري؛ فالصخور النارية الجوفية تمتازُ عامةً بكبير حجم بلوراتها، لذلك يكون نسيجها خشن الحبيبات Coarse Grained Texture، في حين تمتازُ الصخور النارية السطحية ببلورات صغيرة الحجم لا تُرى بالعين المُجرَّدة، فيكون نسيجها ناعم الحبيبات Fine Grained Texture، أنظر الشكل (6).

عند تعرُّض اللابة المناسبة على سطح الأرض لتبريد مفاجئ وسريع جداً، فإن البلورات لا تتكوَّن فيها. وعوضاً عن ذلك، ترتبط ذراتها ببعضها ببعض عشوائياً، وتتصلَّبُ مُكوَّنةً نسيجاً زجاجياً Glassy Texture، أنظر الشكل (7).



الشكل (7): النسيج الزجاجي في صخر الأوبسيديان.

من الأنسجة الأخرى المشهورة في الصخور النارية **النسيج السماقي (البورفيرى) Porphyritic Texture**، الذي يظهر نسيج الصخر فيه على شكل بلورات كبيرة مرئية محاطة ببلورات صغيرة غير مرئية. وقد عزا الجيولوجيون سبب تكون هذا النسيج إلى تبريد الماغما على مرحلتين؛ الأولى يحدث فيها تبريد بطيء للماغما في باطن الأرض، فتتشكل بلورات كبيرة الحجم. والثانية يحدث فيها تبريد سريع للماغما قرب سطح الأرض، أو تبريد سريع للآلة على سطح الأرض، فتتبلور بلورات صغيرة تتجمع حول البلورات الكبيرة المتشكلة سابقاً، أنظر الشكل (8).



الشكل (8): النسيج السماقي الذي يمتاز بوجود بلورات كبيرة الحجم محاطة ببلورات صغيرة الحجم.

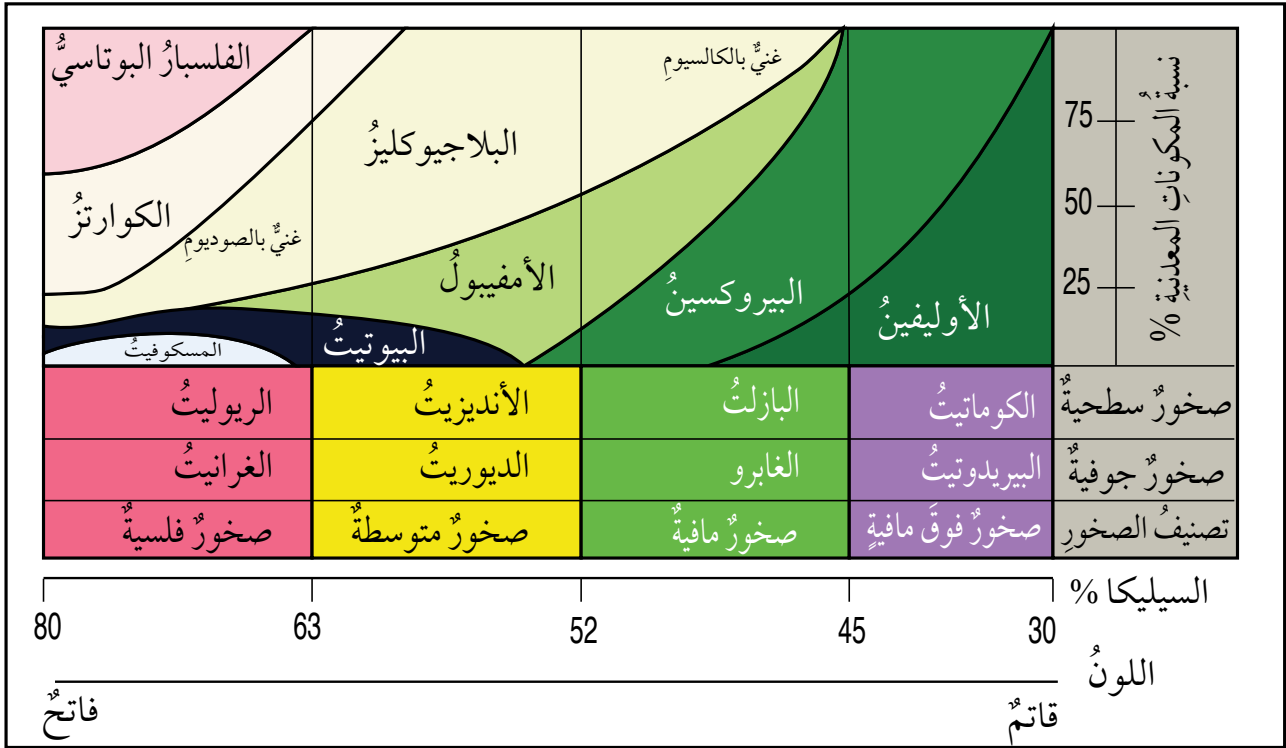
أما **النسيج الفقاعي Vesicular Texture** فيتكون نتيجة لخروج الغازات من الآلة وهي على سطح الأرض، فتتكون مجموعة من الفجوات أو الثقوب التي تميز هذا النسيج، وهو ما يمكن أن نلاحظه في صخر الخفاف، أنظر الشكل (9).



الشكل (9): النسيج الفقاعي الذي يمتاز بوجود ثقوب في الصخر الناري نتيجة خروج الغازات.

✓ **أتحقق:** كيف يتكون النسيج الزجاجي؟

ثانياً: التركيب الكيميائي والمعدني Chemical and Mineral Composition
تُصنّف الصخور النارية بناءً على نسبة السيليكا والتركيب المعدني إلى أربعة أنواع رئيسية، هي: الصخور الفلسية Felsic Rocks، والصخور المتوسطة Intermediate Rocks، والصخور المافية Mafic Rocks، والصخور فوق المافية Ultramafic Rocks، أنظر الشكل (10) الذي يبين العلاقة بين التركيب المعدني، ونوع الصخور، ومكان التبلور. أما الصخور الفلسية، فهي صخور نارية تحتوي على معادن غنية بالسيليكا، مثل: الفلسبار البوتاسي، والمسكوفيت، والكوارتز. وهي تمتاز بألوانها الفاتحة، ومن أشهر صخورها: الغرانيت، والريوليت.



الشكل (10): تصنيف الصخور النارية بحسب تركيبها المعدني، ونسب السيليكا فيها، وأمثلة على كل نوع من الصخور الجوفية والصخور السطحية.



الشكل (11): صخر البيريدوتيت الذي يُعدُّ أحد الصخور فوق المافية.

وأما الصخور المتوسطة، فهي صخور نارية تحتوي على معادن سيليكاتية متوسطة الغنى بالسيليكا، وتكون ألوانها بين الفاتح والغامق. وهي تتكوّن من معادن البلاجيوكليس الكلسي الصودي، والبيوتيت، والأمفيبول. ومن الأمثلة على هذه الصخور: صخور الديوريت، وصخور الأنديزيت.

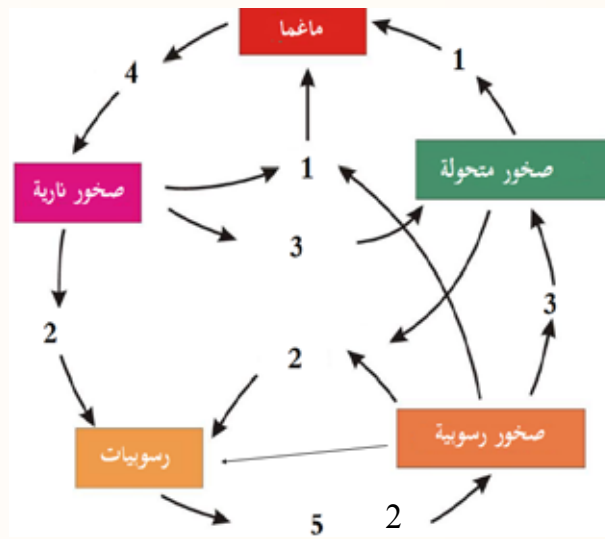
وأما الصخور المافية، فهي صخور غامقة اللون (Dark) بسبب احتوائها على معادن غنية بالحديد والمغنيسيوم، مثل: معادن البيروكسين، والأمفيبول، ومعادن البلاجيوكليس الكلسي. ومن الأمثلة على هذه الصخور: صخور الغابرو، وصخور البازلت.

وأما الصخور فوق المافية، فهي صخور قاتمة (Very Dark) تحتوي على نسبة منخفضة من السيليكا، وتتكوّن في مجملها من معادن الأوليفين، والبيروكسين. ومن أشهر الأمثلة عليها: صخور البيريدوتيت، وصخور الكوماتيت، أنظر الشكل (11) الذي يُمثّل صخر البيريدوتيت.

✓ **أنحقّق: أصفّ صخر الديوريت بناءً على تركيبه المعدني، مُبيناً المعادن المُكوّنة له.**

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أُصنِّفُ الصخورَ الناريةَ بحسبِ مكانِ تبلُّورها.
2. أوضِّحْ كيفَ يُمكنُ أنْ يصبحَ الصخرُ الناريُّ صخرًا رسوبيًّا.
3. اتَّبِعْ مراحلَ تكوُّنِ صخرِ البازلتِ مِنْ لحظةِ وجودِهِ في باطنِ الأرضِ إلى تصلُّبِهِ على سطحِ الأرضِ.
4. **أَقارِنُ** بينَ صخريِّ الغرانيتِ والأنديزيتِ، مِنْ حيثُ: حجمُ الحبيباتِ، ونسبةُ السيليكَا، واللونُ.
5. **أستنتجُ** خصائصَ صخرٍ تكوَّنَ على سطحِ الأرضِ، وكافاً في تركيبِ صخرِ البيريدوتيتِ.
6. **أصمِّمُ** نموذجاً يوضِّحُ كيفيةَ تكوُّنِ الصخورِ الناريةِ الجوفيةِ تحتَ سطحِ الأرضِ.
7. **السببُ والنتيجةُ**: لماذا يتكوَّنُ النسيجُ الزجاجيُّ في بعضِ الصخورِ الناريةِ عندَ تعرُّضِ اللابةِ المناسبةِ على سطحِ الأرضِ لتبريدٍ مفاجئٍ وسريعٍ.
8. يوضِّحُ الشكلُ المجاورُ دورةَ الصخورِ في الطبيعة؛ أدرسه جيِّداً، ثم أجبْ عن الأسئلة الآتية:
 - أ. أحدِّدُ: ماذا تُمثِّلُ الأسهمُ المُشارُ إليها بالأرقامَ؟
 - ب. **أتوقَّعُ**: على ماذا يدلُّ تكرارُ كُلِّ من الأرقامِ (1)، (2)، (3).
 - ج. **أصوغُ فرضيةً** توضحُ كيفيةَ تأثيرِ العمليَّاتِ الجيولوجيةِ في نوعِ الصُّخورِ الناتجةِ عنها.
 - د. أحدِّدُ العمليَّتينِ المُشارِ إليهما بالرقمينِ (4،5).



الصخور الرسوبية

Sedimentary Rocks

2

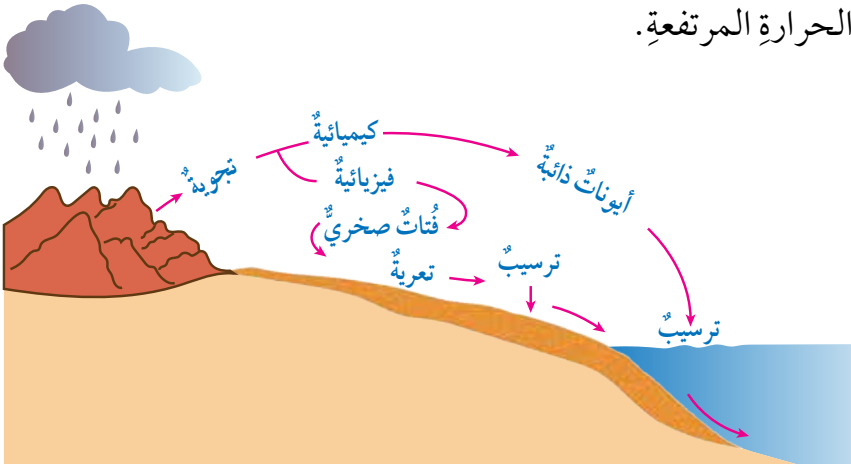
الدرس

تكوُّن الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks Formation

تعرَّفَتْ سابقًا أَنَّ الصخور الرسوبية هي أحد أنواع الصخور التي تتشكَّل منها القشرة الأرضية.

تغطِّي الصخور الرسوبية ثلاثة أرباع مساحة سطح اليابسة تقريبًا، وتشكِّل نحو 5% من حجم الصخور الكلي في القشرة الأرضية، ويمثِّل وجودها أهمية كبيرة في حياتنا. ولكن، كيف يتكوَّن هذا النوع من الصخور؟

يبدأ تكوُّن الصخور الرسوبية من عملية التجوية التي من شأنها تكسير الصخور والمعادن المكوَّنة لها، وتفتيتها، وتحليلها، أنظر الشكل (12). يُمكن تقسيم التجوية إلى نوعين رئيسين، هما: التجوية الفيزيائية (الميكانيكية) التي ينتج منها فُتات صخريَّة مُشابهة في خصائصه للصخور الأصلية، وتحدث غالبًا في المناطق الصحراوية الجافة، والتجوية الكيميائية التي تؤدي إلى تكوُّن معادن جديدة تختلف في خصائصها عن المعادن المكوَّنة للصخر الأصلي، وهي تحدث غالبًا في المناطق الرطبة ذات درجات الحرارة المرتفعة.



الشكل (12): مراحل تكوُّن الصخور الرسوبية بفعل عمليات التجوية، والتعرية، والترسيب. أُلحِذ: أين تتكوَّن الصخور الرسوبية؟

الفكرة الرئيسة:

تتكوَّن الصخور الرسوبية نتيجة تصخُّر الرسوبيات على شكل طبقات متتالية.

لتأجأت التعلُّم:

- أتعرف كيف تتكوَّن الصخور الرسوبية.
- أصنّف الصخور الرسوبية.
- أوضِّح معالم الصخور الرسوبية.

المفاهيم والمصطلحات:

Sediments	الرسوبيات
Lithification	التصخُّر
Compaction	التراصُّ
Cementation	الالتحام
	الصخور الرسوبية الفتاتية
Clastic Sedimentary Rocks	
	الصخور الرسوبية الكيميائية

Chemical Sedimentary Rocks	
	الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية
Biochemical Sedimentary Rocks	
Graded-Bedding	التطبُّق المتدرِّج
Ripple Marks	علامات النيم
Mud Cracks	التشقُّقات الطينية

أفكر يُقسّم بعض الجيولوجيين التجوية إلى ثلاثة أنواع:

كيميائية، وفيزيائية، وحيوية؛ إذ تُسهم الكائنات الحية في تجوية الصخر.

ما علاقة الكائنات الحية بالتجوية الكيميائية، والتجوية الفيزيائية؟

أناقش زملائي / زميلاتي في النتائج التي أتوصل إليها.

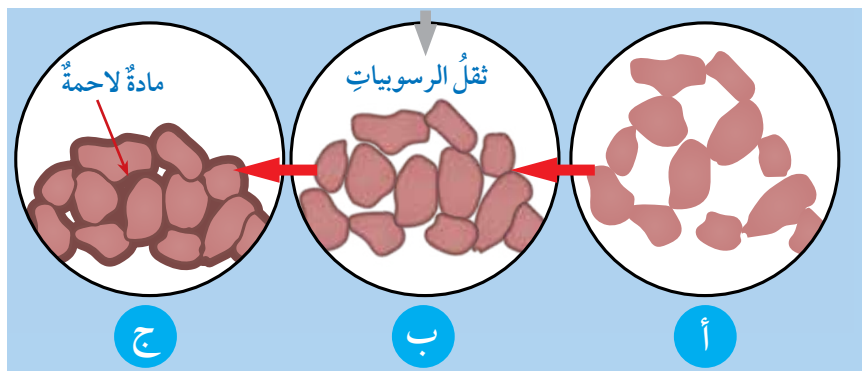
يؤثر نوع التجوية في نوع الصخر الرسوبي المتكون، ولا تبقى المواد الناتجة من عمليات التجوية في مكانها غالباً؛ إذ تحركها عملية التعرية عن طريق أحد عوامل التعرية، مثل: المياه الجارية، والرياح، والجليديات، وتنقلها إلى أماكن الترسيب (حوض الترسيب)، حيث تُلقى حمولتها بعملية الترسيب، ثم تتراكم الرسوبيات **Sediments**، وتتصخر مكونة الصخور الرسوبية بمرور الزمن.

✓ **أتحقّق:** فيم يختلف أثر التجوية الفيزيائية في الصخور عنها في التجوية الكيميائية؟

تحوّل الرسوبيات إلى صخور رسوبية

Transform of Sediments into Sedimentary Rocks

قد يتوارد إلى ذهن السؤال الآتي: كيف تتحوّل الرسوبيات إلى صخور رسوبية؟ فيجاء عن السؤال المطروح بالقول: تتعرّض الرسوبيات إلى مجموعة من العمليات، التي تكوّن الصخور الرسوبية، في ما يُعرف بعمليات **التصخّر Lithification**. فعندما تتراكم الرسوبيات فوق بعضها على شكل طبقات، وبعد مُضيّ آلاف السنين أو ملايين منها، يقلص الضغط الناتج من ثقل الرسوبيات الفراغات بين الحبيبات، فتصبح أقل حجماً، ويقلّ سُمك الطبقات، في ما يُعرف باسم **التراصّ Compaction**. وقد تتخلّل المحاليل المائية الفراغات الموجودة في الرسوبيات، فتترسب بعض المواد المعدنية التي تحملها بين الفراغات؛ ما يؤدي إلى ترابط الحبيبات، والتحام بعضها ببعض، فتحوّل إلى مادة صخرية. وتُسمى هذه العملية **الالتحام Cementation**، أنظر الشكل (13) الذي يُمثل عمليات التصخّر.



الشكل (13): عمليات التصخّر في الصخور الرسوبية.
أ - الرسوبيات الأصلية.
ب - الرسوبيات بعد تعرّضها للتراصّ.
ج - الرسوبيات بعد تعرّضها للالتحام.

✓ **أتحقّق:** ما المقصود بعمليات التصخّر؟

تصنيف الصخور الرسوبية Classification of Sedimentary Rocks

تُصنّف الصخور الرسوبية تبعاً لكيفية تكونها إلى ثلاثة أنواع رئيسية، هي: **الصخور الرسوبية الفتاتية** **Clastic Sedimentary Rocks** التي تنشأ من ترسب الفتات الصخري الناتج من التجوية الفيزيائية. **والصخور الرسوبية الكيميائية** **Chemical Sedimentary Rocks** التي تنشأ من ترسب المواد الذائبة في أحواض الترسيب، مثل البحار، بعد زيادة تركيزها. **والصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية** **Biochemical Sedimentary Rocks** التي تنشأ من تراكم بقايا الكائنات الحية الصلبة؛ الحيوانية أو النباتية، وتصخرها.

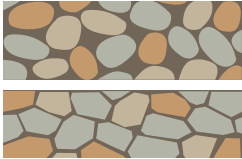
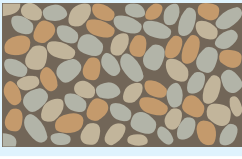
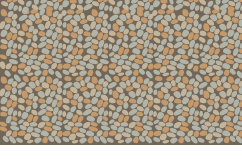
الصخور الرسوبية الفتاتية Clastic Sedimentary Rocks

تنشأ الصخور الرسوبية الفتاتية بفعل تراكم الفتات الصخري الناتج من عمليات التجوية الفيزيائية للصخور المختلفة المكتشفة على سطح الأرض، وهي تُصنّف تبعاً لحجم حبيباتها إلى أنواع من الصخور، أشهرها الصخر الرملي. ويبيّن الجدول (1) العلاقة بين حجم الحبيبات ونوع الصخر الرسوبي الفتاتي.



أعمل فيلماً قصيراً

باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker)، أوضح فيه كيفية تصنيف الصخور الرسوبية الفتاتية وأنواع الصخور التابعة لها، وأحرص على أن يشمل صوراً توضيحية، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

العلاقة بين حجم الحبيبات ونوع الصخر الرسوبي الفتاتي.			
اسم الصخر	النسيج	اسم الراسب	حجم الحبيبات
صخر الكونغلوميريت Conglomerate، أو البريشيا Breccia.		الحصباء.	2 mm <
الصخر الرملي Sandstone.		الرملي.	1/16 mm – 2 mm
الصخر الغريني Siltstone.		الغرين.	1/ 256 mm - 1/16 mm
صخر الغضار Shale. الصخر الطيني Mudstone.		الطين.	< 1/256 mm



ب- البريشيا.



أ- الكونغلوميريت.

من الأمثلة على الصخور الرسوبية الفتاتية التي يزيد حجم الحبيبات فيها على (2mm): صخر الكونغلوميريت Conglomerate، وصخر البريشيا Breccia. يمتاز صخر الكونغلوميريت من صخر البريشيا باستدارة حبيباته، ويعزو الجيولوجيون سبب ذلك إلى نقل الفتات الصخريّ المكوّن له مسافةً طويلةً من مكان تجوية الصخر الأصليّ حتّى مكان الترسيب؛ ما يؤدي إلى حثّ حوافّ الحبيبات كما في الشكل (14/ أ)، خلافاً لصخر البريشيا ذي الحبيبات المزواة الذي لم تُنقل حبيباته، أنظر الشكل (14/ ب).

الشكل (14): صخر الكونغلوميريت، وصخر البريشيا اللذان يزيد حجم حبيبات كلّ منهما على (2mm).

أما الصخر الرملّي، فيمتاز بحبيباته جيدة الاستدارة، التي يُمكن رؤيتها بالعين المُجرّدة كما في الشكل (15/ أ)، خلافاً لحبيبات صخر الغضار التي لا يُمكن تمييزها بسبب صغر حجمها، أنظر الشكل (15/ ب).

الشكل (15): الصخر الرملّي، وصخر الغضار اللذان يقل حجم حبيبات كلّ منهما عن (2mm). أُقارن بين الصخر الرملّي وصخر الغضار من حيث حجم الحبيبات.



ب- صخر الغضار.



أ- الصخر الرملّي.

الصخور الرسوبية الكيميائية Chemical Sedimentary Rocks

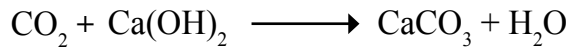
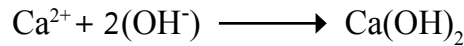


الشكل (16): صخر الجبس الذي يُعدُّ أحد الصخور الرسوبية الكيميائية.

تعرّفتُ في صفوفٍ سابقةٍ أنّ من نواتج التجوية الكيميائية إذابة بعض المعادن التي تُكوّن الصخور، وتأخذُ شكلَ أيوناتٍ تُنقلُ مع الماء إلى حوض الترسيب، حيثُ تتفاعلُ مع بعضها مُكوّنةً موادَّ جديدةً، مثلَ كربونات الكالسيوم. وعندما يزدادُ تركيزُ هذه المواد، ويصبحُ الماءُ مشبعًا بها، فإنّها تترسّب، وتتراكمُ. وبمرورِ الزمنِ تتكوّنُ الصخورُ الرسوبيةُ الكيميائيةُ، التي منها الملح الصخري، وصخرُ الجبس وبعضُ أنواعِ الصخورِ الجيرية، مثل: الترافرتين. أنظرُ الشكلَ (16).

الربط بالكمياء

* تتفاعلُ أيوناتُ الكالسيومِ (Ca^{2+}) معَ مجموعةِ الهيدروكسيد الأيونية (OH^-) لتكوينِ مُركّبِ هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$)؛ إذ يتفاعلُ مُركّبُ هيدروكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون (CO_2) لتكوينِ كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) والماء (H_2O) وفق المعادلتين الآتيتين:



الشكل (17): الصخرُ الجيريّ التي تتكوّنُ نتيجة ترسّب كربونات الكالسيوم وتصخرها في البحار.

تترسّب كربونات الكالسيوم الناتجة في حوض الترسيب (البحر). وبمرورِ الزمنِ تتراكمُ هذه الرسوبياتُ، وتتصخرُ مُكوّنةً صخورًا جيريةً، أنظرُ الشكلَ (17).
يُمكنُ تعرّفُ خصائصِ الصخورِ الرسوبيةِ الكيميائية بتنفيدِ التجربة الآتية.

* المعادلتان للاطلاع فقط.

التجربة 2

الصخور الرسوبية الكيميائية

المواد والأدوات:

صخور رسوبية كيميائية مختلفة (ملح صخري، جبس، دولوميت، صخر جير)، وحمض الهيدروكلوريك (HCl) المخفف، وعدسة مكبرة، ومطرقة، وقطارة، وأدوات تحديد القساوة.

إرشادات السلامة:

- الحذر في أثناء استعمال حمض الهيدروكلوريك المخفف، والمطرقة.
- غسل اليدين جيدًا بالماء والصابون بعد تنفيذ التجربة.

خطوات العمل:

1. أنفحص العينات الصخرية بالعين المجردة، وبالعدسة المكبرة، ثم أدون لون الصخر ونسيجه.
2. أضع قطرة من حمض الهيدروكلوريك المخفف على كل عينة صخرية، ملاحظًا ما يحدث، ثم أدون ملاحظاتي.
3. أفحص قساوة العينات الصخرية (أيها قاس؟ أيها لين؟)، ثم أدون ملاحظاتي.

4. أستخدم شبكة الإنترنت في الحصول على صور لشرائح رقيقة (Thin Sections) تظهر تحت المجهر المستقطب، وتمثل كل صخر من الصخور التي فُحصت.
5. **ألاحظ** المعادن المكونة للصخور في هذه الصور من حيث جومها وألوانها، ثم أدون ذلك.

التحليل والاستنتاج:

1. **استنتج**: باستعمال العين المجردة أو العدسة المكبرة، هل يمكن تصنيف الصخور الرسوبية الكيميائية بناءً على حجم الحبيبات؟ مبيّن السبب.
2. **أقارن** بين العينات الصخرية؛ أيها تفاعلت مع حمض الهيدروكلوريك المخفف بصورة كبيرة؟ أيها لم تتفاعل مع هذا الحمض؟
3. **أقارن** بين العينات الصخرية من حيث القساوة.
4. **أفسر**: أيهما أكثر دقة: تصنيف الصخور الرسوبية الكيميائية بعد دراستها تحت المجهر أم بالعين المجردة والعدسة المكبرة؟

تُصنّف الصخور الرسوبية الكيميائية تبعًا لتركيبها الكيميائي من المعادن؛ إذ إن لكل صخر رسوبي كيميائي مكونات معدنية خاصة به، مثل الملح الصخري الذي يتكوّن بصورة رئيسية من معدن الهاليت. تمتاز الصخور الرسوبية الكيميائية بحبيباتها الصغيرة التي لا يمكن تمييزها بالعين المجردة، وهي تختلف في خصائصها، مثل: القساوة، واللون، وشدة التفاعل مع الحموض.

الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية

Biochemical Sedimentary Rocks

تتكوّن هذه الصخور من رسوبيات نتجت بفعل عمليات حيوية؛ إذ تأخذ الكائنات الحية البحرية المعادن الذائبة في الماء لتكوّن الجزء الصّلب من أجسامها. وعند موت هذه الكائنات، فإنّ هياكلها الصّلبة تترسّب في قاع حوض الترسيب. وبمرور الزمن تتراكم هذه الرسوبيات، وتتصخّر مُكوّنةً صخوراً رسوبية كيميائية حيوية. من أهمّ أنواع هذه الصخور: صخر الفوسفات الذي يتكوّن من تراكم بقايا عظام الكائنات البحرية، وصخر الفحم الحجريّ الذي يتكوّن نتيجة دفن بقايا النباتات دفناً سريعاً في المستنقعات، وصخر الطباشير الذي يتكوّن في معظمه من بقايا أصداف مجهرية لكائنات حية مُكوّنة من كربونات الكالسيوم، وصخر الكوكينا الذي يتكوّن من بقايا أصداف الكائنات الحية، وصخر الصّوان الذي ينتج من تجمع أصداف سيليكاتية لكائنات حية دقيقة مثل الدياتوم في البيئات البحرية، أنظر الشكل (18) الذي يُبيّن بعض أنواع الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية.

الشكل (18): بعض أنواع الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية.



ب- الصّوان.



أ- الكوكينا.

معالم الصخور الرسوبية Features of Sedimentary Rocks

تنفرد الصخور الرسوبية بمعالمٍ عدَّةٍ تُميِّزها من غيرها من الصخور، ويستفيد منها الجيولوجيون في تعرُّفِ بيئةِ تكوينها. من أهمِّ هذه المعالم:

التطبُّق Bedding

تمتاز الصخور الرسوبية بوجودها على شكل طبقاتٍ متتاليةٍ مختلفة السُّمك. ومن أشهر أنواع الطبُّق **التطبُّق المُندرج Graded Bedding**؛ فكلُّما اتَّجهنا إلى أسفل الطبقة، ازداد حجم الحبيبات المكوِّنة لها.

المحتوى الأحفوري Fossil Content

تمتاز الصخور الرسوبية من بقية أنواع الصخور الأخرى بقدرتها على الاحتفاظ بالأحافير، وهي بقايا وآثار لكائنات حية عاشت في ما مضى، وقد استفاد منها العلماء في تعرُّف تاريخ الطبقات الجيولوجي، والبيئات، والمناخ السائد وقت تكوينها.

علامات النيم Ripple Marks

تُعرَّف **علامات النيم Ripple Marks** بأنها تموجاتٌ صغيرةٌ تكونت بفعل مياه الأنهار، أو الأمواج البحرية، أو الرياح، وحُفظت على بعض سطوح طبقات الصخور الرسوبية. وقد استدلَّ الجيولوجيون من توافر علامات النيم في الصخور الرسوبية على بيئة الترسيب التي سادت المنطقة (نهرية أو بحرية شاطئية)، وعلى اتجاه التيار الناقل.

التشقُّقات الطينية Mud Cracks

تنتج **التشقُّقات الطينية Mud Cracks** عندما تجفُّ الرسوبيات الطينية، فتتكسُّ المعادن المكوِّنة لها مسبِّبةً تشقُّقات. وعند ترسُّب موادٍ مختلفةٍ عنها تملأ الشقوق بتلك المواد، وتحتفظُ بشكلها. تشير هذه التشقُّقات إلى تعرُّض الرسوبيات للجفاف، أنظر الشكل (19) الذي يُمثل بعض المعالم المُميزة للصخور الرسوبية.

✓ **أتحقَّق:** ما أكثر المعالم المُميزة للصخور الرسوبية؟



أ- الطبُّق المُندرج.



ب- علامات النيم.



ج- التشقُّقات الطينية.

الشكل (19): بعض المعالم المُميزة للصخور الرسوبية.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أصفُ الشكل الذي تتصخّر فيه الرسوبيّات.
2. أوضّح كيف تُصنّف الصخور الرسوبية الفُتاتية، ثمّ أذكرُ مثالاً على صخر رسوبيّ فُتاتيّ.
3. **أقارن** بين الصخور الرسوبية الفُتاتية والصخور الرسوبية الكيميائية من حيث طريقة التكوّن.
4. أوضّح العلاقة بين التعرية وتكوّن الصخور الرسوبية الفُتاتية.
5. **أستنتج**: ماذا يُمكن أن يستخلص الجيولوجيون من وجود التطبّق المُتدرّج في إحدى الطبقات الرسوبية؟
6. **أفسّر** العبارة الآتية:
"تُسهم عملية الالتحام في زيادة قوّة تماسك الصخر الرسوبيّ."
7. **أطرح سؤالاً** إجابته: صخر الكونغلوميريت.

أنواع التحول Types of Metamorphism

درستُ سابقاً في موضوع (دورة الصخور) أنَّ الصخور تنصهر، ثمَّ تتحوَّل إلى ماغما عند تعرُّضها لدرجات حرارة عالية أكبر من درجة انصهار المعادن المكونة لها. ولكن، إذا كانت درجة الحرارة التي تتعرَّض لها الصخور أقلَّ من درجة الانصهار، فإنَّها تتحوَّل إلى صخور من نوع آخر.

يُعرَّف التحول Metamorphism بأنَّه التغيُّر الذي يطرأ على نسيج الصخر، أو تركيبه المعدني، أو كليهما معاً وهو في الحالة الصلبة، مُنتجاً بذلك صخوراً جديدة تُعرَّف باسم الصخور المتحولة Metamorphic Rocks. فما عوامل التحول؟ ما أنواع التحول؟

تُعَدُّ الحرارة أحد أهمَّ عوامل التحول، وهي تنشأ نتيجة دفن الصخر الأصلي في أعماق كبيرة بباطن الأرض، أو بسبب ملاصقة الصخر ماغما مُندفعة من باطن الأرض، حيث تعمل الحرارة على إضعاف الروابط الكيميائية بين الأيونات والذرات المكونة للمعادن، ثمَّ تسهيل حركة الأيونات وانتقالها من معدن إلى آخر، فتكوِّن معادن جديدة؛ ما يتسبَّب في تكوِّن صخر مُتحول جديد. أما العامل الثاني، فهو الضغط الذي ينشأ إما بسبب الدفن في باطن الأرض، (كلَّما ازداد العمق، ازداد الضغط بفعل وزن الصخور الواقعة فوقها)، وإما بسبب تصادم الصفائح الأرضية المُتقاربة التي تتسبَّب في تكوِّن السلاسل الجبلية. تُسمُّه المحاليل المائية الحارة (الحرمائية) أيضاً بفاعلية في عمليات التحول؛ إذ تساعد على إعادة تبلور المعادن المكونة للصخر عبر نقل الأيونات بسهولة.

توجد أنواعٌ متعدِّدة من التحول، يعتمد كلُّ منها على عامل التحول المؤثر فيها. ومن هذه الأنواع: التحول بالدفن، والتحول الإقليمي، والتحول التماسي، والتحول الحرمائي.

الفكرة الرئيسة:

تكوِّن الصخور المتحولة من صخور نارية، أو رسوبية، أو مُتحولة تعرَّضت لعوامل عدَّة، منها: الضغط، والحرارة، والمحاليل الحرمائية.

نتائج التعلم:

- أحدد العوامل التي تؤدي إلى تكوِّن الصخور المتحولة.
- أصف الصخور المتحولة.
- أقارن بين أنواع الصخور المتحولة من حيث الخصائص.
- أبين دور الصخور في دعم الاقتصاد المحلي.

المفاهيم والمصطلحات:

التحول	Metamorphism
تحول بالدفن	Burial Metamorphism
تحول إقليمي	Regional Metamorphism
تحول بالتماس	Contact Metamorphism
تورق	Foliation
غير متورق	Non-Foliated

التحول بالدفن Burial Metamorphism

يحدث التحول بالدفن Burial Metamorphism نتيجة دفن الصخور الرسوبية في أعماق كبيرة بباطن الأرض، حيث تتعرض الصخور لدرجات حرارة وضغط مرتفعين؛ ما يتسبب في بدء عملية التحول، ثم إنتاج صخور متحوّلة.

التحول الإقليمي Regional Metamorphism

يحدث التحول الإقليمي Regional Metamorphism مصاحباً لحدود الصفائح الأرضية المتقاربة؛ إذ يؤثر الضغط والحرارة المرتفعان في مساحة واسعة من الصخور، ما يتسبب في إعادة تبلور المعادن المكونة لها، وتكوين معادن جديدة، فتنتج صخوراً جديدةً تمتاز بنسيجها الذي يكون على شكل طبقات رقيقة بسبب تأثير الضغط والحرارة.

من أشهر الصخور المتحوّلة التي تنجم عن التحول الإقليمي: صخور الشيسيت، وصخور الناييس، أنظر الشكل (20) الذي يُمثل أحد هذه الصخور.

التحول التماسي Contact Metamorphism

يحدث التحول بالتماس Contact Metamorphism عندما تلامس الماغما المندفعة من باطن الأرض - في أثناء حركتها - صخوراً قديمة تكون قريبة منها، أو تمرّ خلالها، فترتفع درجة حرارة الصخور؛ ما يؤدي إلى حدوث تغيير في تركيبها المعدني، فتتحول إلى صخور من نوع آخر. يكون التحول التماسي محدوداً مقارنةً بالتحول الإقليمي، ومن أمثلته الرخام الذي ينتج من تحول الصخر الجيري كما في الشكل (21).

✓ **أتحقق:** كيف يحدث التحول التماسي؟



الشكل (20): صخر الشيسيت الذي يتكوّن نتيجة التحول الإقليمي.



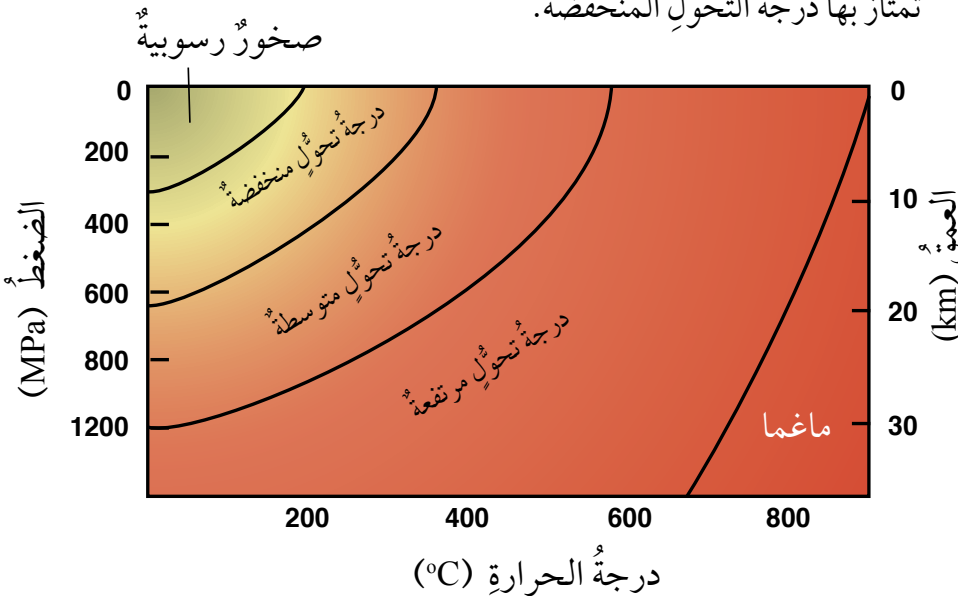
الشكل (21): صخر الرخام الذي يتكوّن نتيجة التحول التماسي.

درجات التحول Grades of Metamorphism

تتعرّض الصخور المُتحوّلة لدرجاتٍ مختلفةٍ من الحرارة، أو الضغط، أو كليهما معاً؛ ما يؤدي إلى تكوّن صخورٍ مُتنوّعةٍ تختلفُ عن بعضها في التركيب المعدنيّ والنسيج، ويُسمّى هذا الاختلافُ درجاتِ التحول. فمثلاً، عندما يتعرّض صخرُ الغضارِ Shale الرسوبيّ إلى ضغطٍ وحرارةٍ قليلين نسبياً، بحيثُ تتراوحُ درجةُ الحرارة بين (200 °C - 320 °C)، ويكونُ الضغطُ منخفضاً، فإنّه يتحوّل إلى صخرٍ آخرٍ يُسمّى الأردواز Slate، وتكونُ درجةُ التحولِ في هذه الحالة منخفضةً، أنظرُ الشكل (22) الذي يُبيّنُ درجاتِ التحولِ المختلفةِ وعلاقتها بالحرارة والضغط.

عند زيادة درجة التحول، يتكوّن صخرٌ جديدٌ يُسمّى الفيليت Phyllite، وهو يختلفُ عن صخرِ الأردواز بزيادة حجم بلّورات المعادن المُكوّنة له. وعندما تكونُ درجةُ التحولِ متوسطةً، يتكوّن صخرُ الشيست Schist الذي يمتازُ بنسيجه المتورّق، وتصبحُ المعادن المُكوّنة له أكبر حجماً، ويمكنُ رؤيتها بالعين المُجرّدة. أمّا في درجاتِ التحولِ العليا، فإنّ المعادن تتمايزُ بشرائطٍ متتابعةٍ بألوانٍ غامقةٍ وفاتحةٍ، ويتكوّن صخرُ الناييس Gneiss، وتتكوّن فيه معادنٌ جديدةٌ مثلُ السيليمينيت.

✓ **أنتحقق:** أصِفْ من الشكل الآتي درجات الحرارة والضغط التي تمتازُ بها درجةُ التحولِ المنخفضة.



الشكل (22): درجات التحول في الصخور المُتحوّلة.

أستنتج: أيّ الصخور تتكوّن في أعلى درجة تحول؟

تصنيف الصخور المتحولة Classification of Metamorphic Rocks

تُصنّف الصخور المتحولة تبعاً لنسيجها ومكوناتها المعدنية إلى مجموعتين رئيسيتين، هما: الصخور المتحولة المتورقة Foliated Metamorphic Rocks، والصخور المتحولة غير المتورقة Non-Foliated Metamorphic Rocks.

الصخور المتحولة المتورقة Foliated Metamorphic Rocks

صخور تتكوّن بتأثير الحرارة المرتفعة والضغط الموجه Directed Pressure، وهو الضغط الذي لا يكون متساوياً في الاتجاهات جميعها، ويرافق غالباً عملية التحول الإقليمي Regional Metamorphism. في هذا النوع من التحول تترتب بلورات بعض المعادن المكونة للصخر متعامدة مع اتجاه الضغط المؤثر فيه، فتظهر المعادن على شكل طبقات رقيقة، ويُعرف هذا النسيج باسم **التورق Foliation**، ويُعدّ صخر الشيست واحداً من الصخور المتورقة.

عند زيادة الضغط والحرارة تنفصل المعادن الغامقة عن المعادن الفاتحة، فيظهر الصخر على شكل شرائط مميزة فاتحة وغامقة اللون، ومن أمثله صخر الناييس، أنظر الشكل (23).

الصخور المتحولة غير المتورقة Non-Foliated Metamorphic Rocks

صخور تتكوّن بتأثير الحرارة المرتفعة والضغط المنخفض، أو الضغط المحصور Uniform Pressure، وهو الضغط المتساوي في الاتجاهات جميعها، وهي تنشأ عادةً من التحول التماسي قرب اندفاعات الماغما. يمتاز هذا النوع من الصخور باحتوائه على معادن ذات بلورات متساوية في الحجم، مثل بلورات الكوارتز والكالسيت، ولها نسيج غير متورق Non-Foliated.

بوجه عام، يتكوّن هذا النوع من الصخور المتحولة من معدن واحد فقط، ومن أمثله صخر الرخام الناتج من تحول الصخر الجيري الذي يتكوّن من معدن الكالسيت، وصخر الكوارتزيت الناتج من تحول الصخر الرملي الذي يتكوّن من معدن الكوارتز، أنظر الشكل (24).

✓ **أتحقّق:** لماذا يُعدّ صخر الشيست صخرًا متورقًا؟



الشكل (23): عند تعرّض صخر الغرانيت لضغط موجه كبير في التحول الإقليمي، يعاد ترتيب المعادن المكونة له، فيتحول إلى نوع جديد من الصخور هو الناييس.



الشكل (24): صخر الكوارتزيت الذي ينتج من تحول الصخر الرملي عند تعرّضه لحرارة مرتفعة في التحول التماسي.

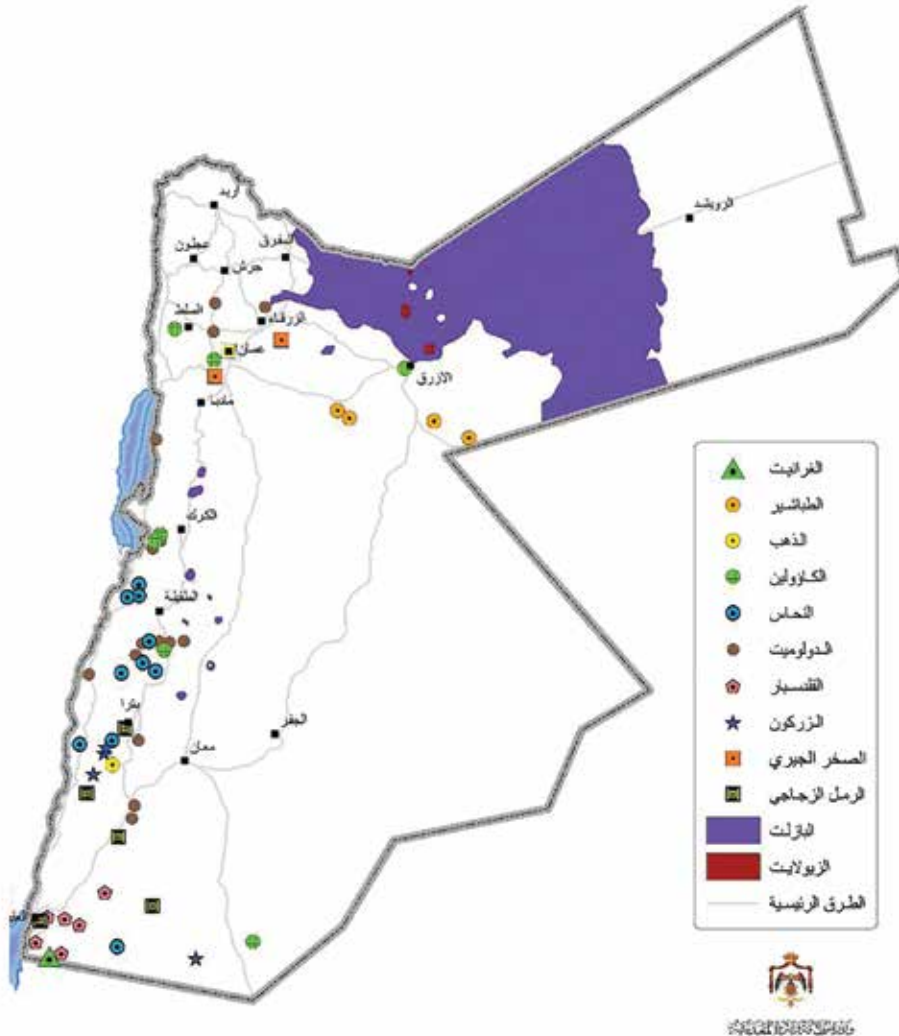
الأهمية الاقتصادية للصخور The Economic Importance of Rocks

للصخور بأنواعها الثلاثة: النارية والرسوبية والمتحولة، وما تحتويه من خامات معدنية، أهمية كبيرة في حياتنا؛ إذ إنّها تدخل في صناعة معظم المواد المحيطة بنا. وتتميز معظم الصخور بصلابتها وألوانها المتعددة؛ لذا نجدّها تدخل في مجالات عدّة؛ فالصخر الجيريّ وصخر الرّخام، والجبس -مثلاً- يدخل في البناء والديكورات، أمّا صخر الغرانيت وصخر البازلت فيُستخدم في صناعة الخرسانة ورصّ الطرق والسكك الحديدية.

وتحتوي معظم الصخور عدّة معادن سيليكاتية تُستخدم في صناعة الزجاج والسيراميك والصناعات الإلكترونية. وتحتوي أنواع من الصخور معادن لها قيمة اقتصادية كبيرة، مثل: معادن الذهب والفضة والنحاس والرصاص. ويوجد في الأردنّ كثير من أنواع الصخور والخامات المعدنية. أنظر الشكل (25) الذي يبيّن أماكن بعض الصخور والخامات المعدنية في الأردنّ.

الربط بالتاريخ

استخدم الإنسان قديماً الصخور بطرائق مختلفة. أبحث في مصادر المعرفة المتوافرة عن أنواع هذه الصخور، وكيفية معالجته إياها، ومجالات استعماله لها.



الشكل (25) أماكن بعض الصخور والخامات المعدنية في الأردنّ. أحدّد أماكن الرمل الزجاجي في الأردنّ.

للصخور والخامات المعدنية في الأردن استخدامات عديدة،
أنظر الجدول (2) الذي يبين أهم تلك الاستخدامات.

الجدول (2):	استخدامات الصخور والخامات المعدنية في الأردن
الصخر والخام المعدني	الاستخدام
الذهب	الحلي والصناعات الإلكترونية
الكاؤولين	صناعة السيراميك
الملاكييت والأزوريت (خام النحاس)	صناعة الأسلاك الكهربائية
الدولوميت	البناء، ويُعد مصدرًا لعنصر المغنيسيوم
الفلسبار	صناعة الزجاج والسيراميك
الرمل الزجاجي	صناعة الزجاج، والصناعات الإلكترونية
صخر الجبس	عمل التصاميم (الديكور)، وصناعة الإسمنت
معادن البوتاس	صناعة الأسمدة
الصخر الجيري	البناء، وصناعة الإسمنت
معدن الكوارتز	الصناعات الإلكترونية
الترافرتين	بلاط الجدران والأرضيات
معدن الزركون	صناعة قوالب الصب، ومعالجين الأسنان
الصخر الزيتي	إنتاج الطاقة
صخر البازلت	صناعة الصوف الصخري، والبناء
صخر الفوسفات	صناعة الأسمدة الزراعية وحمض الفسفوريك
الزيولايت	الزراعة، وتنقية المياه

✓ **أتحقق:** أذكر أسماء ثلاثة معادن تتوافر في الأردن، مُحدِّدًا استخدامًا واحدًا لكل منها.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أذكر العوامل التي تسهم في تحوُّل الصخور.
2. **أفسر:** لماذا لا يُعدُّ صخر الرخام صخرًا مُتورِّقًا؟
3. **أقارن** بين التحوُّل بالدفن والتحوُّل التماسي من حيث العوامل المؤثرة في كل منهما.
4. **أستنتج:** إذا تعرَّضت الصخور لمحاليل مائية حارَّة جدًا، فماذا يحدث لها؟
5. **أتوقع:** إذا تعرَّضت صخور الشيست لضغطٍ وحرارةٍ إضافيين، فماذا يحدث لها؟
6. أذكر أماكن الزركون في الأردن، مُحدِّدًا استعمالًا واحدًا له.

تدخل الصخور في صناعة عديد من المنتجات التي يستعملها الإنسان في حياته اليومية. ومن هذه المنتجات الصوف الصخري، وهو مادة عازلة تمتاز بمقاومتها الحرائق بسبب درجة انصهارها العالية، وبقدرتها على العزل الحراري والعزل الصوتي؛ لذا تُستخدم في عزل جدران المباني، وفي صناعة بعض الأدوات الكهربائية، مثل المكيفات والثلاجات، فضلاً عن استخدامها في الزراعة.

يُصنع الصوف الصخري عن طريق صهر صخر البازلت في أفران خاصة تصل فيها درجة الحرارة إلى (1600 °C)، ثم تُحرك الصهارة على نحو دائري في عجلة الغزل بسرعة كبيرة. وفي أثناء ذلك يُسلط عليها تيار هوائي شبيه بما في آلة غزل الحلوى، فتتج خيوط رفيعة متشابكة، ثم تُجمع بأشكال مختلفة.

تشير الدراسات إلى أن الصوف الصخري آمن، وغير مُضر بصحة الإنسان. وصناعة الصوف الصخري من الصناعات الواعدة المُجدية اقتصادياً، ويوجد في الأردن عدد من مصانع الصوف الصخري التي تُنتج أنواعاً مختلفة منه.

أبحث في مصادر المعرفة المتوفرة عن استخدامات أخرى لصخر البازلت، مُبيناً فوائده الاقتصادية، ثم أكتب مقالة عن ذلك.

السؤال الأول:

أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

1. من الصخور النارية الجوفية:

أ - الأنديزيت. ب- البازلت.

ج- الريوليت. د - الغرانيت.

2. أقل الصخور وفرة بالسيليكا هي الصخور:

أ - الفلسية. ب- المتوسطة.

ج- المافية. د - فوق المافية.

3. الصخر الذي يتفاعل بشدة مع حمض الهيدروكلوريك المخفف هو:

أ - الصخر الجيري. ب- الجبس.

ج- الملح الصخري. د - الدولوميت.

4. الصخر الرسوبي الذي يقل حجم حبيباته عن (1/256 mm) هو:

أ - الصخر الرملي. ب- الكونغلوميريت.

ج- البريشيا. د - الغضار.

5. من الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية:

أ - الصخر الرملي. ب- الصخر الجيري.

ج- صخر الكوكينا. د - صخر الغضار.

6. من الصخور المتحولة غير المتورقة صخر:

أ - النايس. ب- الشيست.

ج- الأردواز. د - الرخام.

السؤال الثاني:

أملأ الفراغ في ما يأتي بما هو مناسب من المصطلحات:

أ -: صهير سيليكاتي يتكون معظمه

من السيليكا، ومن غازات أهمها بخار الماء.

ب-: أحد أشكال الصخور النارية، يوجد

قرب سطح الأرض، وهو مُدَبَّب الشكل من الأعلى.

ج-: عملية يتم فيها ترابط

الحبيبات، وتنتج من ترسب المواد المعدنية التي

تحمّلها المحاليل المائية في الفراغات الموجودة في الرسوبيات.

د -: تموجات صغيرة تنتج بفعل

مياه الأنهار، أو الأمواج البحرية، أو الرياح،

وتكون محفوظة على سطح طبقة الصخر

الرسوبي.

هـ -: صخور تنشأ نتيجة تبريد

الماغما ببطء في باطن الأرض.

السؤال الثالث:

أحدد الفرق بين القواطع النارية والمُنْدَسَاتِ النارية.

السؤال الرابع:

أفسر كلاً مما يأتي تفسيراً علمياً دقيقاً:

أ - تمتاز الصخور النارية السطحية ببلوراتها صغيرة

الحجم التي لا ترى بالعين المجردة.



ب - لا يُعد نسيج صخر الأوبسيديان نسيجاً ناعماً.

ج - تمتاز الصخور الفلسية بلونها الفاتح، في حين

تمتاز الصخور المافية بلونها الغامق.

د - لا يوجد نسيج متورق في صخور الكوارتزيت.

السؤال الخامس:

أقارن بين كل زوج مما يأتي:

أ - الماغما واللابئة من حيث أماكن وجودها،

ومكوّناتها.

ب- التحول الإقليمي والتحول التماسي من حيث عامل

التحول المؤثر، ومساحة الصخور المتحولة.

السؤال السادس:

أوضح كيفية تكوّن النسيج الفقاعي.



السؤال السابع:

أصنّف الصخور النارية الآتية تبعاً لمحتواها من السيليكا، من الأكثر إلى الأقل:
الغابرو، البيريدوتيت، الغرانيت، الديوريت.

السؤال الثامن:

أقوّم العبارة الآتية:

"يحتوي الصخر الرملي على معادن تختلف عن المعادن المكوّنة للصخر الأصلي بسبب حدوث تجوية كيميائية للصخر الأصلي."

السؤال التاسع:

أستنتج: ما الذي يمكن استخلاصه عن البيئات الرسوبية عند دراسة تتابع طبقيّ مكوّن من صخر الكونغلوميريت؟

السؤال العاشر:

أوضح: كيف تتكوّن الصخور الرسوبية الكيميائية؟

السؤال الحادي عشر:

عثر أحد الجيولوجيين على آثار لتشقّقات طينية على سطح إحدى الطبقات، علام يُستدلّ من وجودها؟



السؤال الثاني عشر:

أرتّب الصخور المتحوّلة الآتية من الأكثر درجة تحوّل إلى الأقلّ منها:
الشيست، الفيليت، النايس، الأردواز.

السؤال الثالث عشر:

أستنتج: لماذا يمكن رؤية البلّورات المكوّنة لصخر النايس بالعين المجردة، ولا يمكن تمييزها في صخر الأردواز؟

السؤال الرابع عشر:

أذكر أسماء ثلاثة صخور توجد في الأردن، محدّداً استخدام كلّ منها.

السؤال الخامس عشر:

أصوغ فرضيةً توضح سبب مقاومة الصخور المتحوّلة للعمليات الجيولوجية المختلفة مثل التجوية بشكل أكبر من الصخور الرسوبية المتشكّلة منها.

السؤال السادس عشر:

أطرح سؤالاً إجابته: عمليات التصخّر.

النجوم Stars

قال تعالى:

﴿ فَلَا أُقْسِمُ بِمَوَاقِعِ النُّجُومِ ﴿٧٥﴾ وَإِنَّهُ لَقَسَمٌ لِّوَعَّامُونَ عَظِيمٌ ﴿٧٦﴾ ﴾

(الواقعة، الآيتان: 75 - 76).

أتأمل الصورة

تُمثِّلُ الصورةُ سحابةَ ماجلان الصغرى Small Magellanic Cloud التي تحوي عددًا هائلًا من النجوم المختلفة. فيمَ تختلفُ النجومُ عن بعضها؟

الفكرة العامة:

النجوم أجرامٌ سماويةٌ يختلفُ بعضها عن بعضٍ في الصفاتِ، ولكلٍّ منها دورةٌ حياةٍ.

الدرس الأول: ماهية النجوم.

الفكرة الرئيسة: النجوم أجرامٌ سماويةٌ مضيئةٌ بذاتها يختلفُ بعضها عن بعضٍ في الصفاتِ، مثل: اللونِ، والكتلةِ، والحجمِ.

الدرس الثاني: الأنظمة النجمية والكوكبات.

الفكرة الرئيسة: توجدُ النجومُ ضمنَ أنظمةٍ مختلفةٍ في السماءِ، وترتبطُ في ما بينها ارتباطاً جدياً، وقد توجدُ في مجموعاتٍ لا ترتبطُ فيها ارتباطاً جدياً، وقد تكونُ منفردةً مثلَ الشمسِ.

الدرس الثالث: دورة حياة النجوم.

الفكرة الرئيسة: تمرُّ النجومُ بمراحلٍ عمريةٍ مختلفةٍ طويلةٍ جداً قد تبلغُ ملياراتِ السنينِ اعتماداً على كتلتها.

النجوم من حولنا

النجوم أجرامٌ سماويةٌ مضيئةٌ بذاتها، وهي تختلفُ عن بعضها في الصفاتِ، مثل: اللون، والكتلة، والحجم. المواد والأدوات: صورةٌ تمثلُ جزءًا من السماءِ يحوي مجموعةً من النجوم، و (3) بطارياتٍ، وأسلاكٌ، و (6) مصابيحٍ مختلفةٍ الألوانِ والحجوم، ومفتاحٌ، وكرتونٌ مقوّى، وألوانٌ، ومقصٌّ، ومسطرةٌ، وقلمٌ.



إرشادات السلامة:

- الحذرُ في أثناء استخدام المقصّ.
- غسلُ اليدين جيدًا بالماءِ والصابونِ بعدَ استخدام الألوان.

خطوات العمل:

- 1 مُستخدمًا القلمَ والمسطرةَ، أرسمُ على قطعةِ الكرتونِ مستطيلًا أبعادهُ (40 cm × 30 cm). (يُمكنُ رسمُ أيِّ شكلٍ هندسيٍّ).
- 2 أقصُ المستطيلَ (الشكلَ الهندسيَّ) الذي رسمتهُ باستخدام المقصّ.
- 3 أرسمُ على المستطيلِ النجومَ الظاهرةَ في الصورة، التي تمثلُ جزءًا من السماءِ، مراعيًا الأبعادَ المناسبةَ له، ومُنتبهًا للنجومِ المُرقّمةِ.
- 4 أثقبُ النجومَ المُرقّمةَ التي رسمتها.
- 5 ألونُ المستطيلَ باللونِ الأسودِ، وأستخدمُ الألوانَ المختلفةَ في عملِ خلفيةٍ تمثلُ الفضاءَ.
- 6 على الجهةِ الخلفيةِ من المستطيلِ، أصمّمُ دائرةً كهربائيةً، ثم أثبتُ المصابيحَ في الثقوبِ التي صنعتها، ثم أعملُ على توصيلها جميعًا على التوالي.
- 7 **ألاحظُ** النجومَ في الدائرةِ الكهربائية عندَ إغلاقِها.

التحليل والاستنتاج:

1. أصِفُ كيفَ تبدو النجومُ (متفرقةٌ أم مُتجمعةٌ).
2. **أتنبأُ:** لماذا تختلفُ ألوانُ النجومِ وحجومُها في السماءِ؟
3. أحدّدُ: ما الشكلُ الذي تَظهرُ عليه النجومُ التي تقعُ أقصى اليسارِ من نموذجي؟
4. أكتبُ فقرةً تتضمنُ المعلوماتِ التي توصلتُ إليها عن النجومِ.

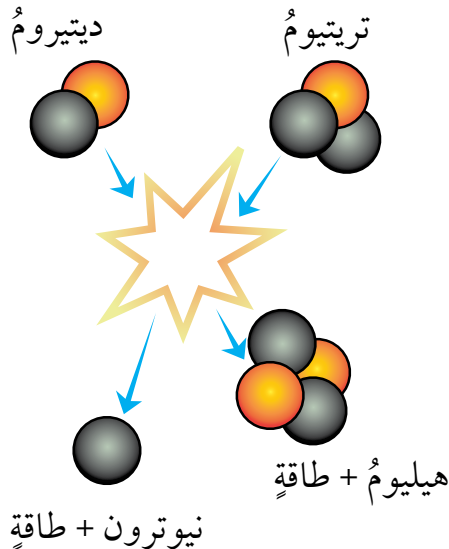
ما النجم؟ What Is The Star?

يُعرَّف النجم Star بأنه جرم سماوي كروي يتكوّن من غاز ساخن مُتأين، يغلب على مُكوّناته نوى عناصر الهيدروجين والهيليوم، ونسب قليلة من عناصر أخرى، مثل: الكربون، والنيتروجين، والأكسجين، والحديد، وهو يُصدر طاقة حرارية وضوئية.

لم يتمكن العلماء من الوصول إلى النجوم، ولكنهم توصّلوا إلى معرفة صفاتها المختلفة، مثل: لونها، وكتلتها، وحجمها، ودرجات حرارتها، وذلك بتحليل أطياف الأشعة المنبعثة منها، وستحدث عن بعض هذه الخصائص في درسنا هذا.

ولكن، ما مصدر الطاقة في النجوم؟

تنشأ هذه الطاقة عن الاندماجات النووية Nuclear Fusions التي تحدث في قلب النجم؛ إذ تتحد النوى الخفيفة لنظائر الهيدروجين (الديتيريوم $(1H^2)$ ، والتريتيوم $(1H^3)$) لإنتاج نواة أثقل، هي نواة الهيليوم. ونظراً إلى فرق الكتلة بين المواد المتفاعلة والمادة الناتجة من التفاعل؛ تتجّ كميات كبيرة من الطاقة تصل الأرض في صورة حرارة وضوء. يحدث هذا الاندماج تحت ضغوط هائلة، ودرجات حرارة مرتفعة جداً في قلب النجم، أنظر الشكل (1) الذي يُمثّل تفاعلات الاندماج النووي في قلب النجم.



الشكل (1): تفاعلات الاندماج النووي في قلب النجم التي تُمثّل مصدر الطاقة فيها.

أبين في معادلة كيميائية تفاعلات الاندماج النووي في قلب النجم.

الفكرة الرئيسة:

النجوم أجرام سماوية مضيئة بذاتها، يختلف بعضها عن بعض في الصفات، مثل: اللون، والكتلة، والحجم.

نتائج التعلم:

- أوضح المقصود بكل من: النجم، والاندماجات النووية، والسطوع.
- أبين مصدر الطاقة في قلب النجم.
- أربط بين درجة حرارة النجم ولونه.
- أذكر أمثلة على نجوم مختلفة الألوان والحجوم.
- أستنتج العلاقة بين حجم النجم ودرجة حرارته من جهة، وسطوعه من جهة أخرى.

المفاهيم والمصطلحات:

Star	النجم
Nuclear Fusion	الاندماج النووي
Luminosity	سطوع النجوم

✓ **أتحقّق:** أوضح المقصود بالنجم.

سطوع النجوم Luminosity

عند النظر إلى السماء ليلاً نجد أن النجوم تتفاوت في صفاتها، مثل: الحجم، واللون؛ فمنها ما يمكن تمييزه، ومنها ما هو خافت لا يكاد يُرى بالعين المجردة.

تتفاوت أيضاً كمية الطاقة التي يشعها النجم فعلياً في الثانية الواحدة، في ما يُعرف بـ **سطوع النجم Luminosity**. يعتمد سطوع أي نجم على عاملين، هما: درجة حرارة سطح النجم، وحجمه، ويتناسب السطوع مع كليهما طردياً.

درجة حرارة سطوح النجوم وألوانها

Surface Temperature of Stars and their Colors

قد تبدو جميع النجوم أول نظرة نقاطاً لامعة مضيئة في السماء. ولكن، إن نظرنا إليها باستخدام المقراب سنجد أنها مختلفة في ألوانها كما في الشكل (2)؛ إذ إنها تلمع مثل الجواهر الملونة على خلفية مخملية سوداء.

تختلف ألوان النجوم بسبب اختلاف درجات حرارتها السطحية؛ فالنجوم الحمراء والبرتقالية تمثل أقل النجوم درجة حرارة. أما النجوم ذات اللون الأصفر، فتكون متوسطة درجة الحرارة، في حين يشير اللون الأزرق إلى أكثر النجوم درجة حرارة، ويزداد سطوع النجوم بزيادة درجة الحرارة.

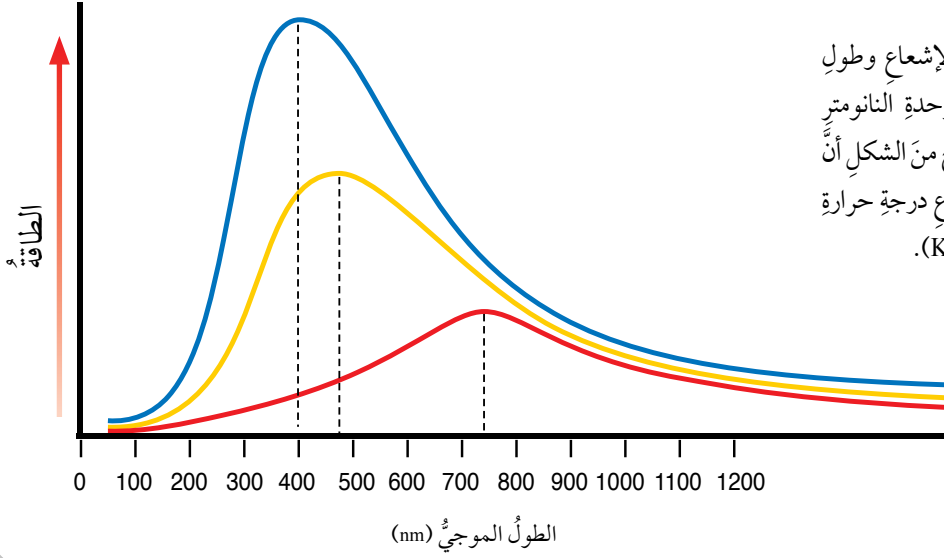
الربط بالفيزياء

يشع النجم عند درجة حرارة معينة حزمة من الموجات المتقاربة في طولها الموجي، تتمركز حول موجة محورية تحمل أكبر كمية من الطاقة، وتسمى موجة الذروة λ ، حيث تتناسب درجة الحرارة عكسياً مع الطول الموجي؛ فكلما زادت درجة حرارة سطح النجم قصر الطول الموجي لأشعته (يميل لونه إلى الأزرق)، وكلما انخفضت درجة حرارة سطح النجم زاد الطول الموجي لأشعته (يميل لونه إلى الأحمر)، أنظر الشكل (3).



الشكل (2): نجوم مختلفة الألوان التقطت صورتها باستخدام مقراب هابل الفضائي. أوضح: ما الألوان التي تظهر بها النجوم؟

✓ **أنحقق:** أذكر العوامل التي يعتمد عليها سطوع النجوم.



الشكل (3): العلاقة بين طاقة الإشعاع وطول موجة الذروة لإشعاع النجم بوحدة النانومتر (nm) لثلاثة نجوم مختلفة. يتضح من الشكل أن طول موجة الذروة يقل عند ارتفاع درجة حرارة سطح النجم مقيسةً بوحدة كلفن (K).

لتعرّف المعلومات التي يمكنُ استنتاجها من ألوان النجوم، أنفذ التجربة الآتية.

التجربة 1

الكشف عن ألوان النجوم

المواد والأدوات:

شريط كهربائي، وسلكان موصلان، وبطارية جافة ضعيفة (قديمة)، ومصباح كهربائي، وبطارتان جافتان جديدتان.

إرشادات السلامة:

- الحذر عند لمس المصباح الكهربائي باليد في أثناء تسخينه.

خطوات العمل:

1. أربط أحد طرفي السلكين بالقطب الموجب للبطارية الضعيفة، ثم أربط طرف السلك الثاني بقطبها السالب، وأترك نهاية السلكين حرة.
2. ألمس الطرف الآخر من كل سلك بمصباح من أسفله، ومن الجزء المعدني، بحيث يُضيء المصباح.

3. أكتب لون سلك المصباح بعد مرور (8) ثوانٍ، ثم ألمس بحذر المصباح بيديّ لوصف درجة حرارته.
4. أكرّر الخطوات السابقة، ولكن، باستخدام بطارية جديدة.

5. أثبت البطارتين الجديدتين باستخدام شريط كهربائي، ثم أكرّر الخطوات السابقة.

التحليل والاستنتاج:

1. **أقارن** لون سلك المصباح في الحالات الثلاث السابقة، ثم أدوّن ملاحظاتي.
2. أصف كيف يتغيّر لون سلك المصباح، ودرجة حرارته في الحالات الثلاث السابقة، ثم أدوّن ملاحظاتي.
3. **أناقش** سبب تغيّر درجة حرارة المصباح في الحالات الثلاث السابقة.
4. **أتوقع** لون النجوم عند درجات حرارة سطح مرتفعة نسبياً، ولونها عند درجات حرارة سطح منخفضة نسبياً.

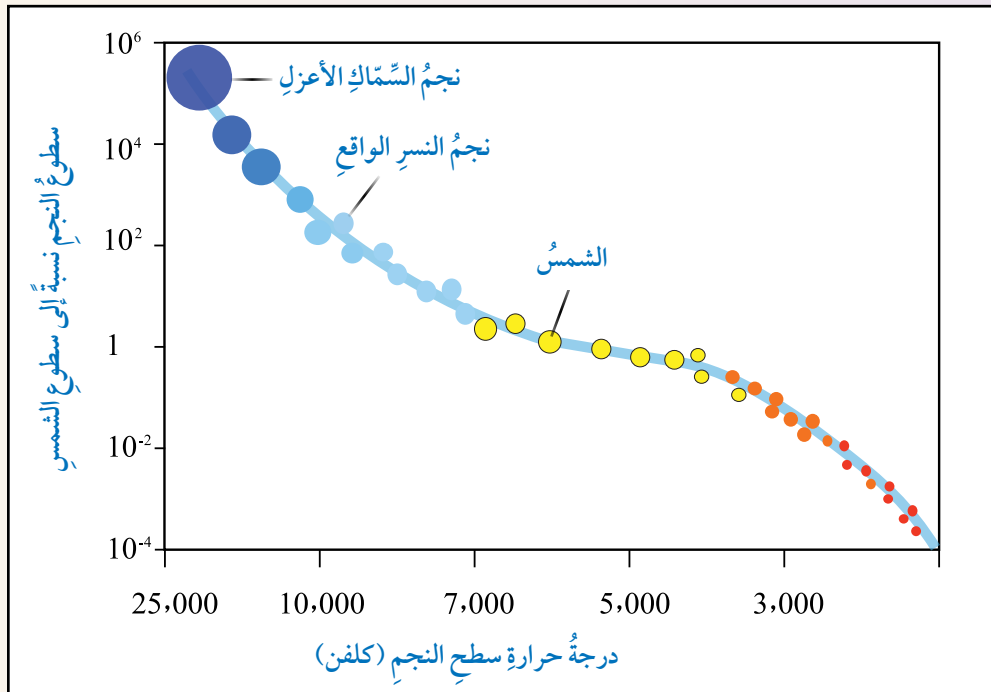
حجوم النجوم Star Sizes

عند النظر إلى النجوم في السماء، فإنّها تبدو جميعاً نقاط ضوءٍ من الحجم نفسه تقريباً. فهل تبدو لنا النجوم بحجمها الحقيقي؟ ولأتعرفَ حجوم النجوم وعلاقتها بالسطوع أنفذ النشاط الآتي:

نشاط

تمييز حجوم النجوم وعلاقتها بالسطوع

أدرس الشكل الآتي الذي يُمثِّل مُخطَّطاً يبيِّن العلاقة بين سطوع النجوم وحجومها ودرجات حرارتها السطحية، ثمَّ أجب عن الأسئلة التي تليه:



التحليل والاستنتاج:

- 1- **أصنّف** النجوم إلى فئات حجمية.
- 2- **أصِف** العلاقة بين حجم النجم و سطوعه.
- 3- **أتوقّع**: ما مقدار سطوع نجم درجة حرارته السطحية منخفضة وحجمه كبير؟ أحدد موقعه على المخطط.

يَتَبَيَّنُ مِمَّا سَبَقَ أَنَّ النُّجُومَ تَخْتَلِفُ فِي حُجُومِهَا؛ فَبَعْضُهَا كَبِيرٌ جَدًّا
مِثْلُ نَجْمِ السَّمَاءِ الْأَعْزَلِ (Spica)، وَبَعْضُهَا كَبِيرٌ مِثْلُ نَجْمِ النِّسْرِ الْوَاقِعِ
(Vega)، وَبَعْضُهَا مَتَوَسِّطُ الْحَجْمِ مِثْلُ الشَّمْسِ، وَبَعْضٌ آخَرٌ أَصْغَرُ كَثِيرًا
مِنَ الشَّمْسِ. وَمِنَ الْمُلَاحَظَةِ أَنَّهُ كَلَّمَا زَادَ حَجْمُ النَّجْمِ وَدَرَجَةُ حَرَارَتِهِ
السطحية زَادَ مَقْدَارُ سَطْوَعِهِ.

أفكر نَجْمُ الشَّعْرَى الْيَمَانِيَّةِ
(Sirius) أَكْثَرُ سَطْوَعًا بِمَقْدَارِ
ضِعْفَيْنِ مِنْ نَجْمِ رَجُلِ
الْجَبَّارِ (Rigel)، وَلَكِنَّ نَجْمَ
رَجُلِ الْجَبَّارِ أَبْعَدُ عَنَّا بِمَسَافَةٍ
تَزِيدُ (100) مَرَّةً عَلَى نَجْمِ
الشَّعْرَى الْيَمَانِيَّةِ.
أَتُنَبِّأُ: أَيُّ النُّجُومِ تَنْبَعُثُ مِنْهُ
كَمِيَّةٌ طَاقَةٍ أَكْبَرُ؟ لِمَاذَا؟

✓ **أَتَحَقَّقُ:** هَلْ تَوْجَدُ عِلَاقَةً بَيْنَ حَجْمِ النَّجْمِ وَبُعْدِهِ عَنِ الْأَرْضِ؟ أَسْتَقْصِي
العلاقة (إِنْ وُجِدَتْ).

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أُبَيِّنُ بَعْضًا مِنَ الصِّفَاتِ الَّتِي تَخْتَلِفُ فِيهَا النُّجُومُ.
2. **أفسر** كَيْفَ تَوَصَّلَ الْعُلَمَاءُ إِلَى مَعْرِفَةِ خِصَائِصِ النُّجُومِ بِالرَّغْمِ مِنْ عَدَمِ وَصُولِهِمْ إِلَيْهَا.
3. **أستنتج** الْأَسْبَابَ الَّتِي تَجْعَلُ سَطْوَعَ نَجْمٍ مَا عَالِيًا بِالرَّغْمِ مِنْ انْخِفَاضِ دَرَجَةِ حَرَارَةِ سَطْحِهِ.
4. أُبَيِّنُ مَصْدَرَ الطَّاقَةِ فِي النُّجُومِ.
5. **أستنتج**: إِذَا صَعَدْتُ إِلَى سَطْحِ الْمَنْزِلِ، ثُمَّ نَظَرْتُ إِلَى السَّمَاءِ مُسْتَعِينًا بِالْمِقْرَابِ، فَلَا حَظُّتُ
وَجُودَ نَجْمٍ أَزْرَقَ سَاطِعٍ فِي السَّمَاءِ، فَمَا الْمَعْلُومَاتُ الَّتِي يُمَكِّنُ أَنْ أَسْتَخْلَصَهَا عَنْ خِصَائِصِ
هَذَا النَّجْمِ؟
6. أُنْشِئْ مُخَطَّطًا مَفَاهِيمِيًّا أَنْظِمُ فِيهِ الْعَوَامِلَ الَّتِي تَحْكُمُ سَطْوَعَ النُّجُومِ.

كيف تبدو النجوم في السماء؟

How Do The Stars Look Like In The Sky?

نُشاهدُ النجومَ ليلاً في السماءِ نقاطاً صغيرةً كثيرةً مختلفةً في إضاءتها؛ بسبب بُعدها الهائل عن الأرض. وإذا أنعمنا النظرَ في السماء، فإننا سنُشاهدُ نجومًا مُتفرقةً، وأخرى مُتجمعةً؛ فالنجومُ في السماءِ توجدُ بأشكالٍ متنوعةٍ، منها المنفردُ مثلُ الشمسِ، ومنها ما يكونُ غالباً في صورةِ مجموعاتٍ يرتبطُ بعضها ببعضٍ بقوةٍ جاذبيةٍ يُطلقُ عليها اسمُ الأنظمةِ النجميةِ، مثل: النجومِ الثنائيةِ، والنجومِ المُتعددةِ. غيرَ أنَّ بعضَ النجومِ قد تبدو لنا مُنجذبةً إلى بعضها، وهي في الحقيقة غيرُ ذلك كما هو حالُ المجموعاتِ النجميةِ (الكوكباتِ)، أنظرُ الشكلَ (4).

✓ **أتحقَّقُ:** كيفَ توجدُ النجومُ في السماءِ؟



الشكل (4): الأشكال المختلفة للنجوم في السماء. أصفُ الشكلَ الذي تظهرُ بهِ العناقيدُ النجميةُ.

الفكرة الرئيسة:

توجدُ النجومُ ضمنَ أنظمةٍ مختلفةٍ في السماءِ، وترتبطُ في ما بينها ارتباطاً جدياً، وقد توجدُ في مجموعاتٍ لا ترتبطُ فيها ارتباطاً جدياً، وقد تكونُ منفردةً مثلُ الشمسِ.

تأجأت التعلم:

- أوضِّحُ المقصودَ بكلِّ من: الأنظمةِ النجميةِ، والنجومِ الثنائيةِ، والعناقيدِ النجميةِ، والمجموعاتِ النجميةِ (الكوكباتِ)، ودائرةِ البروجِ.
- أُميِّزُ بينَ أنواعِ الأنظمةِ النجميةِ.
- أرسِّمُ أشكالاً هندسيةً تُمثلُ مجموعةً من الكوكباتِ النجميةِ، وأذكرُ أسماءَها.

المفاهيم والمصطلحات:

Stellar Systems	الأنظمة النجمية
Binary Stars	النجوم الثنائية
Multiple-Stars	النجوم المتعددة
Star Clusters	العناقيد النجمية
Constellations	الكوكبات
Ecliptic	دائرة البروج
Zodiac	كوكبات البروج

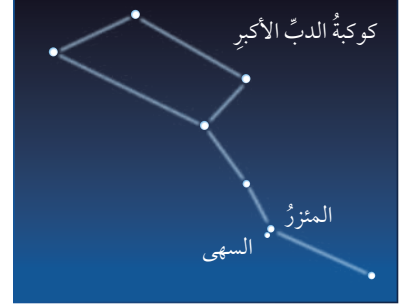
الأنظمة النجمية Stellar Systems

ترتبط النجوم في ما بينها بقوى جذب تجعلها تدور حول بعضها، وتُسمى هذه النجوم **الأنظمة النجمية Stellar Systems**، وهي تنقسم إلى أقسام عدّة، منها: النجوم الثنائية Binary Stars، والنجوم المتعددة Multiple- Star Systems.

تتكوّن **النجوم الثنائية Binary Stars** من نجمين اثنين فقط يرتبطان بقوى تجاذبية متبادلة في ما بينهما، تجعل أحدهما يدور حول الآخر خلال حركتهما في الفضاء، ومن أمثلتهما نجما المئزر والسهى الموجودان عند انحناء مقبض كوكبة الدب الأكبر. وقد استخدم هذان النجمان في ما مضى لفحص النظر؛ فهما يشاهدان بالعين المجردة بوصفهما مجموعة ثنائية، إذ إن كلا منهما قريب جدًا من الآخر، ومن الصعب التفريق بينهما، أنظر الشكل (5).

أمّا **النجوم المتعددة Multiple-Stars**؛ فمنها ما يتراوح عدده بين ثلاثة نجوم وسبعة نجوم، يرتبط بعضها ببعض بقوى تجاذب، فتدور حول بعضها أيضًا، ومنها ما يحوي أعدادًا كبيرة نسبيًا، بحيث يتراوح عدد النجوم فيها بين مئة نجم ومئات الآلاف من النجوم، وهي ترتبط جذبياً بعضها؛ ما يجعلها تتحرك بوصفها وحدة واحدة في اتجاه واحد، في ما يُعرف باسم **العناقيد النجمية Star Clusters**، التي من أشهرها عنقود الثريا الذي يُمكن تمييز عدد من نجومه بالعين المجردة، أنظر الشكل (6).

سُميت العناقيد النجمية هذا الاسم؛ لأن لها شكلًا يشبه عنقود العنب، وهي تنقسم إلى مجموعتين، تبعًا للمسافة التي تفصل بين نجومها، هما: العناقيد النجمية المفتوحة التي تفصل بين نجومها مسافات كبيرة، فتبدو نجومها مُبعثرة غير مترابطة؛ والعناقيد النجمية المغلقة التي تكون فيها النجوم مترابطة، فتبدو كتلة مستديرة مترابطة.



الشكل (5): نجما المئزر والسهى.



الشكل (6): عنقود الثريا.

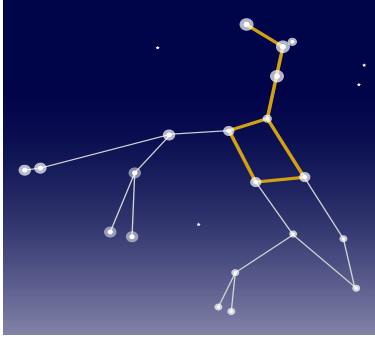
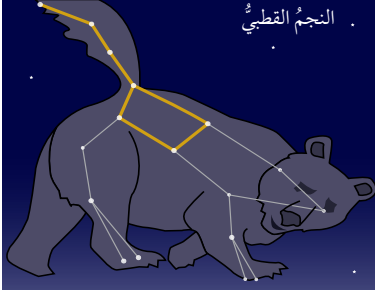
✓ **أتحقق:** أوضح المقصود بالنجوم المتعددة.

أبحث: للنجوم الثنائية أنواع عدّة، مثل: النجوم الثنائية المرئية، والنجوم الثنائية الطيفية، والنجوم الثنائية الكسوفية. مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن هذه الأنواع الثلاثة، ثم أعد عرضًا تقديميًا عنها، ثم أعرضه على زملائي / زميلاتي في الصف.



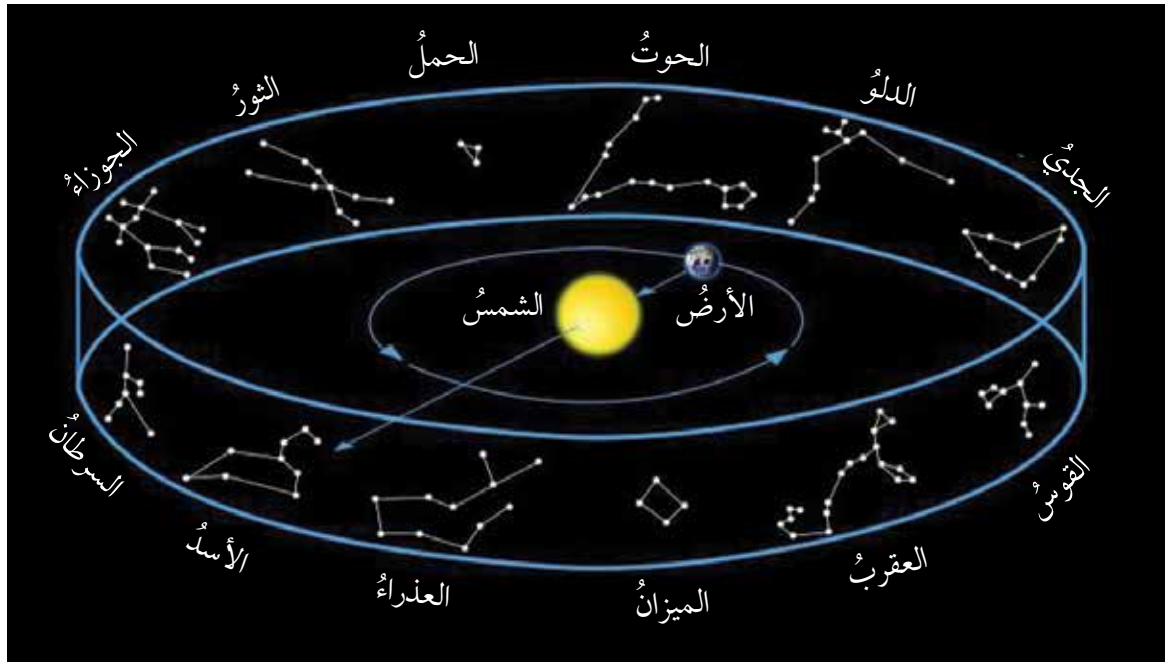
الكوكبات وكوكبات البروج Constellations and Zodiac

تعرّفت سابقاً أنّ الكوكبات Constellations هي مجموعات نجمية لا ترتبط بنجومها بقوة جاذبية في ما بينها؛ لذا تُسمّى المجموعات النجمية الظاهرية؛ إذ تظهر بأشكالها المختلفة نتيجة انعكاس الأشعة الواصلة منها إلى الأرض. وقد أطلق عليها القدماء من الإغريق والمصريين أسماءً محدّدة كما تخيلوها نسبةً إلى أسماء شخصيات أسطورية، أو حيوانات، أو أشكال هندسية، أنظر الشكل (7).



الشكل (7): كوكبة الدب الأكبر.

قسّم الاتحاد الدولي الفلكي السماء إلى 88 كوكبة نجمية، منها 48 كوكبة قديمة، إضافةً إلى 40 كوكبة نجمية جديدة؛ لتوحيد أشكال الكوكبات النجمية وعددها. بناءً على ذلك، أصبح كل جرم في السماء (النجوم، المجرات، السديم الكوني) تابعاً لكوكبة ما. أمّا أشهر الكوكبات النجمية، فتلك التي ارتبط اسمها بدائرة البروج Ecliptic، وهي دائرة تصنعها الشمس في أثناء حركتها الظاهرية حول الأرض؛ إذ تقطع الشمس عدداً من الكوكبات في أثناء مسارها الظاهري حول الأرض؛ لذا أُطلق على هذه الكوكبات اسم كوكبات البروج Zodiac التي تُعرف بالأبراج الفلكية، ويبلغ عددها 12 كوكبة تُشاهد على مدار العام، أنظر الشكل (8).



الشكل (8): كوكبات البروج.

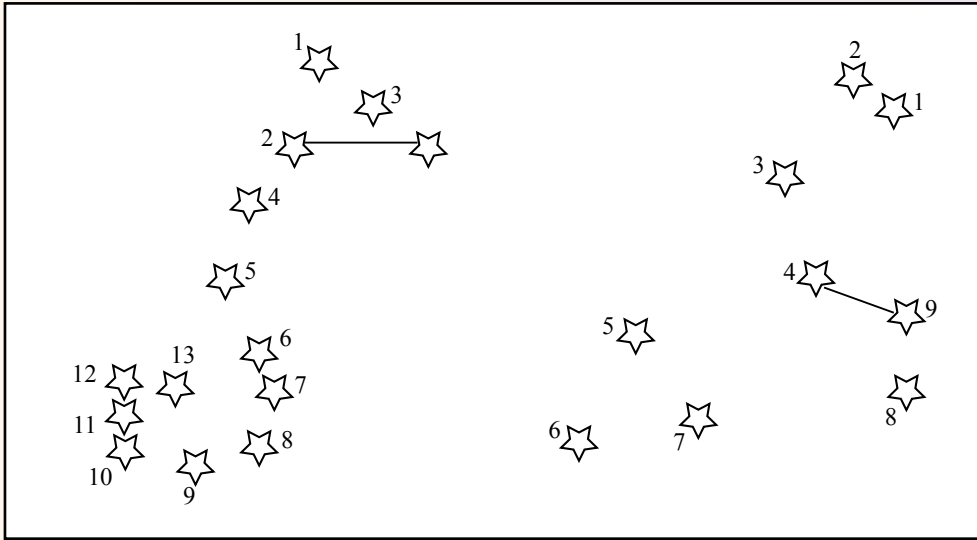
أوضح: ما البرج الذي تقطعه الشمس في أثناء مسارها الظاهري حول الأرض، ويمكن للراصد أن يُشاهده من الأرض؟

ولأتعرف كيفية تشكيل الكوكبات النجمية أنفذ النشاط الآتي:

نشاط

كوكبات البروج

يُمثل الشكل الآتي مجموعة من كوكبات البروج التي تعرفها القدماء، وأطلقوا عليها أسماء مختلفة كما تخيلوها:



خطوات العمل:

- 1- أصِلْ بخطوط بين النجوم في كوكبات البروج، مُتَّبِعًا تسلسل الأرقام فيها.
- 2- اقترح اسمين مختلفين لكوكبتَي البروج السابقة كما أتخيلها.

التحليل والاستنتاج:

- 1- **أتواصل** مع زملائي / زميلاتي لتعرف أسماء كوكبات البروج التي اقترحوها، ثم أدون ملاحظاتي.
- 2- **أتحقق** - مستعيناً بمصادر المعرفة المتوافرة - من صحة اسمي كوكبتَي البروج المقترحتين، وفي أي أوقات السنة تظهر في السماء؟
- 3- **أرصد** السماء ليلاً، ثم أرسم ما يمكنني مشاهدته من كوكبات (مجموعات نجمية)، ثم أعرض الرسوم على زملائي / زميلاتي.
- 4- **أقارن** ما رصدته من مجموعات نجمية في السماء بالمجموعات التي رسمتها في الخطوة (1) سابقاً؛ ما أوجه التشابه والاختلاف بينهما؟

الربط بالأدب

استخدم العرب قديماً
النجوم في حياتهم اليومية،
فكانت دليلهم في أثناء
ترحالهم في الصحراء،
وعن طريقها عرفوا
الوقت والفصول. أبحث
في مصادر الأدب والشعر
عما كتبه العرب قديماً
عن النجوم، وفائدتها لهم
في الصحراء.

تحقق:

ما الفرق بين الكوكبات والعناقيد
النجمية؟

خلق الله تعالى النجوم، وأبدع في صنعها، وقد حدّد الله سبحانه مواقع النجوم، فظهرت في صورة مجموعات يهتدي بها الإنسان في ظلمة الليل الحالكة. قال تعالى: ﴿وَهُوَ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ النُّجُومَ لِتَهْتَدُوا بِهَا فِي ظُلُمَاتِ اللَّيْلِ وَالْبَحْرِ قَدْ فَصَّلْنَا الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ﴾ (الأنعام، الآية ٩٧).

فعن طريق معرفة كوكبة الدب الأكبر يمكن تحديد النجم القطبي الذي يدل على جهة الشمال. وقد استخدم القدماء الكوكبات النجمية في معرفة بداية الفصول الأربعة؛ إذ إن موقع الكوكبات النجمية يتغير في أثناء الحركة الظاهرية للشمس حول الأرض، فتظهر كوكبات نجمية، وتختفي أخرى. وبمعرفة الفصول الأربعة تمكن القدماء من تحديد أوقات الزراعة. فالإيمان بالأبراج، وتوقع ما سيحدث مستقبلاً من المعتقدات غير الصحيحة؛ لذا يجب التفريق بين التنجيم الذي يعتمد على التخمين وعلم الفلك الذي يقوم على الحقائق العلمية.

فإن الله تعالى لم يخلق النجوم لمعرفة أقدار البشر عن طريقها؛ فهو وحده عالم الغيب. قال سبحانه: ﴿قُلْ لَا يَعْلَمُ مَنْ فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ الْغَيْبَ إِلَّا اللَّهُ وَمَا يَشْعُرُونَ أَيَّانَ يُبْعَثُونَ﴾ (النمل، الآية ٦٥).

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أصف الشكل الذي تظهر فيه النجوم في السماء.
2. **أقارن** بين العناقيد النجمية والنجوم الثنائية من حيث عدد النجوم فيها، وحركتها في الفضاء.
3. أذكر أسماء بعض الكوكبات النجمية.
4. أشرح المقصود بالعبارة الآتية بناءً على ما تعلّمته في هذا الدرس:
"تبدو الكوكبات النجمية كأنها تتحرك في السماء."
5. **أناقش** العبارة الآتية بناءً على ما تعلّمته في هذا الدرس:
"يعتقد كثير من الناس أن المنجم لا يختلف في توقعاته عن عالم الفلك."

حياة النجوم The Life Of Stars

إذا أردنا دراسة التغير في سمات شخص يبلغ من العمر (60) عاماً من لحظة ولادته إلى بلوغه هذه السن؛ بُغية تصنيف الأفراد إلى فئات عمرية مختلفة، فلا شك في أننا سنعتمد التصنيف الآتي أساساً لهذه الدراسة: فئة الأطفال، فئة الشباب، فئة كبار السن. بيد أننا سنواجه حتماً مشكلة تتمثل في استحالة تتبع المراحل العمرية التي مرّ بها هذا الشخص في أثناء دراستنا إيّاها، بالرغم من علمنا المؤكّد بوجودها، أنظر الشكل (9). وبالمثل، فإنّه يصعبُ تتبع دورة حياة نجم ما؛ لأنّ ذلك يستغرق مليارات السنين. وقد اهتدى العلماء إلى دراسة خصائص النجوم المختلفة لتقرير أنّ النجوم تولّد وتمرّ بدورة حياة من البداية إلى النهاية.

تعلمت في صفوف سابقة أنّ نظامنا الشمسيّ قد نشأ نتيجة الانكماش الجذبيّ للسديم، وهو سحابة كبيرة من الغبار الكونيّ والغاز الذي يتكوّن معظمه من عنصري الهيدروجين والهيليوم بحسب النظرية السديمية. وقد نشأ عن هذا الانكماش تجمع غالية الكتلة الناتجة في مركز السديم مُشكّلة الشمس، وتراكم بقية الكتلة حوله على شكل قرص تكوّنت منه كواكب المجموعة الشمسية، ومنها الأرض. فهل تتشابه النجوم في نشأتها مع الشمس بحسب هذه النظرية؟

الفكرة الرئيسة:

تمرّ النجوم بمراحل عمرية مختلفة طويلة جداً قد تبلغ مليارات السنين اعتماداً على كتلتها.

نتائج التعلم:

- أتبع دورة حياة النجوم بحسب كتلتها من ولادتها إلى موتها.
- أبين أنّ النجوم لا تحيا إلا بوجود الاندماجات النووية في قلب النجم.
- أحدّد عمر الشمس بناءً على ما مضى، وما تبقى من عمرها.
- أفرّق بين الأشكال النجمية التي تنشأ عند انفجار النجوم في أثناء موتها، مثل: النجوم النيوترونية، والثقوب السوداء، والنجوم القزمة.
- أوضح أنّ النجوم هي أصل العناصر الكيميائية المكوّنة للأرض.
- أقارن بين أعمار النجوم وأعمار الكائنات الحية.

المفاهيم والمصطلحات:

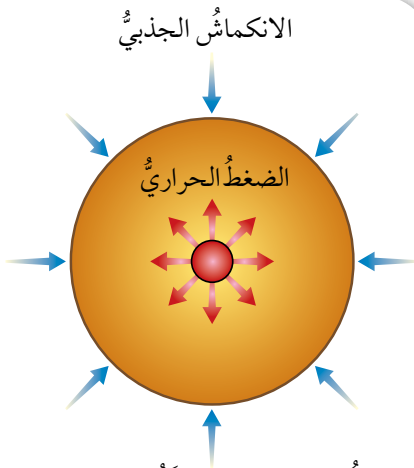
Nebula	السديم
Protostar	النجم الأولي
	نجوم التتابع الرئيس
Main Sequence Stars	
Red Giant	العملاق الأحمر
Planetary Nebula	السديم الكوكبي
White Dwarf	القزم الأبيض
Supernova	النجم فوق المستعر
Neutron Star	النجم النيوتروني
Black Hole	الثقب الأسود



الشكل (9): المراحل العمرية المختلفة التي يمرّ بها الإنسان.

نجم أولي

الشكل (10): ولادة النجم الأولي من السديم.



الشكل (11): تتساوى قوة الانكماش الجذبوي نحو الداخل مع الضغط الحراري نحو الخارج، في مرحلة التتابع الرئيس.

تبدأ حياة النجوم جميعاً من **السديم Nebula**، ويُعدُّ اكتشافه أحد أهم الأدلة على وجود دورة حياة للنجوم؛ إذ تُمثل السُّدُم الحاضنة التي تولد فيها النجوم. وفي الجزء الأكثر كثافة من السديم يبدأ انكماش مادة السديم نحو قلب النجم بفعل تأثير الجاذبية، وتزداد الطاقة الحركية بصورة كبيرة. نتيجة لذلك؛ تزداد درجة حرارة قلب النجم، فيتولد ضغط حراري يُعاكس الانكماش الجذبوي، ويتكوّن **النجم الأولي Protostar** الذي يُشبه الطفل حديث الولادة في حياة الإنسان، مُعلنًا بدء أول مرحلة من مراحل حياة النجم، أنظر الشكل (10).

عندما ترتفع درجة حرارة قلب النجم الأولي إلى (1.5) مليون كلفن، تبدأ الاندماجات النووية في قلب النجم، وتُطلق كميات هائلة من الطاقة، مُعلنًا بدء حياة النجم ليصبح من **نجوم التتابع الرئيس Main Sequence Stars**. ويقضي النجم معظم حياته في هذه المرحلة بسبب تساوي قوة الانكماش الجذبوي نحو الداخل والضغط الحراري نحو الخارج، أنظر الشكل (11)، وهي بذلك تُشبه مرحلة الشباب في حياة الإنسان التي تُعدُّ أطول مراحل حياته.

تجدر الإشارة إلى أنّ دورة حياة النجم تعتمد على كتلة النجم الأولي. وقد يعتقد بعض الأشخاص أنّ النجوم التي كتلتها أكبر تبقى مدة أطول من تلك التي كتلتها أقل، ولكن العلماء أثبتوا عكس ذلك؛ إذ تتناسب كتلة النجم عكسياً مع مدّة حياته. فالنجوم ذات الكتلة الصغيرة (أي الأقل كتلة من الشمس) تستنفد وقودها النووي على نحو أبطأ من النجوم ذات الكتلة الكبيرة؛ ما يعني أنّ حياتها تستمر مدة أطول بكثير من حياة النجوم ذات الكتلة الكبيرة.



الشكل (12): العملاق الأحمر.

حين يبدأ الوقود النووي بالنفاذ من قلب نجم التابع الرئيس، يُسخن الغلاف الهيدروجيني الذي يحيط به بسبب الانكماش الجذبي الداخلي، حتى تصبح درجة الحرارة فيه كافية لبدء اندماج الهيدروجين؛ ما يُنتج طاقة أكثر مما كانت عليه عندما كان نجماً من فئة التابع الرئيس، فيزداد حجمه بسبب زيادة قوة الضغط الحراري نحو الخارج على الانكماش الجذبي نحو الداخل. ونظراً إلى انتشار الطاقة على مساحة سطح أكبر؛ تنخفض درجات الحرارة السطحية، فيبدو النجم باللون الأحمر، عندئذ يصبح النجم **عملاقاً أحمر** Red Giant، أو نجماً فوق عملاق أحمر Super Red Giant، اعتماداً على كتلة نجم التابع الرئيس، أنظر الشكل (12).



أعمل فيلماً قصيراً

باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker)، أوضح فيه دورة حياة النجوم، وأحرص على أن يشمل صوراً توضيحية، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

أبحث: مستعيناً بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث في الأسباب التي تجعل مدة حياة النجوم ذات الكتل الصغيرة أطول كثيراً من مدة حياة النجوم ذات الكتل الكبيرة.



الشكل (13):

أ- قزم أبيض. ب- قزم أسود.
أقارن بين القزم الأبيض والقزم الأسود من حيث
العمر والتوهج الصادر عن كل منهما.



موث النجوم The Deaths of Stars

تموت النجوم (بالمفهوم الفلكي) عندما يفقد العملاق الأحمر الوقود النووي، فيكون سديمًا كوكبيًا Planetary Nebula، وهو سديمٌ يمتازُ بشكله الكروي، وكثافته الكبيرة جدًا. أما مادة قلب السديم الكوكبي المتبقية، فتكون نجمًا يسمى القزم الأبيض White Dwarf كما في الشكل (13 / أ). تمتاز هذه الأقزام بكثافتها الكبيرة جدًا، وحجمها الذي يساوي حجم الأرض تقريبًا، وكتلتها التي تقارب كتلة الشمس. واللافت أنها تتوهج بصورة ضعيفة بالرغم من عدم احتوائها على وقود نووي، ومصدر هذا التوهج هو الطاقة المتبقية في قلب النجم. ومن المتوقع أن تتوقف هذه الأقزام عن التوهج بعد مليارات السنين، عندئذ يطلق عليها اسم الأقزام السود Black Dwarfs، أنظر الشكل (13 / ب).

أما النجم فوق العملاق الأحمر فينفجر انفجارًا عظيمًا خلال زمن قصير عندما يفقد وقوده النووي، مكونًا نجمًا فوق مستعر Supernova، وهو نجم شديد السطوع، يطلق طاقة تعادل الطاقة التي تصدرها الشمس خلال مدة حياتها. وما تبقى من مادة القلب فإنه يكون نجمًا نيوترونيًا Neutron Star، أو ثقبًا أسود Black Hole، تبعًا لكتلة مادة قلب النجم، أنظر الشكل (14 / أ، ب).

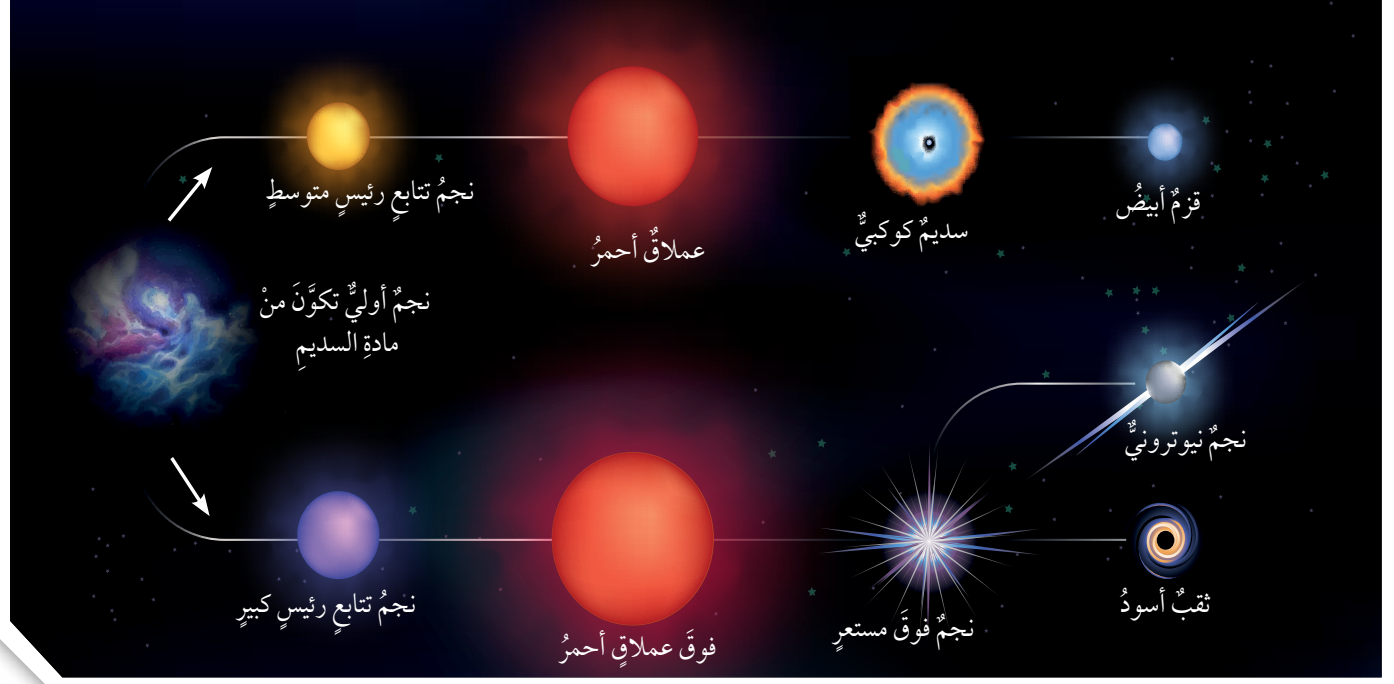
تمتاز النجوم النيوترونية بأنها أصغر حجمًا من الأقزام البيض؛ إذ يبلغ قطرها (25 km) تقريبًا، وتزيد كثافتها مليون مرة على كثافة الأقزام البيض. إذا زادت الكتلة المتبقية في قلب النجم على كتلة الشمس بنحو ثلاث مرات، فإنه ينتهي على صورة ثقب أسود. والثقب الأسود جرم سماوي ذو كثافة وجاذبية كبيرة جدًا؛ فهو يجذب جميع أشكال الطاقة أو المادة التي تقترب منه، ولا يسمح لها بالإفلات منه؛ لذا لا يمكن رؤية الثقوب السوداء واكتشافها مباشرة.

✓ **أنحقق:** ما المقصود بالثقب الأسود؟



الشكل (14):

أ- انبعاثات الأشعة السينية من السديم الكوكبي السرطان (السلطعون).
ب- أول صورة التقطت للثقب الأسود الهائل في شهر نيسان عام 2019 م.



يُمثل الشكل (15) مُلخصًا لمراحل دورة حياة النجوم.

دورة حياة الشمس Life Cycle of the Sun

تُعدُّ الشمسُ أحدَ النجوم متوسطة الحجم، ويُقدّرُ العلماءُ عمرَها الآنَ بنحو (4.6) مليار سنة؛ أي إنها ما تزالُ شابةً، وفي أكثرِ مراحل حياتها استقرارًا. ولكن، كم سنة يُتوقَّعُ أن يستمرَّ إشراقُ الشمس ولَمعانُها؟ متى يُتوقَّعُ أن تنتهي حياتُها؟ أنظر الشكل (16) الذي يُمثل دورة حياة الشمس.

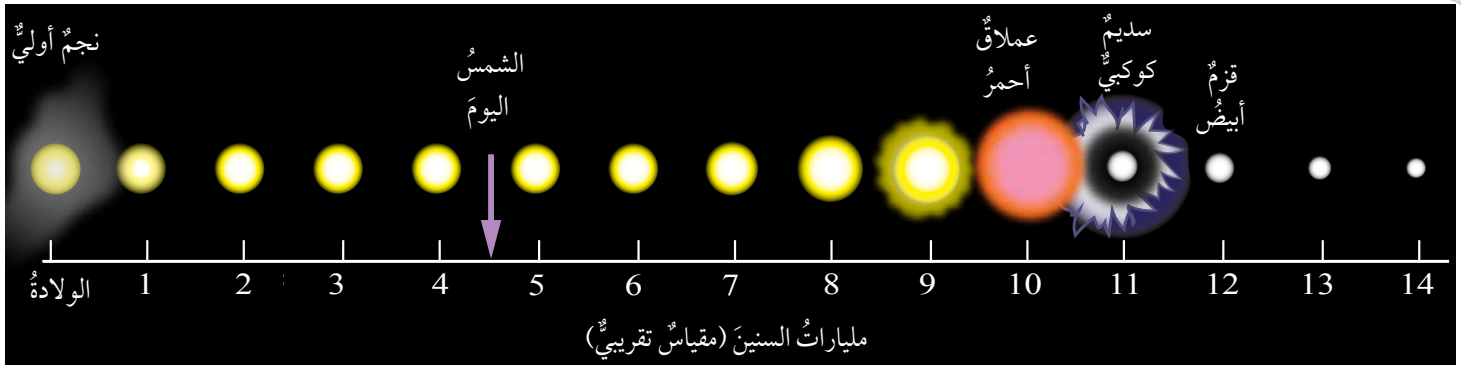
توقَّع العلماءُ أن يستمرَّ إشراقُ الشمس مدة (5.5) مليار سنةٍ أخرى، وبينوا أنها الآن في مرحلة التتابع الرئيس التي تولّدُ الشمسُ فيها الطاقة، وأنها ستطوّرُ إلى عملاق أحمر عند نفاذ مخزون الهيدروجين والهيليوم منها. توقَّع العلماءُ أيضًا أن الحرارة الناتجة من العملاق الأحمر ستحتاج كوكب الأرض، وتجعل الحياة مستحيلةً على سطحه، وأن حياة الشمس ستنتهي، وتموتُ في صورة قزم أبيض بعد مرورِ ملياري سنةٍ أخرى.

✓ **أتحقّق:** اتّبع المراحل التي تمرُّ بها الشمس.

الشكل (15): دورة حياة النجوم التي تبدأ بالنجم الأولي الذي تكوّن من مادة السديم الكوني، وتنتهي بموت النجم في صورة قزم أبيض، أو نجم نيوتروني، أو ثقب أسود.

اتّبع دورة حياة نجم تابع رئيس كبير.

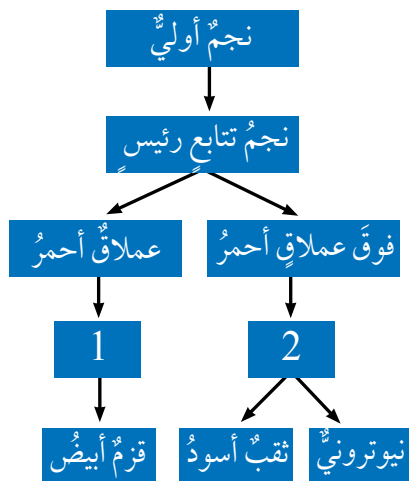
الشكل (16): دورة حياة الشمس. أُبين: ما العمر الذي قدّره العلماء لموت الشمس؟



1. "يرتبط وجودنا على سطح الأرض بالاندماجات النووية في قلب النجم." أذكر الأدلة التي يمكن أن تُثبت صحة هذه العبارة، مستعيناً بمصادر المعرفة المتوفرة.
2. افترض أننا بحاجة إلى نجوم أخرى (غير الشمس) قادرة على دعم الحياة على سطح الأرض. ما أفضل أنواع النجوم التي يجب أخذها بالاعتبار؟ لماذا؟

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسة: أحدد العامل المؤثر في مدة بقاء النجم قبل موته.
2. أفسر كيف يتكوّن النجم الأولي من السديم.
3. أقارن بين النجم النيوتروني والقزم الأبيض من حيث: الكثافة، والكتلة، والحجم. ثم أدون إجابتي في جدول.
4. أوضح المقصود بالسديم.
5. السبب والنتيجة: لماذا لماذا تتطور بعض النجوم إلى أقزام بيضاء، ويتطور غيرها إلى ثقب أسود، أو نجم نيوتروني؟
6. أستنتج سبب تسمية الثقوب السوداء هذا الاسم.
7. أنشئ مخططاً مفاهيمياً يبين مراحل حياة الشمس، وأكتب كل عبارة تمثل مرحلة من هذه المراحل في مربع منفصل ضمن المخطط الانسيابي بالترتيب.
8. أدرس الشكل المجاور الذي يمثل مخططاً لدورة حياة النجوم، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:
 - أ- أكتب ما يمثله الرقم (1)، والرقم (2).
 - ب- ما أول مرحلة من مراحل حياة النجم؟
 - ج- إذا علمت أن يد الجوزاء هي من النجوم العملاقة الحمراء، وأن قلب العقرب هو من النجوم فوق العملاقة الحمراء، فأيهما تنتهي حياته بصورة أسرع؟
 - د- أي الآتية اكتملت دورة حياته: النجم النيوتروني، نجم العملاق الأحمر، نجم التابع الرئيس؟



مِقْرَابُ الكُوَّةِ الدائريةِ الصينيِّ (فاست)

Five - hundred - meter Aperture Spherical Telescope (FAST)

البعيدة، أو النجوم النابضة. في شهر آب عام 2017م، استعمل علماء الفلك هذا المقراب الضخم لاكتشاف زوج من النجوم النابضة، يبعدان عنا آلاف السنين الضوئية. والنجمان المكتشفان عاليا الكثافة، ومحاطان بمجالات مغناطيسية قوية، ويدوران حول محورهما بسرعة كبيرة. يبدو هذان النجمان كأنهما ينبضان عند النظر إليهما من الأرض؛ لذا يُطلق عليهما وعلى النجوم المماثلة لهما اسم النجوم النابضة. تُستخدم مواقع هذه النجوم وتوقيتاتها نقاطا مرجعية في الفضاء، وهي تساعدنا على فهم نظرية الانفجار العظيم. ومن المُتَظَر استخدام هذا التلسكوب العملاق في تتبع مركبة الفضاء التي ستسافر إلى كوكب المريخ، بوصفها جزءاً من برنامج الفضاء الصيني.

يُعدُّ هذا المقراب الأكبر حجماً بين المقراب (التلسكوبات) الراديوية في العالم، وهو يمتاز بتصميم مُبتكَر؛ إذ يبلغ قطره (500m)، ويتكوّن من (4450) لوحاً؛ ما يعطيه مساحة تجميع تقرب من (196000m²)، وهذا يُعادل مساحة (30) ملعب كرة قدم. بدأ تنفيذ مشروع FAST عام 2011م، وقد رأى النور أول مرة في شهر أيلول عام 2016م. وبعد مرحلة اختبار استمرت (3) سنوات، أُعلن عن تشغيله كاملاً عام 2020م. يقوم مبدأ عمل هذا المقراب على استخدام سطح نشط مصنوع من ألواح معدنية يُمكن إمالتها بوساطة جهاز حاسوب؛ للمساعدة على تغيير درجة التركيز في مناطق مختلفة من السماء، وتجميع أمواج الراديو التي تندفق على الأرض من الفضاء السحيق، فتتوافر معلومات عن سحب غاز الهيدروجين القديمة، أو الثقوب السوداء

أبحثُ في شبكة الإنترنت أو في مصادر المعرفة المتوفرة عن مقراب الكُوَّةِ الدائرية الصيني، ثم أكتب مقالة عن مبدأ عمل هذا المقراب، والاكتشافات التي استخدم في التوصل إليها، ومزاياه.

السؤال الأول:

أوضح المقصود بكل مما يأتي:
سطوع النجوم، النجوم النيوترونية، النجوم المتعددة.

السؤال الثاني:

أرتب النجوم الآتية تنازلياً بحسب درجات حرارتها
السطحية: النجوم البرتقالية، النجوم الصفراء، النجوم
الزرقاء.

السؤال الثالث:

انتبأ بما سيحدث لسطوع الشمس إذا زاد حجمها
أضعاف ما كانت عليه، وأربط ذلك بإمكانية الحياة
على سطح الأرض.

السؤال الرابع:

أدرس الشكل الآتي الذي يمثل مجموعة من الكواكب
النجمية، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



أ - أذكر أسماء الكواكب النجمية الواردة في الشكل.

ب - أوضح المقصود بالكوكبة النجمية.

ج - **أفسر** سبب عدم تصنيف العلماء المجموعات
النجمية الواردة في الشكل ضمن كواكب
البروج.

د - **أقارن**: ما أوجه التشابه والاختلاف بين الكواكب
النجمية؟

السؤال الخامس:

ناقش صحة العبارة الآتية:

"يُعتقد أن تكوين نظام الأرض هو نتيجة طبيعية
لتكوين النجوم."

السؤال السادس:

أفسر: يُعد اكتشاف السديم الكونية أحد أهم الأدلة على
وجود دورة حياة للنجوم.

السؤال السابع:

أبين كيف يتكوّن نجم التتابع الرئيس.

السؤال الثامن:

أفسر: لماذا سُميت النجوم العملاقة الحمراء هذا الاسم؟

السؤال التاسع:

أستخلص الأسباب التي تجعل قزماً أبيض يتطور إلى
قزم أسود.

السؤال العاشر:

أعلل:

أ - تتناسب كتلة النجم عكسياً مع مدة حياته.

ب - يقتصر ظهور بعض المجموعات النجمية على
فصول محددة.

السؤال الحادي عشر:

أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

1. تعتمد دورة حياة النجوم على:

أ - شكلها. ب - حجمها.

ج - كتلتها. د - عمرها.

2. يتكوّن النجم في معظمه من عنصري:

أ - الهيدروجين والكربون.

ب - الهيدروجين والأكسجين.

ج - الهيليوم والكربون.

د - الهيدروجين والهيليوم.

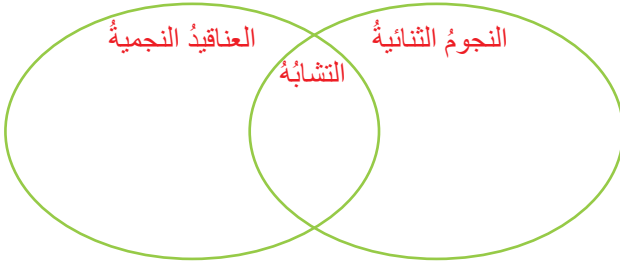
3. نجما المنزر والسهي مثالان على نظام:

أ - النجوم المتعددة. ب - النجوم الثنائية.

ج - العناقيد النجمية. د - الكواكب.

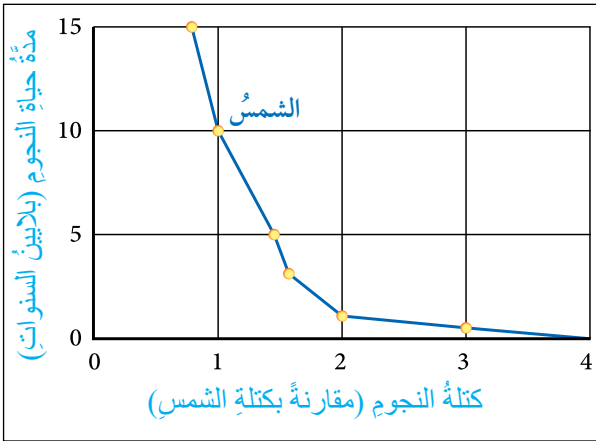
السؤال الرابع عشر:

- تُعَدُّ النجوم الثنائية أحدَ الأنظمةِ النجميةِ في السماءِ.
بناءً على ما تعلَّمْتُهُ، أُجِيبُ عن الأسئلةِ الآتيةِ:
- أ- أوضِّحُ المقصودَ بالنجومِ الثنائيةِ.
ب- أذكرُ مثالاً على النجومِ الثنائيةِ.
ج- **أقارنُ** بينَ النجومِ الثنائيةِ والعناقيدِ النجميةِ كما في المخططِ الآتي:



السؤال الخامس عشر:

أدرسُ الرسمَ البيانيَّ الآتي الذي يُمثِّلُ العلاقةَ بينَ كتلةِ النجومِ (مقارنةً بكتلةِ الشمسِ)، ومُدَّةِ حياتها قبلَ نفادِ الوقودِ النوويِّ من داخلها، ثمَّ أُجِيبُ عن الأسئلةِ التي تليهِ:



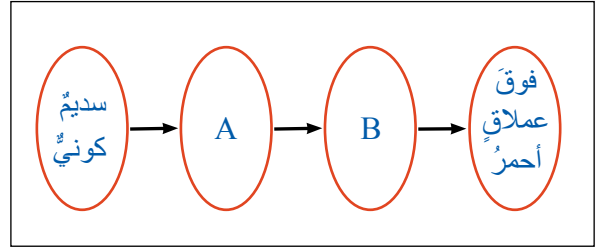
- أ- كمَّ سيعيشُ نجمٌ كتلتهُ تعادلُ 0.75 من كتلةِ الشمسِ؟
ب- كمَّ سيعيشُ نجمٌ كتلتهُ تساوي (3) أضعافِ كتلةِ الشمسِ؟
ج- **أصوغُ فرضيتي** مُوضِّحاً فيها العلاقةَ بينَ كتلةِ النجمِ ومُدَّةِ حياته.

4. عددُ كوكباتِ البروجِ هو:

- أ - 15.
ب - 100000.
ج - 12.
د - 2.
5. المرحلةُ العمريةُ التي يقضي فيها النجمُ معظمَ حياته هي:
- أ - العملاقُ الأحمرُّ.
ب - التابعُ الرئيسُ.
ج - النجمُ الأوليُّ.
د - الثقبُ الأسودُّ.
6. اسمُ الجرمِ السماويِّ الذي كتلتهُ تُقاربُ كتلةَ الشمسِ:
- أ - الثقبُ الأسودُّ.
ب - النجمُ النيوترونيُّ.
ج - القزمُ الأبيضُّ.
د - النجمُ فوقَ المُستعرِّ.
7. الدائرةُ التي تصنعُها الشمسُ في أثناءِ حركتها الظاهريةِ حولَ الأرضِ تُسمَّى:
- أ - الكوكباتِ.
ب - البروجِ.
ج - الاستواءِ.
د - الثريا.

السؤال الثاني عشر:

أدرسُ الشكلَ الآتي الذي يُمثِّلُ دورةَ حياةِ نجمٍ كتلتهُ (5) أضعافِ كتلةِ الشمسِ، ثمَّ أُجِيبُ عن الأسئلةِ التي تليهِ:



- أ - أحدِّدُ المرحلةَ A، والمرحلةَ B.
ب- **أستنتجُ** ما شكلُ موتِ النجمِ؟
ج- ما الرمزُ الذي يُمثِّلُ أطولَ مرحلةٍ في حياةِ النجمِ؟
د - أوضِّحُ متى يتحوَّلُ النجمُ من المرحلةِ A إلى المرحلةِ B؟

السؤال الثالث عشر:

أوضِّحُ أهميةَ الكوكباتِ النجميةِ في حياتنا.

(أ)

التحامّ Cementation: تخلُّل المحاليل المائية الفراغات الموجودة في الرسوبيات؛ ما يؤدي إلى ترسُّب بعض المواد المعدنية التي تحملها في تلك الفراغات. وعندما تتصلَّب، فإنَّها تربط حبيبات الصخر ببعضها.

اندماجات نووية **Nuclear Fusions**: اندماجات تحدث في قلب النجم؛ إذ تتحدُّ النوى الخفيفة لنظائر الهيدروجين (الديتيريوم (H^2) ، والتريتيوم (H^3)) لإنتاج نواة أثقل، هي نواة الهيليوم. ونظرًا إلى فرق الكتلة بين المواد المتفاعلة والمادة الناتجة من التفاعل؛ تنتج كميات كبيرة من الطاقة.

أنظمة نجمية **Stellar Systems**: مجموعة نجوم ترتبط في ما بينها بقوى جذب تجعلها تدور حول بعضها. وهي تنقسم إلى أقسام عدَّة، مثل: النجوم الثنائية، والنجوم المتعددة.

(ت)

تحوُّل Metamorphism: عملية تحدث في الصخور نتيجة تعرُّضها لعوامل التحوُّل (الحرارة، والضغط، والمحاليل المائية الحارة)؛ ما يؤدي إلى تغيير نسيج الصخر، أو تركيبه المعدني، أو كليهما وهو في الحالة الصلبة، مُنتجًا بذلك صخورًا جديدة.

تحوُّل إقليمي Regional Metamorphism: أحد أنواع التحوُّل الذي يحدث على مساحة واسعة من الصخور نتيجة الحرارة والضغط المرتفعين عند حدود الصفائح الأرضية؛ ما يتسبَّب في إعادة تبلور المعادن المكوِّنة لها، وتكوين معادن جديدة، فتنشأ صخور جديدة تمتاز بنسيجها المتورَّق.

تحوُّل بالدفن Burial Metamorphism: أحد أنواع التحوُّل الذي يحدث نتيجة دفن الصخور الرسوبية في أعماق كبيرة باطن الأرض، حيثُ تتعرَّض الصخور لدرجات حرارة وضغط مرتفعين، وتتحوُّل الصخور الأصلية وهي في الحالة الصلبة إلى صخور جديدة.

تحوُّل تماسي Contact Metamorphism: أحد أنواع التحوُّل الذي يحدث عندما تلامسُ الماغما المُندفِعة من باطن الأرض - في أثناء حركتها - صخورًا قديمة تكون قريبة منها، أو تمرُّ خلالها، فترتفع درجة حرارة الصخور؛ ما يؤدي إلى حدوث تغيير في تركيبها المعدني، فتتحوُّل إلى صخور من نوع آخر.

تراصّ Compaction: عملية تحدث بسبب الضغط الناتج من تراكم الرسوبيات فوق بعضها على شكل طبقات، ويعملُّ الضغط الناتج من ثقل الرسوبيات على تقليص الفراغات بين الحبيبات، فتصبح أقلَّ حجمًا، ويقلُّ سُمك الطبقات الناتجة.

تشققات طينية **Mud Cracks**: أحد معالم الصخور الرسوبية الذي يظهر على شكل شقوق في الصخور الطينية، تتجّع عندما تجفّ الرسوبيات الطينية، فتتكسّر المعادن المكونة لها مسببةً وجود تشققات. وعند ترسّب موادّ مختلفة منها، تمتلئ الشقوق بتلك المواد، مُحفِظةً بشكلها.

(ث)

ثقب أسود **Black Hole**: جرم سماويّ ذو كثافة وجاذبية كبيرة جدًّا؛ فهو يجذب جميع أشكال الطاقة أو المادة التي تقترب منه، ولا يسمح لها بالإفلات منه؛ لذا لا يمكن رؤية الثقوب السوداء واكتشافها مباشرةً. والثقب الأسود يُمثل إحدى مراحل موت النجوم.

(د)

دائرة البروج **Ecliptic**: دائرة تصنعها الشمس في أثناء حركتها الظاهرية حول الأرض. دورة الصخور **Rock Cycle**: علاقة تبادلية ترتبط فيها الأنواع الثلاثة للصخور بعضها ببعض عن طريق العمليات الجيولوجية المختلفة، بحيث يتغيّر كل نوع منها إلى الآخر.

(ر)

رسوبيات **Sediments**: تجمّع الفتات الصخريّ، وتراكمه في أحواض الترسيب، بعد نقله عن طريق عوامل التعرية المختلفة.

(س)

سديم **Nebula**: سحابة من الغبار والغازات التي تتكوّن معظمها من غازي الهيدروجين والهيليوم، ويُعدّ اكتشافها أحد أهم الأدلة على وجود دورة حياة للنجوم، وتُمثّل السُدُم الحاضنات التي تولّد فيها النجوم. سديم كوكبيّ **Planetary Nebula**: سديم يمتاز بشكله الكرويّ، وكثافته الكبيرة جدًّا، وهو ينشأ عندما تموت النجوم؛ أي حين يفقد العملاق الأحمر الوقود النوويّ، وتكوّن مادة قلب السديم الكوكبيّ المتبقية نجماً يُسمّى القزم الأبيض.

سطوع النجم **Luminosity**: كمية الطاقة التي يشعّها النجم فعليًّا في الثانية الواحدة. يعتمد سطوع أي نجم على عاملين، هما: درجة حرارة سطح النجم، وحجمه، ويتناسب السطوع مع كليهما طرديًّا.

(ص)

صخور رسوبية فتاتية **Clastic Sedimentary Rocks**: صخور تنشأ من ترسّب الفتات الصخريّ الناتج من التجوية الفيزيائية في أحواض الترسيب، ثمّ تصلبه، وهي تُصنّف اعتمادًا على حجمها. صخور رسوبية كيميائية **Chemical Sedimentary Rocks**: صخور تنشأ من ترسّب المواد الذائبة في أحواض الترسيب، مثل البحار، بعد زيادة تركيزها، ووصولها إلى حالة الإشباع.

صخورٌ رسوبيةٌ كيميائيةٌ حيويةٌ **Biochemical Sedimentary Rocks**: صخورٌ تنشأ من تراكم بقايا الكائنات الحية الصلبة؛ الحيوانية أو النباتية، وتصخرها في أحواض الترسيب.

صخورٌ ناريةٌ جوفيةٌ **Intrusive Igneous Rocks**: صخورٌ تنشأ نتيجة تبريد الماغما ببطءٍ في باطن الأرض، وهي تمتازُ بكبر حجم بلوراتها، بحيث يُمكن رؤيتها بالعين المجردة.

صخورٌ ناريةٌ سطحيةٌ **Extrusive Igneous Rocks**: صخورٌ تنشأ نتيجة تبريد اللابة بصورةٍ سريعةٍ على سطح الأرض، فتتكوّن فيها بلوراتٌ صغيرة الحجم لا تُرى بالعين المجردة.

(ط)

طبقةٌ مُتدرّجةٌ **Graded-Bedding**: اختلاف حجم الحبيبات في الطبقة الرسوبية الواحدة، بحيث يزداد حجم الحبيبات كلما اتجهنا من الأعلى إلى أسفل الطبقة.

(ع)

علاماتُ النيم **Ripple Marks**: أحدُ معالم الصخور الرسوبية التي تظهرُ على شكل تموجاتٍ صغيرةٍ تكوّنَتْ بفعل مياه الأنهار، أو الأمواج البحرية، أو الرياح، وحُفِظَتْ على بعض سطوح طبقات الصخور الرسوبية.

عملاقٌ أحمرٌ **Red Giant**: نجمٌ عملاقٌ ناتجٌ من نجمٍ تتابع رئيسٍ في حالة احتضارٍ؛ بسبب بدء نفاد الوقود النووي من قلب نجمٍ التتابع الرئيس، فيُسَخَّن الغلاف الهيدروجيني الذي يحيطُ به حتّى تصبح درجة الحرارة فيه كافيةً لبدء اندماج الهيدروجين؛ ما يُنتِج طاقةً أكثر ممّا كانت عليه عندما كان نجمًا من فئة التتابع الرئيس، فيزداد حجمه. ونظرًا إلى انتشار الطاقة على مساحةٍ سطحٍ أكبر؛ تنخفض درجات الحرارة السطحية، فيبدو النجم باللون الأحمر.

عناقيد نجميةٌ **Star Clusters**: أحدُ الأنظمة النجمية المُتعدّدة التي تتكوّن من نجومٍ يرتبطُ بعضها ببعضٍ بقوى تجاذبٍ، فتدورُ حول بعضها، وتحوي أعدادًا كبيرةً نسبيًا من النجوم، يتراوح عددها بين مئةٍ نجمٍ ومئات الآلاف من النجوم، وهي ترتبطُ جذبياً ببعضها؛ ما يجعلها تتحرّكُ بوصفها وحدةً واحدةً في اتجاهٍ واحدٍ.

(ق)

قزمٌ أبيضٌ **White Dwarfs**: إحدى مراحل موت النجم، وهي تمتازُ بكثافتها الكبيرة جدًّا، وحجمها الذي يساوي حجم الأرض تقريبًا، وكتلتها التي تُقاربُ كتلة الشمس. واللافُ أنّها تتوهجُ بصورةٍ ضعيفةٍ بالرغم من عدم احتوائها على وقودٍ نوويٍّ، ومصدرُ هذا التوهج هو الطاقة المُتبقية في قلب النجم.

قزمٌ أسودٌ **Black Dwarfs**: إحدى مراحل موت النجم، وهي تتكوّن بعد أن تتوقّف الأقزامُ البيض عن التوهّج مُدَّةً تُقدَّرُ بمليارات السنين.

(ك)

كوكبات **Constellations**: مجموعات نجمية لا ترتبط نجومها بقوى جاذبية في ما بينها؛ لذا تُسمّى المجموعات النجمية الظاهرية؛ إذ تظهرُ بأشكالها المختلفة نتيجة انعكاس الأشعة الواصلة منها إلى الأرض. وقد أطلق عليها القدماء من الإغريق والمصريين أسماءً مُحدَّدة كما تخيلوها نسبةً إلى أسماء شخصيات أسطورية، أو حيوانات، أو أشكال هندسية.

كوكبات البروج **Zodiac**: أكثر الكوكبات النجمية شيوعاً، وهي تُعرَفُ بالأبراج الفلكية، ويرتبط اسمها بدائرة البروج، وتقطعها الشمس في أثناء مسارها الظاهري حول الأرض، ويبلغ عددها (12) كوكبة تُشاهد طوال العام.

(ل)

لابئة **Lava**: صخورٌ مصهورة تتدفق على سطح الأرض، وتختلف عن الماغما باحتوائها على نسبة أقل من الغازات.

(م)

ماغما **Magma**: صهّير صخري يتكوّن معظمه من السيليكا، ومن غازات أهمها بخار الماء، يوجد في باطن الأرض.

(ن)

نجم **Star**: جرم سماوي كروي يتكوّن من غاز ساخن مُتأيّن، يغلب على مُكوّناته نوى عناصر الهيدروجين والهيليوم، ونسب قليلة من عناصر أخرى، مثل: الكربون، والنيتروجين، والأكسجين، والحديد، وهو يُصدر طاقة حرارية وضوئية.

نجم أولي **Protostar**: المرحلة الأولى من مراحل حياة النجم، وهي تبدأ نتيجة انكماش مادة السديم نحو قلب النجم بفعل تأثير الجاذبية، وتزداد الطاقة الحركية بصورة كبيرة. نتيجة لذلك؛ تزداد درجة حرارة قلب النجم، فيتولّد ضغط حراري يُعاكس الانكماش الجذبي.

نجوم تتابع رئيس **Main Sequence Stars**: المرحلة التي يقضي فيها النجم معظم حياته بسبب تساوي قوّة الانكماش الجذبي نحو الداخل والضغط الحراري نحو الخارج، وهي بذلك تُشبه مرحلة الشباب في حياة الإنسان التي تُعدُّ أطول مراحل حياته.

نجوم ثنائية **Binary Stars**: نظام نجمي يتكوّن فقط من نجمين اثنين يرتبطان بقوى تجاذبية في ما بينهما، تجعل أحدهما يدور حول الآخر.

نجم فوق مُستعر **Supernova**: نجم شديد السطوع، يُطلق طاقة تُعادل الطاقة التي تُصدرها الشمس خلال مدّة حياتها. وهو يتكوّن نتيجة الانفجار العظيم للنجوم فوق العملاقة الحمراء عندما تفقد وقودها النووي خلال مدّة قصيرة.

نجم نيوتروني **Neutron Star**: إحدى مراحل موت النجوم، وهو أصغر حجماً من القمر الأبيض؛ إذ يبلغ قطره (25) كم تقريباً، وتزيد كثافته مليون مرّة على كثافة القمر الأبيض.

نسيج **Texture**: وصف لحجم البلّورات، وشكلها، وترتيبها داخل الصخر.

نسيج خشن الحبيبات **Coarse Grained Texture**: نسيج يُميّز الصخور النارية الجوفية، وهو يمتاز بكبر حجم بلّورات الصخر، بحيث يُمكن رؤيتها بالعين المُجرّدة.

نسيج زجاجي **Glassy Texture**: أحد أنسجة الصخور النارية السطحية الذي يتكوّن عندما تتعرّض اللابة المنسابة على سطح الأرض لتبريد سريع جدّاً، فلا يحدث تكوّن للبلّورات، وترتبط الذرات بعضها ببعض عشوائياً، فيصبح النسيج زجاجي الملمس.

نسيج سماقي (بورفيري) **Porphyritic Texture**: نسيج يُميّز الصخور النارية، وهو يتكوّن من بلّورات كبيرة مرئية محاطة ببلّورات صغيرة غير مرئية.

نسيج غير مُتورّق **Non foliation Texture**: نسيج يُميّز بعض أنواع الصخور المُتحوّلة، التي تحتوي على معادن ذات بلّورات متساوية في الحجم، مثل بلّورات الكوارتز والكالسيت، ولا يوجد فيها أيّ تطبّق، وهي تتجّ بفعل التحوّل التماسي.

نسيج فقاعي **Vesicular Texture**: نسيج يُميّز الصخور النارية السطحية، ويحتوي على فجوات وثقوب في الصخور، ويتكوّن نتيجة خروج الغازات من اللابة وهي تتدفّق على سطح الأرض.

نسيج مُتورّق **Foliated Texture**: نسيج يُميّز بعض أنواع الصخور المُتحوّلة، التي تحوي معادن على شكل طبقات رقيقة؛ نتيجة لترتيب بلّورات بعض المعادن متعامدة مع اتجاه الضغط المؤثّر في الصخر.

نسيج ناعم الحبيبات **Fine Grained Texture**: نسيج يُميّز الصخور النارية السطحية، وهو يمتاز ببلّورات صغيرة الحجم لا تُرى بالعين المُجرّدة.

أولاً- المراجعُ العربيَّة:

1. حسن بن محمد باصرة، الاستدلال بالنجوم، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، 2013م.
2. عبد القادر عابد، جيولوجية الأردن وبيئته ومياهه، دار وائل للطباعة والنشر والتوزيع، 2016م.
3. محمد عبد الغني عثمان مشرف، أسس علم الرسوبيات، جامعة الملك سعود، الرياض، 1997م.

ثانياً- المراجعُ الأجنبيَّة:

1. Lutgens, K. and Tarbuck, **Foundations of Earth Science**, Pearson; 7th Edition, 2014
2. Myron G. Best, **Igneous and Metamorphic Petrology**, Wiley-Blackwell; 2 edition, 2002
3. Earle, S. **Physical Geology**. Victoria, B.C.: BCcampus. 2015. Retrieved from <https://open-textbc.ca/geology/>
4. Prentice Hall Science Explorer, **Astronomy**, Astronomy Resource Material, Boston, Massachusetts; Glenview, Illinois; Shoreview, Minnesota; Upper Saddle River, New Jersey, pearson. Available at the following Url: (<https://1.cdn.edl.io/dzeXRtsWp1sOFxpMa1eBJy-qHUzsb0yDAMUaxqaesfJpyrMZm.pdf>).
5. Scott., W., J., (2010). **Introduction to Astronomy from Darkness to Blazing Glory**, Astronomy Textbook, part 1; 2nd Edition, JAS Educational Publications, Printing by Minuteman Press, Berkley, California.
6. KachelrieB, M., (2011). **A Concise Introduction to Astrophysics**, Lecture Notes for FY 2450, 2nd Edition, Institute for Fysikk, NTNU, Trondheim, Norway. Available at the following URL: (http://web.phys.ntnu.no/~mika/skript_astro.pdf).
7. Basu, B.; Chattopadhyay, T., & Biswas, S., N., (2010). **An Introduction to Astrophysics**, 2nd Edition, PHI Learning Private Limited, New Delhi. Available at the following URL:

(https://books.google.jo/books?id=WG-HkqCXhKgC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).

8. Tran, H.; Russo, P., and Russell, T., (2005). **Black Hole Activities– a quick reference guide**. Leiden University, University of Amsterdam ,Pearson Education Inc., publishing as Addison-Wesley.
9. Hawking, S., (2001). **A Brief History of Time**, available at the following URL: (https://www.fisica.net/relatividade/stephen_hawking_a_brief_history_of_time.pdf).
10. Liddle, A., (2003). **An Introduction to Modern Cosmology**, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England.
11. Vidana, I., (2014). **A three Hours Walk through the Physics of Neutron Stars**, 26th Indian- Summer School & SPHERE School of Physics Low Energy Hadron Physics, September 3-7, 2014, Prague, Czech Republic.
12. National Science Foundation, (2005). **Astrobiology** -An Integrated Science Approach, TERC, 2067 Massachusetts Avenue, Ambit Press, Cambridge, Center, available at the following URL: (<https://www.lpi.usra.edu/education/step2012/participant/TERC.pdf>).
13. Johnston, H., (2018). **Modern Astronomy: An Introduction to Astronomy**, School of Physics , The University of Sydney, available at the following URL: (<http://www.physics.usyd.edu.au/~helenj/IAST/IA1-intro.pdf>).
14. Fraknoi, A.; Morrison, D.; and Wolff, S., (2017). **Astronomy**, OpenStax, Rice Univeristy, Houston, Texas.

ثالثاً - المواقع الإلكترونية:

1. www.starrynight.com
2. <http://nightsky.jpl.nasa.gov>
3. <http://www.seasky.org/astronomy/astronomy.html>
4. <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SKYCAL/SKYCAL.html>
5. <https://hubblesite.org/science>
6. https://chandra.harvard.edu/edu/formal/stellar_ev/
7. <http://www.jwst.nasa.gov/>
8. <https://astroedu.iau.org/en/activities/1304/model-of-a-black-hole/>
9. <https://medium.com/@iauastroru/black-hole-classroom-activities-quick-reference-guide-chapter-2-56f4513cf92>
10. <http://www.minsocam.org/>