المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

علوم الأرض والبيئة

الصف الحادي عشر - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

11

علوم الأرض والبيئة

الصف الحادي عشر علمي - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

11

فريـق التأليـف

موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

د. محمود عبد اللطيف حبوش　　لـــؤي أحمـــد منصـــور　　سكينة محي الدين جبر

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسرُّ 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

@nccdjor　feedback@nccd.gov.jo　www.nccd.gov.jo

قـرَّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هـذا الكتـاب في مـدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعهـا، بناءً عـلى قرار المجلـس الأعلى للمركز الوطني لتطـــوير المناهـــج في جلسته رقم (2021/5)، تاريخ 2021/12/7 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2021/177)، تاريـخ 2021/12/21 م، بـدءًا من العام الـدراسي 2021 / 2022 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2021.
- 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 - 298 - 5

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية:
(2022/4/1896)

375,001

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

علوم الأرض والبيئة: الصف الحـادي عشر: الفصل الثاني (كتاب الطالب)/ المركز الوطني لتطوير المناهج.– ط2؛

مزيدة ومنقحة.– عمان: المركز، 2022

(90) ص.

ر.إ.: 2022/4/1896

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

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبّر هذا المصنف 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.

الطبعة الأولى (التجريبية) 1442 هـ – 2021 م
أعيدت طباعته 1443 هـ – 2022 م

قائمة المحتويات

المقدمة 5

الوحدة الرابعة: المجرات والكون 7

الدرس 1: المجرة 10

الدرس 2: أنواع المجرات 16

الدرس 3: توسُّع الكون 22

الإثراء والتوسُّع: مجرة المرأة المسلسلة 28

مراجعة الوحدة 29

الوحدة الخامسة: تاريخ الأرض 31

الدرس 1: نشأة الأرض 34

الدرس 2: التأريخ النسبي للصخور 41

الدرس 3: التأريخ المُطلَق للصخور 51

الدرس 4: جيولوجية الأردن 66

الإثراء والتوسُّع: السياحة الجيولوجية في الأردن 81

مراجعة الوحدة 82

مسرد المصطلحات 84

قائمة المراجع 87

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

انطلاقًا 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 مُعينًا للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجاراة أقرانهم في الدول المتقدمة.

يُعَدُّ هذا الكتاب واحدًا من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعْنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحلِّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وَفق أفضل الطرائق المُتَّبَعة عالميًّا؛ لضمان انسجامها مع القِيَم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لحاجات أبنائنا الطلبة والمعلِّمين والمعلِّمات.

جاء هذا الكتاب مُحقِّقًا مضامين الإطار العام والإطار الخاص للعلوم، ومعاييرها، ومُؤشِّرات أدائها المُتمثِّلة في إعداد جيل محيط بمهارات القرن الواحد والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومعتزٍّ -في الوقت نفسه- بانتمائه الوطني. وتأسيسًا على ذلك، فقد اعتُمِدت دورة التعلُّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطلبة الدور الأكبر في العملية التعلُّمية التعليمية، وتُوفِّر له فرصًا عديدةً للاستقصاء، وحلِّ المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلًا عن اعتماد منحى STEAM في التعليم الذي يُستعمَل لدمج العلوم، والتكنولوجيا، والهندسة، والفن، والعلوم الإنسانية، والرياضيات في أنشطة الكتاب المُتنوِّعة، وفي قضايا البحث. يحتوي الفصل الدراسي الثاني من كتاب علوم الأرض والبيئة للصف الحادي عشر على وحدتين دراسيتين، هما: المجرات والكون، وتاريخ الأرض. وتحتوي كل وحدة منهما على تجربة استهلالية، وتجارب وأنشطة استقصائية مُتضمَّنة في الدروس، وقضايا البحث، والموضوع الإثرائي في نهاية كل وحدة. يضاف إلى ذلك الأسئلة التقويمية، بَدْءًا بالتقويم التمهيدي المُتمثِّل في طرح سؤال في بداية كل وحدة ضمن بند (أتأمَّل الصورة)، وانتهاءً بالأسئلة التكوينية المُتنوِّعة في نهاية كل موضوع من موضوعات الدروس، فضلًا عن الأسئلة التقويمية في نهاية كل درس، والتقويم الختامي في نهاية كل وحدة الذي يتضمَّن أسئلة تثير التفكير. وقد أُلحِق بالكتاب كتاب الأنشطة والتجارب العملية الذي يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب، وأسئلة مثيرة للتفكير؛ لتساعد الطلبة على تنفيذها بسهولة. ونحن إذ نُقدِّم هذه الطبعة من الكتاب، فإنَّنا نأمل أنْ يُسهِم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية المُتعلِّم، وتنمية اتجاهات حُبِّ التعلُّم ومهارات التعلُّم المستمر، فضلًا عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المُتنوِّعة، والأخذ بملاحظات المعلِّمين والمعلِّمات.

واللّه ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدة 4

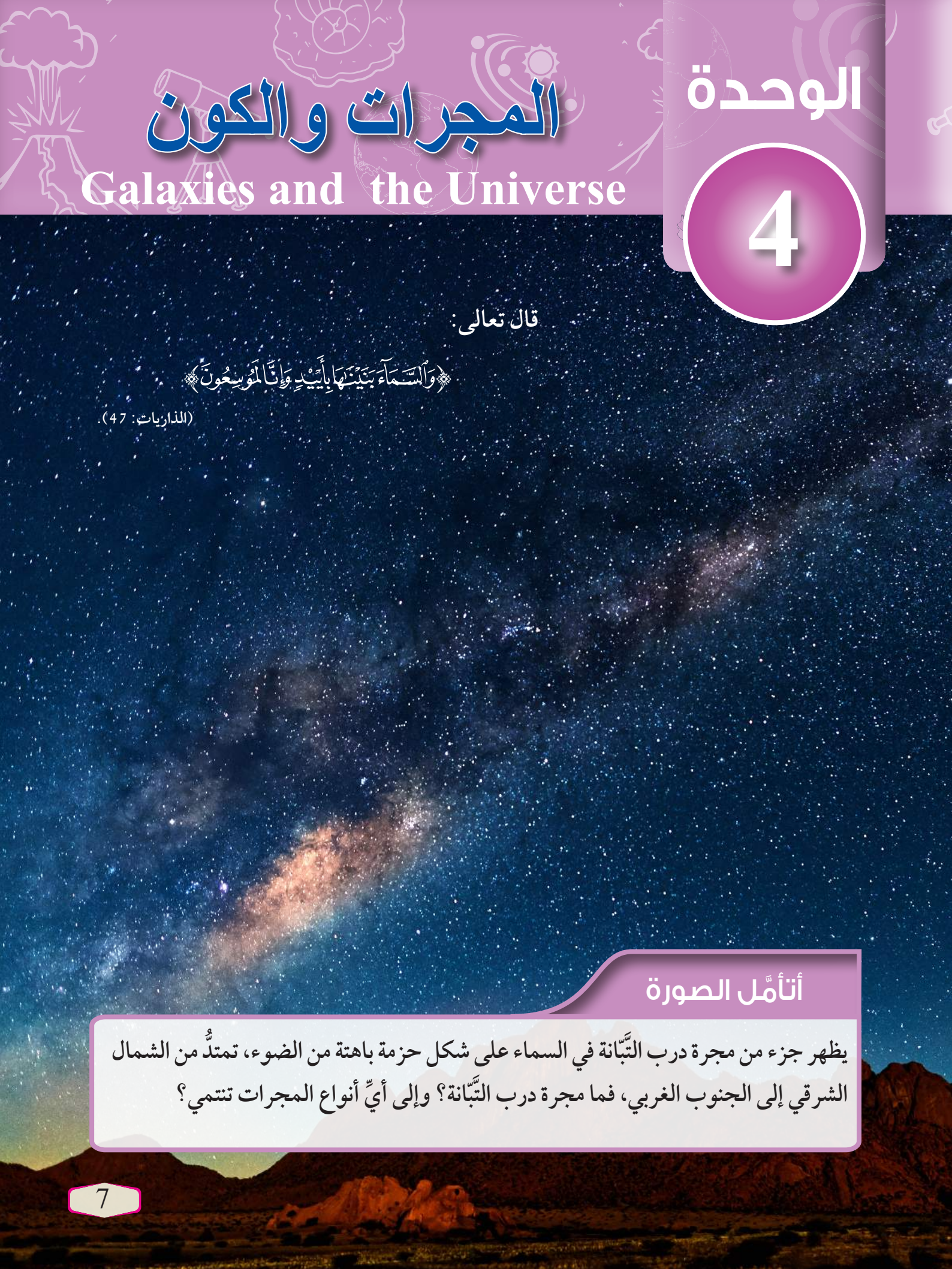
المجرات والكون

Galaxies and the Universe

قال تعالى:

﴿وَٱلسَّمَآءَ بَنَيۡنَٰهَا بِأَيۡيْدٖ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ﴾

(الذاريات: 47).



أتأمَّل الصورة

يظهر جزء من مجرة درب التَّبّانة في السماء على شكل حزمة باهتة من الضوء، تمتدُّ من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي، فما مجرة درب التَّبّانة؟ وإلى أيِّ أنواع المجرات تنتمي؟

الفكرة العامة:

تُعَدُّ المجرات وحدة البناء الأساسية للكون، وهي تختلف في أشكالها، وحجومها، وأعمارها، وكيفية حركتها.

الدرس الأوَّل: المجرة.

الفكرة الرئيسة: المجرة تجمُّع هائل من النجوم، والكواكب، والأقمار، والكُوَيكِبات، والنيازك، والغازات، والأغبرة الكونية، التي يرتبط بعضها ببعض بقوى جاذبية. تختلف المجرات في ما بينها من حيث الحجم.

الدرس الثاني: أنواع المجرات.

الفكرة الرئيسة: تُصنَّف المجراتُ بحسب أشكالها إلى مجرات إهليليجية، ومجرات حلزونية، ومجرات غير مُنتظَمة.

الدرس الثالث: توسُّع الكون.

الفكرة الرئيسة: تتباعد المجرات بعضها عن بعض، وتُظهِر أطيافها انزياحًا نحو الأحمر.

نمذجة المجرات

يتألَّف الكون من مليارات المجرات التي تتخذ أشكالًا مختلفةً، وتُعَدُّ ضخامة المجرات وسحر أشكالها وألوانها من الأمور المثيرة فيه.

المواد والأدوات: لتر من الحليب، صبغة طعام سائلة ذات ألوان مختلفة: (أحمر، أزرق، أصفر، أخضر)، قطعة صغيرة من القطن، سائل تنظيف الأطباق، وعاءان زجاجيان، لوحة من الكرتون.

إرشادات السلامة:

استعمال الوعاءين الزجاجيين وصبغات الطعام المختلفة بحذر.

خطوات العمل:

1. أملأ نصف الوعاء الأول بالحليب.
2. أُضيف إلى الحليب أربع قطرات من صبغة الطعام بألوانها الأربعة عشوائيًّا.
3. أسكب قليلًا من سائل تنظيف الأطباق في الوعاء الثاني.
4. أغمِس قطعة القطن بسائل تنظيف الأطباق من أحد طرفيها.
5. أغمِس طرف قطعة القطن المُبلَّلة بسائل تنظيف الأطباق في منتصف وعاء الحليب، مُلاحِظًا ما يحدث، ثم أُدوِّن ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. **أَصِف:** ماذا حدث عند غمس قطعة القطن المُبلَّلة بسائل تنظيف الأطباق في منتصف وعاء الحليب؟
2. أُحدِّد: إذا علمْتُ أنَّ ما فعلْتُهُ كان تصميم نموذج لمجرة، فماذا تُمثِّل قطرات صبغة الطعام؟ وماذا يُمثِّل الحليب؟
3. **أرسم** تداخل الألوان الناتج في وعاء الحليب، علمًا بأنَّ ما أرسمه يُمثِّل شكل المجرة وألوانها.

الفكرة الرئيسة:
المجرة تجمُّع هائل من النجوم، والكواكب، والأقمار، والكُوَيكِبات والنيازك، والغازات، والأغبرة الكونية، التي يرتبط بعضها ببعض بقوى جاذبية. تختلف المجرات في ما بينها من حيث الحجم.

نتاجات التعلُّم:
- أتعرَّف مفهوم المجرة.
- أَصِف وصفًا دقيقًا شكل مجرة درب التَّبّانة بوصفها مثالًا على المجرات.
- أرسم موقع النظام الشمسي في مجرة درب التَّبّانة، مراعيًا أبعادهما.

المفاهيم والمصطلحات:
المجرة Galaxy
المجرات القزمة Dwarf Galaxies
المجرات العملاقة Giant Galaxies

ما المجرة؟ What is a Galaxy?

تعلَّمْتُ في صفوف سابقة أنَّ الشمس ومجموعة الأجرام التي تدور حولها ، مثل الكواكب، ومنها كوكب الأرض، وما يتبعها من أقمار، تقع في مجرة تُسمّى مجرة درب التَّبّانة، فما المقصودُ بالمجرة، وما خصائصُ مجرة دربِ التَّبّانة؟

تُعرَّف **المجرة Galaxy** بأنَّها تجمُّع هائلٌ من مليارات النجوم المختلفة في خصائصها، والكواكب، والأقمار، والكُوَيكِبات، والنيازك والغازات، والأغبرة الكونية، التي يفصل بينها مسافات هائلة. تُعَدُّ المجرات الوحدة الأساسية في بناء الكون، وترتبط مُكوِّنات المجرة بعضها ببعض بقوى جاذبية، فتتحرَّك في الكون بوصفها وحدة واحدة.

تُعَدُّ مجرة المرأة المسلسلة Andromeda أوَّل المجرات التي رصدها من الأرض العالِم الفلكي المسلم عبد الرحمن الصوفي، أنظر الشكل (1).

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح المقصود بالمجرة.

الشكل (1): مجرة المرأة المسلسلة.

يُطلِق العلماء على المجرات التي يتراوح عددها بين 1000 نجم وعِدَّة ملايين من النجوم اسم **المجرات القزمة Dwarf Galaxies**، مثل مجرة ماجلان الصغرى. وقد تتكوَّن المجرة من مليارات النجوم، فيُطلَق عليها اسم **المجرات العملاقة Giant Galaxies**. يُذكَر أنَّ مجرة درب التَّبّانة هي من المجرات العملاقة.

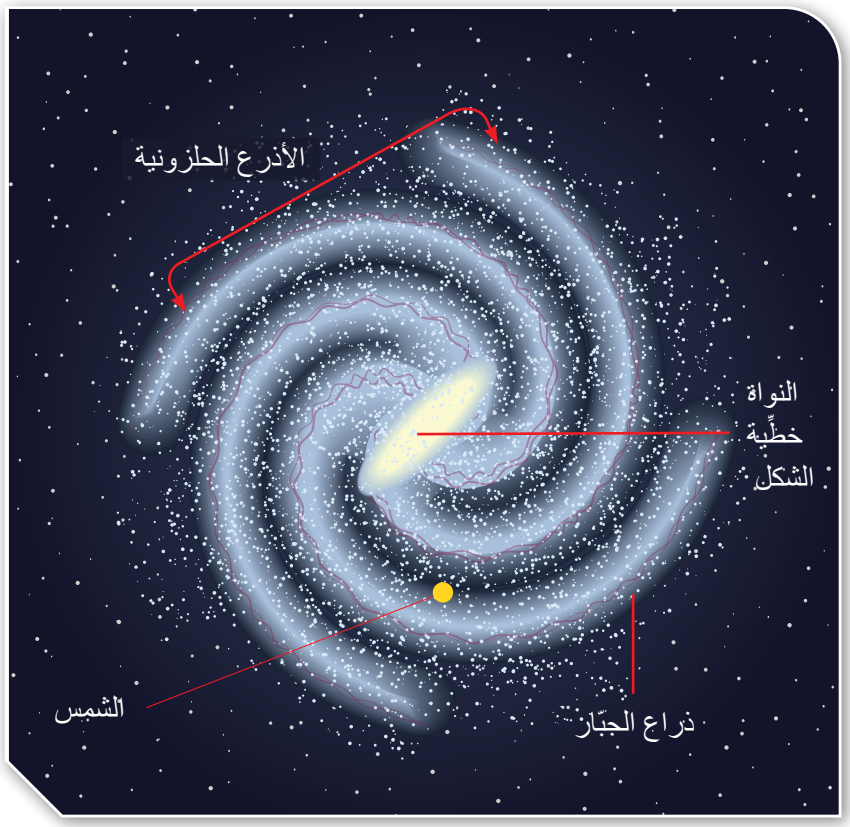
مجرة درب التَّبّانة The Milky Way Galaxy

تُعَدُّ مجرة درب التَّبّانة إحدى المجرات مُتوسِّطة العُمر ذات الشكل الحلزوني، وتضمُّ نحو (200-400) مليار نجم، وتكون النجوم فيها منفردة مثل الشمس، أو على شكل أنظمة نجمية مثل النجوم الثنائية والعناقيد النجمية، أو على شكل كوكبات نجمية، وتنتشر في أطرافها سُحُب من الغبار والغازات الكونية.

تتكوَّن مجرة درب التَّبّانة من أذرع حلزونية عملاقة تدور من الغرب إلى الشرق حول نواة خطِّية الشكل تقع في مركز المجرة، أنظر الشكل (2). تقع الشمس على إحدى أذرع المجرة، التي تُسمّى ذراع الجبّار، وتبعد عن نواة المجرة نحو light years (27.000).

أبحث:

تقع الشمس على ذراع الجبّار في مجرة درب التَّبّانة. أبحث في مصادر المعرفة المتوافرة عن أسماء الأذرع الأُخرى في مجرة درب التَّبّانة، ثم أعرض نتائج بحثي أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.



الشكل (2): مجرة درب التَّبّانة.

عند رصد مجرة درب التَّبّانة، يُلاحَظ أنَّ النجوم تتجمَّع في مركزها، ويعتقد العلماء أنَّ سبب ذلك هو وجود ثقب أسود في المركز.

تُسمّى مجرة درب التَّبّانة باللغة الإنجليزية Milky Way؛ أيْ درب اللبانة؛ نظرًا إلى شكلها الـذي يُشبِه خطًّا من الحليب في السماء عند رؤية جزء منها من الأماكن غير المضاءة، أنظر الشكل (3) الذي يُبيِّن جزءًا من مجرة درب التَّبّانة عند رصدها في سماء وادي رم.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن سبب تسمية العرب لمجرة (Milky Way) مجرة درب التَّبّانة، ثم أعرض نتائج بحثي أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

الشكل (3): جزء من مجرة درب التَّبّانة كما تظهر في وادي رم.

أَصِف شكل مجرة درب التَّبّانة كما تظهر في السماء.

(أ)

(ب)

الشكل (4):
أ - مجرة درب التَّبّانة من المسقَط الجانبي.
ب- مجرة درب التَّبّانة من المسقَط الرأسي.

يختلف شكل مجرة درب التَّبّانة، فتظهر من المسقط الجانبي على شكل قرص ضيِّق فيه انتفاخ من الوسط، أنظر الشكل (4/ أ). وتظهر من المسقط الرأسي على شكل حلزوني لولبي، أنظر الشكل(4/ ب).

يعتقد العلماء أنَّ مجرة درب التَّبّانة نشأت من اندماج مجرتين، إحداهما قزمة حديثة، والأُخرى قديمة أكبر حجمًا، وذلك قبل 13 billion years تقريبًا. أنظر الشكل (5). وقد استدلَّ العلماء على صحَّة اعتقادهم بدراسة نجوم المجرة التي أظهرت أنَّ مجرة درب التَّبّانة تضمُّ نوعين من النجوم: نجوم حمراء قديمة، ونجوم زرقاء حديثة.

أفكِّر

يُمكِن رصد جزء من مجرة درب التَّبّانة في السماء، من الأماكن غير المُضاءَةِ في الأرض. أُفكِّر كيف يُمكِنني فعل ذلك، والأرض تقع داخل هذه المجرة.

✓ **أتحقَّق:** أُبيِّن سبب إطلاق اسم Milky Way Galaxy على مجرة درب التَّبّانة.

الشكل (5): اندماج مجرتين حلزونيتين كما حدث في مجرة درب التَّبّانة عند نشأتها.

لتعرُّف بعض خصائص مجرة درب التَّبّانة، أُنفِّذُ النشاط الآتي.

نشاط

خصائص مجرة درب التَّبّانة

لم يستطع علماء الفَلَك تعرُّف شكل مجرة درب التَّبّانة؛ لأنَّ الأرض جزء منها، لكنَّهم تعرَّفوا خصائصها باستخدام المقاريب (التلسكوبات) الراديوية، والأشعة تحت الحمراء المنبعثة عنها، ومقارنتها بأشكال المجرات الأُخرى. يُمثِّل الجدول الآتي بعض البيانات التي جُمِعت عن المجرة. أدرس الجدول جيِّدًا، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه:

خصائص مجرة درب التَّبّانة	
نوع المجرة	حلزونية خطِّية النواة
العُمر	13 billion years
القُطْر	100000 light years
السُّمْك	10000 light years
الكتلة	5.8×10^{11} ضعف كتلة الشمس
زمن دوران المجرة حول نفسها	250 million years
زمن دوران الشمس حول مركز المجرة	225 million years
*السنة الضوئية **Light Year**: وحدة قياس تُستخدَم لوصف المسافات البعيدة بين الأجرام السماوية، وتُعرَّف بأنَّها المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة، وتُعادِل 9.4×10^{12} km	

التحليل والاستنتاج:

1- أُحدِّد نوع مجرة درب التَّبّانة.

2- **أحسُب** قُطْر مجرة درب التَّبّانة بوحدة km.

3- **أحسُب** عدد الدورات التي أكملتها الشمس حول مركز مجرة درب التَّبّانة حتى الآن، علمًا بأنَّ عُمر الشمس كما يُقدِّره علماء الفَلَك 4.7 billion years تقريبًا.

4- **أتوقَّع**: ماذا يُطلَق على المُدَّة الزمنية التي تُكمِل فيها الشمس دورة كاملة حول مركز المجرة؟

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضِّح مفهوم المجرة.
2. **أُفسِّر:** لماذا تتجمَّع النجوم في مركز مجرة درب التَّبّانة؟
3. **أُقارِن** بين المجرات القزمة والمجرات العملاقة من حيث عدد النجوم التي تحويها.
4. **أَصِف** كيف نشأت مجرة درب التَّبّانة بحسب اعتقاد العلماء.
5. أدرس الشكل الآتي الذي يُبيِّن مجرة درب التَّبّانة، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه:

أ . أُحدِّد عدد الأذرع في المجرة.

ب. **أَصِف** شكل النواة في مركز المجرة.

جـ. **أرسم** موقع الشمس في المجرة مراعيًا أبعاد كلٍّ منهما.

د . **أَصِف** حركة الأذرع الحلزونية حول مركز المجرة.

الدرس 2

أنواع المجرات
Types of Galaxies

الفكرة الرئيسة:
تُصنَّف المجرات بحسب أشكالها إلى مجرات إهليليجية، ومجرات حلزونية، ومجرات غير مُنتظَمة.

نتاجات التعلُّم:
- أتعرَّف المجرات من حيث أنواعها، وأشكالها، ومُكوِّناتها.
- أُصنِّف المجرات باستخدام صور فلكية.

المفاهيم والمصطلحات:
المجرات الإهليليجية
Elliptical Galaxies
المجرات الحلزونية
Spiral Galaxies
المجرات غير المُنتظَمة
Irregular Galaxies

تصنيف المجرات Galaxies Classification

تعلَّمْتُ أنَّ المجرة هي الوحدة الأساسية في بناء الكون الذي يحوي (10^{8}-10^{11}) مجرة تقريبًا. وقد درس علماء الفَلَك المجرات، ولاحظوا أنَّها تختلف في أشكالها، وحجومها، وأعمارها، وشِدَّة إضاءتها وسطوعها، وعملوا على تصنيفها لتسهيل دراستها، ومن أشهر تلك التصنيفات تصنيف العالِم الفلكي إدوين هابل (Edwin Hubble).

درس هابل المجرات باستخدام مِقْراب فلكي امتاز عن غيره من المقاريب بإتاحته رؤية الكون على نحوٍ أكثر وضوحًا، وكان ذلك باستخدام مَرْصَد جبل ويلسون في الولايات المتحدة الأمريكية، وقد اعتمد هابل اختلاف أشكال المجرات أساسًا في تصنيفها إلى مجرات إهليليجية (بيضوية)، ومجرات حلزونية، ومجرات غير مُنتظَمة، أنظر الشكل (6).

الشكل (6): تظهر المجرات في الكون بأشكال وأحجام مختلفة، فمنها لها شكلٌ منتظَم ومنها ليس لها شكلٌ منتظَم.
أصِف أشكالَ المجرات في الشكل.

الشكل (7): اختلاف المجـرات الإهليليجيـة في شِدَّة استطالتها، واقتراب بعضها من الشكل الكروي.

المجرات الإهليليجية Elliptical Galaxies

تُعَدُّ **المجرات الإهليليجية Elliptical Galaxies** إحـدى أكـثر المجرات شيوعـًا في الكون، وتمتاز بأنَّها أقدم المجرات وأكبرهـا عُمرًا، وقد سُمِّيـت بهذا الاسم؛ لأنَّ شكلها إهليليجي، ومن الأمثلـة عليها مجرة مسييه 59 (Messier 59).

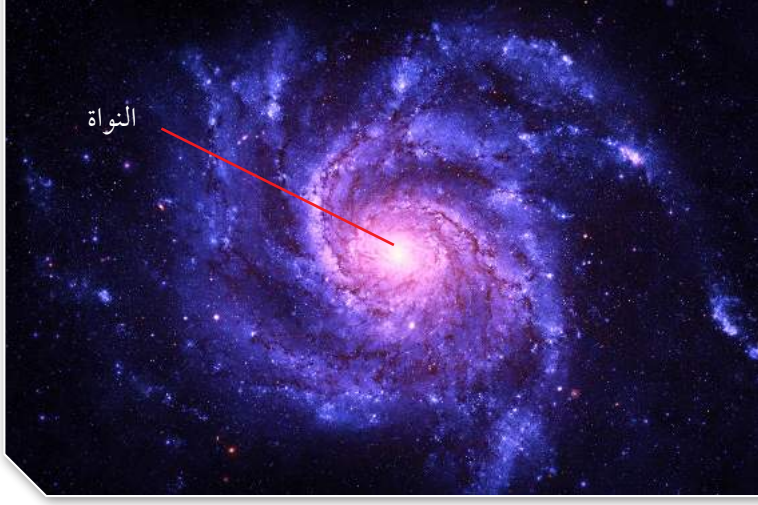
تختلف المجرات الإهليليجية في شِدَّة استطالتها، فبعضها شديد الاستطالة، وبعضها الآخر قليل الاستطالة، بحيث إنَّه يكاد يقترب من الشكل الكروي في بعض المجرات. واعتمادًا على ذلك، قُسِّمَتِ المجرات الإهليليجية إلى ثماني فئات، هي:

(E0, E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7). تُعَدُّ المجرة E0 أقلَّ المجرات الإهليليجية استطالةً، وأكثرها ميلًا إلى الشكل الكروي. أمّا المجرة E7 فهي أكثر المجرات الإهليليجية استطالةً، في حين تندرج بينهما الفئات الأُخرى من المجرات الإهليليجية، أنظر الشكل (7).

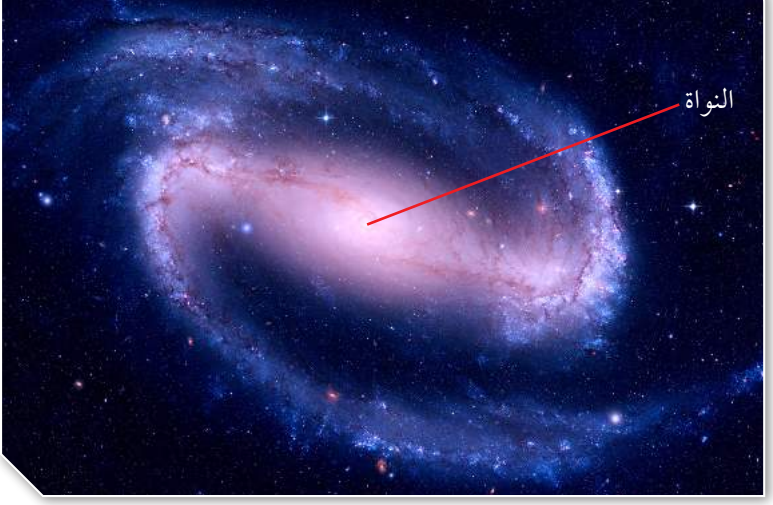
تحتوي معظم المجرات الإهليليجية على قليل من الغازات والأغبرة الكونية بين نجومها؛ ما يساعد على سهولة رصدها ومشاهدتها.

أبحث:

تُصنَّـف بعـض المجـرات الإهليليجيـــة ضمـــن المجـــرات العمـــلاقة. مستعينًا بمصـادر المعرفـة المتوافـــرة، أبحـث عـن أمثلـة علـى المجـــرات الإهليليجيـــة العمـــلاقة، ثـم أعـرض نتائـج بحثي أمـام زملائي/ زميلاتـي في الصـف.



(أ)



(ب)

الشكل (8):
أ- مجرة حلزونية كروية النواة.
ب- مجرة حلزونية خطِّية النواة.

الربط بالتكنولوجيا

تقديرًا للعالِم إدوين هابل، سُمِّي المِقْراب المُخصَّص لدراسة الفضاء واستكشافه باسمه (مِقْراب هابل الفلكي). يُعَدُّ هذا المِقْراب من أفضل التقنيات العلمية التي تمكَّنت من التقاط صورًا للفضاء خارج الغلاف الجوي، وقد أُطلِق عام 1990 م على متن المكوك الفضائي Discovery من وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) NASA في مدار حول الأرض، ولا يزال مُستخدَمًا حتى الآن. يمتاز مِقْراب هابل عن غيره من المقاريب بإمكانية استبدال المعدّات التالفة فيه؛ ما يزيد من عُمره الافتراضي المُقدَّر بنحو 15 عامًا.

المجرات الحلزونية Spiral Galaxies

تمتاز **المجرات الحلزونية Spiral Galaxies** بأنَّ لها أذرعًا تلتفُّ حول نواتها بشكل حلزوني؛ ما يُفسِّر سبب تسميتها المجرات الحلزونية، ويُرمَز إليها بالرمز (S).

تُعَدُّ المجرات الحلزونية من المجرات مُتوسِّطة العُمر، وقد لاحظ العلماء عند رصدها أنَّها تحوي كمّيات كبيرة من الغازات والأغبرة الكونية بين نجومها مقارنة بالمجرات الإهليليجية.

تُصنَّف المجرات الحلزونية إلى نوعين رئيسين بحسب شكل النواة في مركز المجرة، هما:

المجرات الحلزونية كروية النواة Spiral Galaxies التي يُرمَز إليها، بالرمز (S)، أنظر الشكل (8/ أ)، والمجرات الحلزونية خطِّية النواة Spiral Barred Galaxies التي يُرمَز إليها بالرمز (SB)، أنظر الشكل (8/ ب).

أمّا التصنيفات الفرعية الأخرى للمجرات الحلزونية فقد اعتمدت على شِدَّة انفتاح الأذرع حول نواة المجرة. فالحرف (a) يُمثِّل أقلَّ الأذرع انفتاحًا، في حين يُمثِّل الحرف (b) أذرعًا مُتوسِّطةَ الانفتاح. أمّا الحرف (c)، فيُمثِّل أذرعًا شديدةَ الانفتاح.

المجرات غير المُنتظَمة Irregular Galaxies

تُعَدُّ **المجرات غير المُنتظَمة Irregular Galaxies** مجرات صغيرة باهتة يصعب اكتشافها ورصدها في الغالب؛ لأنَّها تحوي كمِّية من الغازات والأغبرة الكونية بين نجومها أكثر ممّا تحويه أنواع المجرات الأُخرى، ويرى العلماء أنَّها أحدث المجرات عُمرًا، ويُرمَز إليها بالرمز (Irr). وقد سُمِّيت بهذا الاسم لعدم وجود شكل مُنتظَم لها مثل بقيَّة المجرات، وتُعَدُّ سحابة ماجلان الكبرى وسحابة ماجلان الصغرى من المجرات غير المُنتظَمة، أنظر الشكل (9).

✓ **أتحقَّق:** أُحدِّد أنواع المجرات الحلزونية تبعًا لشكل النواة في مركزها.

الشكل (9): سحابة ماجلان الصغرى التي تبدو بشكل غير مُنتظَم.

أُفكِّر

تُعَدُّ مجرة درب التَّبّانة مجرة حلزونية خطِّية النواة، وذات أذرع مُتوسِّطة الانفتاح. أُحدِّد: ما الرمز الذي يُمثِّلها؟

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن مجرات حلزونية غير مجرة درب التَّبّانة، مُحدِّدًا أسماءها وبعض خصائصها، ثم أعرض نتائج بحثي أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

أُعِدُّ فِلْمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يُبيِّن أنواع المجرات المختلفة. مُضمِّنًا إيّاه خصيصة الردِّ الصوتي لإضافة الشروح المناسبة لصور هذه المجرات، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

رتَّب العالِم هابل المجرات الإهليليجية، والمجراتِ الحلزونية، والمجرات غير المُنتظمَة في مُخطَّط يُبيِّن العلاقة بينها. لتعرُّف مُخطَّط هابل في تصنيف المجرات، أُنفِّذ النشاط الآتي.

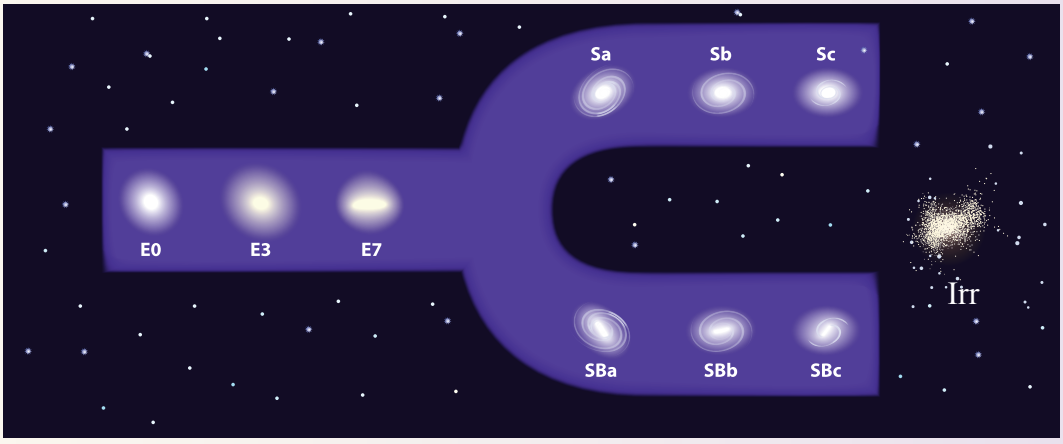
نشاط

تصنيف المجرات

يُمثِّل الشكل الآتي مُخطَّطًا صمَّمه العالِم هابل لدراسة مختلف أنواع المجرات: (الإهليليجية، والحلزونية، وغير المُنتظَمة). أتأمَّل المُخطَّط جيِّدًا، مُلاحِظًا شكل المجرات فيه، وكيفية ترتيبها، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه:

تزايد عُمر المجرات.

تناقص كمِّية الغازات والأغبرة الكونية.



التحليل والاستنتاج:

1- **أتوقَّع** الاسم الذي أطلقه العالِم الفلكي إدوين هابل على المُخطَّط تبعًا لشكله.

2- أُبيِّن رمز المجرة التي لها نواة كروية في المركز، وأذرعها شديدة الانفتاح.

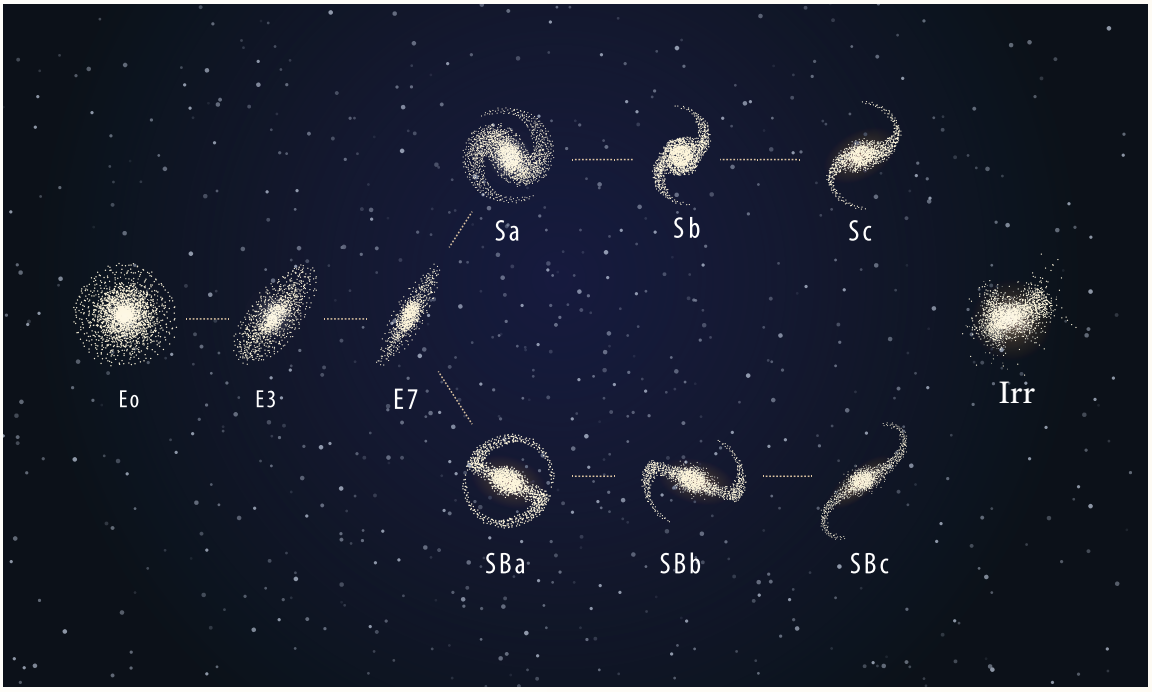
3- **أُقارِن** بين المجرة SBa والمجرة Sb من حيث شكلها، وكمِّية الغازات فيها، وعُمرها.

4- **أَصِف** المجرة E0 مُحدِّدًا عُمرها، وكمِّية الغازات والأغبرة الكونية التي تحويها.

يُطلَق على مُخطَّط هابل لتصنيف المجرات اسم مُخطَّط الشوكة الرنانة Hubble's Tuning Fork Diagram، ويُبيِّن المُخطَّط أنَّ عُمر المجرات يزداد وأنَّ كمِّية الغازات والأغبرة الكونية فيها تقلُّ كلَّما انتقلنا من المجرات غير المُنتظَمة إلى المجرات الإهليليجية.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** **أُصنِّف** المجرات بحسب أشكالها.
2. أُبيِّن خصائص مجرة درب التَّبّانة من حيث نوعها، وشكل النواة فيها، وشِدَّة انفتاح أذرعها.
3. **أُقارِن** بين أنواع المجرات الثلاثة الرئيسة من حيث العُمر، وكمِّية الغازات في كلٍّ منها.
4. أُحدِّد رمز المجرة التي تحوي أكبر كمِّية من الغازات، والأغبرة الكونية.
5. أدرس الشكل الآتي الذي يُبيِّن مُخطَّط الشوكة الرنّانة، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه:



أ . أُحدِّد رمز المجرة التي تُشبِه مجرة درب التَّبّانة في شكلها.

ب. أُبيِّن رمز أكبر المجرات عُمرًا.

جـ. **أُرتِّب** المجرات الآتية من الأحدث إلى الأقدم: E0 , Irr , Sc , SBa , E3.

6. **أُفسِّر:** كمِّية الغازات والأغبرة الكونية في المجرات الحلزونية أقل منها في المجرات غير المنتظمة.
7. أُوضِّح العلاقة بين شِدَّة استطالة المجرة الإهليلجية وعُمرها.

توسُّع الكون
Expansion of the Universe

الدرس 3

الفكرة الرئيسة:
تتباعد المجرات بعضها عن بعض، وتُظهِر أطيافها انزياحًا نحو الأحمر.

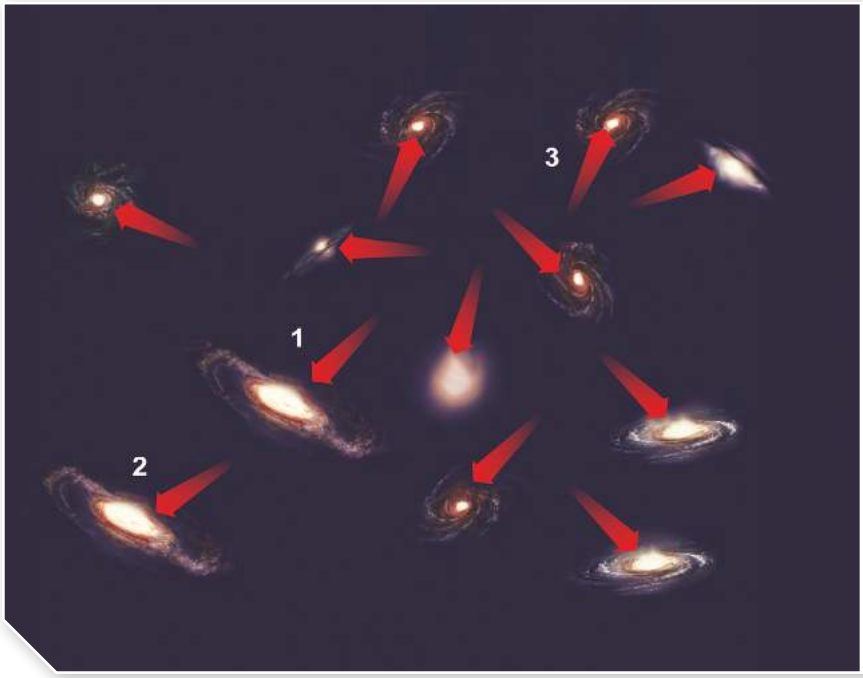
نتاجات التعلُّم:
- أشرح قانون العالِم إدوين هابل لحساب بُعْد الأجسام الكونية.
- أُنفِّذ تجربة تُمثِّل تباعد المجرات في فضاء الكون.
- أشرح مفهوم توسُّع الكون.

المفاهيم والمصطلحات:
تأثير دوبلر Doppler Effect
الفرسخ الفلكي Parsec

تباعد المجرات Moving Away of Galaxies

تعلَّمْتُ في صفوف سابقة أنَّ الكون يشمل الفضاء، وما يحويه من مادة وطاقة. فهو يتكوَّن من مليارات المجرات، وما فيها من نجوم، وكواكب، ومُذنَّبات، وكُوَيكِبات، وغير ذلك.

درس العلماء الكون، وقدَّموا تفسيرًا عن كيفية نشأته، وزمن بدايته ونهايته، ولاحظوا أنَّ المجرة فيه تتحرَّك بشكل مستقل بوصفها وحدة واحدة، وأنَّ المجرات يبتعد بعضها عن بعض بسرعات مختلفة، أنظر الشكل (10). وقد استدلَّ العلماء بدراسة الأطياف الكهرمغناطيسية المرئية المنبعثة من المجرات على أنَّها (المجرات) تتحرَّك مُبتعِدة عنّا؛ إذ لاحظوا أنَّ أطيافها تنزاح نحو الأحمر، فما المقصود بالانزياح نحو الأحمر؟



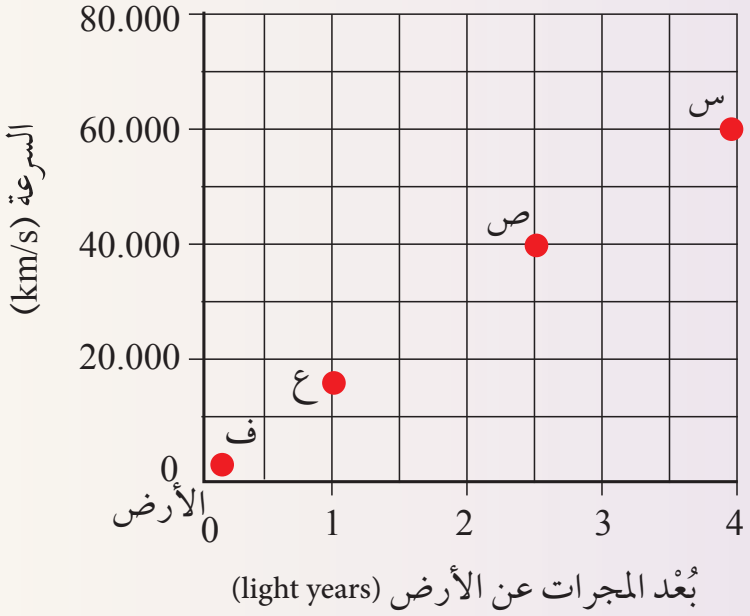
الشكل (10): تحرُّك المجرة في الكون بوصفها وحدة واحدة، وابتعاد المجرات بعضها عن بعض.

أَصِف كيف تتحرَّك المجرة التي تحمل الرقم (1) نسبة إلى حركة المجرة التي تحمل الرقم (2) والمجرة التي تحمل الرقم (3).

نشاط

تباعد المجرات

يُمثِّل الشكل الآتي مجموعة من المجرات (س، ص، ع، ف) التي تبعد مسافات مختلفة عن الأرض. أدرس الشكل جيِّدًا، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه:



التحليل والاستنتاج:

1- أُحدِّد المسافة التي تبعدها المجرة (ص) عن الأرض.

2- أُبيِّن: أيُّ المجرات تتحرَّك بسرعة أكبر: (س)، أم (ص)، أم (ع)، أم (ف)؟

3- **أتوقَّع:** عند تحليل الطيف الكهرمغناطيسي الصادر عن المجرة (س) والمجرة (ف)، لوحِظ أنَّ الطيف الكهرمغناطيسي للمجرة (س) ينزاح نحو الطول الموجي الأطول. كيف يُمكِنني تفسير ذلك؟

4- **أستنتج** العلاقة بين سرعة المجرات، وبُعْدها عن الأرض، وانزياحها نحو الأحمر.

أفكّر

أتأمَّل الشكل التالي الذي يُمثِّل ثلاثة أطياف رُصِدت لثلاثة أجرام سماوية (1، 2، 3)، ويُلاحَظ في كل طيف وجود خطوط مُعتِمة تظهر عند أطوال موجية مُعيَّنة تُسمّى طيف الامتصاص، وتنتج من امتصاص الغازات في الفضاء الخارجي للضوء الصادر من الجِرْم السماوي المتجه نحو الأرض. إذا علمْتُ أنَّ الجِرْم (1) يُمثِّل حالة الثبات، فأيُّ الأجرام تتحرَّك مُقتربةً منه؟ وأيُّها تتحرَّك مُبتعِدةً عنه؟ أُبيِّن سبب ذلك.

(2)

(1)

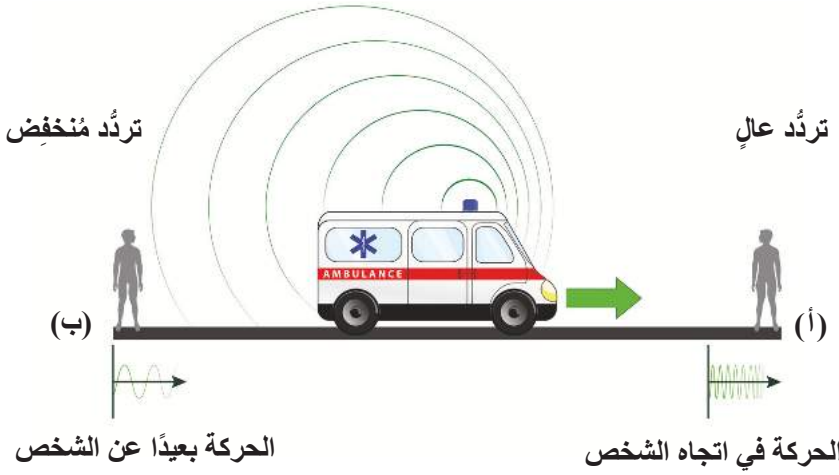
(3)

الربط بالفيزياء

يُلاحَظ من الشكل (11) أنَّه عند اقتراب سيّارة الإسعاف من الشخص عند النقطة (أ) يزداد تردُّد الصوت الصادر منها، ويقلُّ طوله الموجي. وفي الجهة المقابلة، فإنَّ الصوت الصادر عن سيّارة الإسعاف يبتعد عن الشخص عند النقطة (ب)، فيقلُّ تردُّده، ويزداد طوله الموجي، في ما يُعرَف **بتأثير دوبلر Doppler Effect**.

اعتمد العلماء تأثير دوبلر في دراسة موجات الضوء (الطيف الكهرمغناطيسي المرئي) الصادرة عن الأجسام المختلفة، ولاحظوا أنَّه إذا كان مصدر الضوء يتجه بعيدًا عنّا، فإنَّ الموجات التي تصلنا منه في (1 s) تكون قليلة العدد؛ أيْ ذات تردُّد مُنخفِض وطول موجي طويل. ومن المعلوم أنَّ ألوان الطيف المرئي تتراوح بين اللون الأزرق واللون الأحمر، ويُمثِّل اللون الأحمر الموجات ذات الطول الموجي الطويل (تردُّد مُنخفِض)، في حين يُمثِّل اللون الأزرق الموجات ذات الطول الموجي القصير (تردُّد عالٍ). ولمّا كانت الموجات المرئية (مصدر الضوء) تبتعد عنّا بفعل تأثير دوبلر، وتميل إلى الطول الموجي الطويل، فإنَّها تميل إلى الأحمر.

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح المقصود بتأثير دوبلر.



الشكل (11): تأثير دوبلر.

وفي المقابل، كُلَّما اقتربت منّا الموجات المرئية (مصدر الضوء)، زاد عدد الموجات التي تصلنا منها؛ أيْ إنَّ تردُّدها يزداد، وطولها الموجي يقلُّ؛ ما يعني أنَّ الموجات المرئية القصيرة تميل إلى الأزرق. لذلك عندما تبتعد عنّا المجرات، فإنَّ تردُّد موجات الطيف الكهرمغناطيسي المرئي الذي سترصده الأجهزة المختلفة سيكون أقلَّ، وسيكون طوله الموجي أكبر؛ أيْ إنَّه ينزاح نحو الأحمر، فنقول إنَّ المجرات التي تبتعد عنّا تنزاح أطيافها نحو الأحمر.

سرعة المجرات Galaxies Velocity

درس العالِم إدوين هابل الأطياف الكهرمغناطيسية المرئية المنبعثة من بعض المجرات التي تبعد عن الأرض مسافات مختلفة، وقد تَبيَّن له أنَّ المجرات تتحرَّك مُبتعِدةً عنّا، وأنَّ بعضها يبتعد عن بعض وَفقًا لتأثير دوبلر، وتوصَّل إلى علاقة تربط بين بُعْد المجرة عنّا وسرعتها، وتُعرَف بقانون هابل الذي ينصُّ على أنَّ سرعة تباعد المجرات تتناسب تناسبًا طرديًّا مع بُعْدها عن مجرتنا؛ أيْ إنَّه كلَّما كانت المجرة أبعد، زادت سرعة ابتعادها عنّا. وتُكتَب هذه العلاقة رياضيًّا وَفق القانون الآتي:

$$v = H_o \times d$$

حيث:

v: سرعة تباعد المجرة بوحدة (km/s).

H_o: ثابت هابل الذي يُقدَّر مُتوسِّط قيمته بنحو (70 km/s/Mpc).

d: بُعْد المجرة عنّا بوحدة مليون فرسخ فلكي *(Mpc).

*يُعرَّف **الفرسخ الفلكي Parsec** بأنَّه: وحدة قياس المسافات الكبيرة بين النجوم والمجرات، وهو يساوي $3.26 \text{ light years} = 3.1 \times 10^{13} \text{ km}$

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن أقسام الطيف الكهرمغناطيسي تبعًا لطوله الموجي، ثم أُنشِئ مُخطَّطًا أُنظِّم فيه هذه الأقسام، وأُضمِّنه أمثلة على كلٍّ منها، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

مثال

مجرة تبعد عن الشمس مسافة (99×10^6 light years)، أحسُب سرعة تباعدها، علمًا بأنَّ ثابت هابل يُقدَّر بنحو (70 km/s/Mpc)، ومُفترِضًا أنَّ الفرسخ الفلكي هو light years (3.3).

الحل:

أوَّلًا: أُحوِّل المسافة من وحدة السنة الضوئية (light years) إلى وحدة الفرسخ الفلكي (pc).

$1\ pc = 3.3\ light\ years$

$99 \times 10^6\ light\ years = ?$

$$\frac{99 \times 10^6 \times 1}{3.3} = 30 \times 10^6\ pc$$

ثانيًا: أُحوِّل المسافة من وحدة الفرسخ الفلكي (pc) إلى وحدة مليون فرسخ فلكي (Mpc) بالقسمة على 10^6.

$$\frac{30 \times 10^6}{10^6} = 30\ Mpc$$

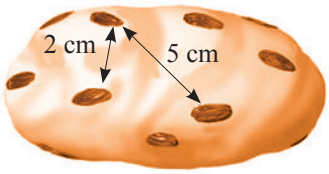
ثالثًا: أُعوِّض في القانون الآتي: $v = H_o \times d$

$(70\ km/s/Mpc) \times 30\ Mpc = 2100\ km/s$

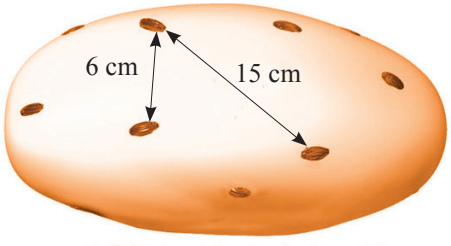
تمرين

إذا كانت سرعة تباعد إحدى المجرات هي 15400 km/s، فأحسُب بُعْدها عنّا بالفرسخ الفلكي، علمًا بأنَّ ثابت هابل هو (70 km/s/Mpc).

(أ)



(ب)



الشكل (12) (أ/ ب): نمذجة توسُّع الكون.

أُقارِن بين المجرات في الشكل (أ) والمجرات في الشكل (ب) من حيث تغيُّر المسافة بينها، واتجاه الحركة.

توسُّع الكون Expansion of the Universe

استدلَّ العلماء بحركة المجرات وتباعُد بعضها عن بعض على أنَّ الكون يتوسَّع. وقد يتبادر إلى أذهاننا أحيانًا أنَّ الأرض هي مركز الكون، وأنَّ الكون يبتعد عنّا، لكنَّ هذا ليس صحيحًا؛ فلو وقف راصد في مكان آخر من الكون، أو في مجرة أُخرى، فإنَّه سيُلاحِظ الشيء نفسه، وإنَّ الكون يبتعد عنه. ولنمذجة توسُّع الكون، يُمكِن استخدام عجينة تُمثِّل الفضاء، وحبّات من الزبيب متناثرة عليها تُمثِّل المجرات، أنظر الشكل (12/ أ). إنَّ ما يحدث لحبّات الزبيب عند خَبْزِ العجينة يُشبِه تمامًا توسُّع الكون؛ فحبّات الزبيب يتباعد بعضها عن بعض من دون أنْ تتحرَّك فعليًّا، وإنَّ تمدُّد العجينة وزيادة حجمها عند خَبْزِها

هو سبب تباعُدِها، أنظر الشكل (12/ ب)؛ إذ تتباعد جميع الحبّات بعضها عن بعض، وكذلك المجرات في الكون، يبتعد بعضها عن بعض بوصفها جميعًا وحدة واحدة؛ لأنَّ مادة الكون (الفضاء) تتمدَّد؛ ما يعني أنَّ المجرات كانت أقرب إلى بعضها يومًا ما، وهذا قاد العلماء إلى تفسير نشأة الكون بفرضيات عِدَّة سأتعرَّفها لاحقًا.

أتحقَّق: أَصِف كيف تتحرَّك المجرات في الكون.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن تجارب أو أنشطة تُنمذِج كيفية توسُّع الكون، ثم أعرض نتائج بحثي أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** **أُقوِّم** العبارة الآتية: «تُظهِر الأطياف الصادرة من المجرات انزياحًا نحو طول الموجة القصير».
2. أرجِع إلى الشكل (10)، ثم أصوغ المعلومات التي أستنتجها منه بجُمَل علمية دقيقة.
3. أدرس الجدول الآتي الذي يُمثِّل مجموعة المجرات (1، 2، 3، 4)، وشِدَّة انزياح أطيافها نحو الأحمر، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه، علمًا بأنَّ طول السهم يشير إلى شِدَّة الانزياح نحو الأحمر:

لون الطيف / رقم المجرة	أزرق أصفر أحمر
1	←
2	←
3	←
4	←

أ. **أُحدِّد** الرقم الذي يُمثِّل أبعد مجرة.

ب. **أرتِّب** المجرات (1، 2، 3، 4) في الجدول تصاعديًّا بحسب سرعة تباعدها عنّا.

جـ. **أحسُب** بُعْد المجرة التي يُمثِّلها الرقم (3) عنّا، علمًا بأنَّ سرعة تباعدها هي 46200 km/s، وثابت هابل هو (70 km/s/Mpc).

مجرة المرأة المسلسلة
Andromeda Galaxy

تُعَدُّ مجرة المرأة المسلسلة المعروفة باسم مجرة أندروميدا أقرب المجرات إلى مجرتنا درب التَّبّانة، وهي تحمل الرمز (M31)، وتبعد عنّا مسافة 2.5×10^6 light years، تمتاز هذه المجرة بأنَّها حلزونية ضخمة مقارنةً بمجرتنا درب التَّبّانة، وطولها 260000 light years، وقُطْرها 220000 light years، وتكون بذلك أطول من مجرتنا مَرَّتين ونصف تقريبًا. تضمُّ مجرة أندروميدا ما يقارب ترليون نجم، وتمتاز بوجود نواة صغيرة أكثر لمعانًا من بقيَّة أجزائها. وقد أظهرت الدراسات التي أُجرِيت بين عامي 2006م و2014م، أنَّ هذه المجرّة تمتلئ بالنجوم الزرقاء الشابَّة التي تتحرَّك حركة عشوائية. يعتقد العلماء أنَّ مجرة المرأة المسلسلة قد تشكَّلت بعد تصادم مجرتين منفصلتين، وتحرُّك إحداهما نحو الأُخرى قبل (3 - 1.8) billion years؛ أيْ إنَّها أصغر عمرًا من النظام الشمسي الذي تشكَّل قبل 4.6 billion years تقريبًا.

الكتابة في الجيولوجيا

أبحث في مصادر المعرفة المتوافرة لديّ عن توقُّعات علماء الفَلَك في ما يختصُّ بأثر تقارب مجرة أندروميدا من مجرتنا درب التَّبّانة، ثم أكتب مقالة عن ذلك، وأُشارِكها زملائي/ زميلاتي في الصف.

السؤال الأوّل: أختار رمز الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. بناءً على دراسة العلماء للأطياف الكهرمغناطيسية المنبعثة من المجرات، استنتج العلماء أنَّ الكون بمرور الزمن:
   أ) يتقلَّص. ب) يتمدَّد.
   ج) يبقى ثابتًا. د) يتمدَّد ويتقلَّص بشكل ثابت.

2. الوحدة الأساسية في بناء الكون هي:
   أ) السُّدُم الكونية. ب) الكواكب.
   ج) النجوم. د) المجرات.

3. أحد الرموزِ الآتية يُعبِّر عن أكثر المجرات الإهليليجية استطالة:
   أ) E0. ب) E7.
   ج) E3. د) E1.

4. تمتاز مجرة درب التَّبّانة بأنَّها:
   أ) حلزونية الشكل، وكروية النواة.
   ب) حلزونية الشكل، وخطِّية النواة.
   ج) إهليليجية الشكل، وشديدة الاستطالة.
   د) إهليليجية الشكل، وقليلة الاستطالة.

5. ذراعِ مجرة درب التَّبّانة التي تقع عليها الشمس هي:
   أ) القوس. ب) قنطورس.
   ج) الجبّار. د) برشاوس.

6. أكبر المجرات عُمرًا هي المجرات:
   أ) غير المُنتظَمة.
   ب) الحلزونية كروية النواة.
   ج) الحلزونية خطِّية النواة.
   د) الإهليليجية.

7. تمتاز المجرة E6 عن المجرة E1 بأنَّها:
   أ) أصغر عُمرًا، وأكثر استطالة.
   ب) أكبر عُمرًا، وأقلّ استطالة.
   ج) أصغر عُمرًا، وأقلُّ استطالة.
   د) أكبر عُمرًا، وأكثر استطالة.

8. إحدى المجرات الآتيةِ تحوي كمِّية أكبر من الغازات والأغبرة الكونية:
   أ) Sa. ب) E7.
   ج) SBc. د) E0.

9. إحدى العبارات الآتية تصف العلاقة بين بُعْد المجرات عنّا وسرعتها:
   أ) تزداد سرعة المجرة بازدياد بُعدِها عنّا.
   ب) تقل سرعة المجرات بازدياد بُعدِها عنّا.
   ج) تبقى سرعة المجرة ثابتة بازدياد بُعدِها عنّا.
   د) لا توجد علاقة تُمثِّل سرعة المجرات وبُعْدها عنّا.

10. تتحرَّك الأذرع الحلزونية في مجرة درب التَّبّانة حول مركزها من:
   أ) الشرق إلى الغرب.
   ب) الغرب إلى الشرق.
   ج) الشمال إلى الجنوب.
   د) الجنوب إلى الشمال.

السؤال الثاني:

أُكمِل الفراغ بما هو مناسب من المصطلحات في ما يأتي:

1. تُسمّى المجرة التي تترتَّب نجومها في أذرع حلزونية تدور حول نواتها..... .
2. كل ما هو موجود من طاقة ومادة وفضاء، وما يحويه من مُكوِّنات يُطلَق عليها اسم ..... .
3. استدلَّ العلماء على تباعد المجرات وتوسُّع الكون بظاهرة ..... .

4. يُرمَز إلى المجرة غيرِ المُنتظمَة بالرمز ..... .

5. تختلف المجرات بعضها عن بعض في .....، و.....، و..... .

6. رتَّب العالِم إدوين هابل المجرات، وصنَّفها في مُخطَّط عُرِف باسم ..... .

السؤال الثالث:

أُبيِّن الأساس الذي اعتمده إدوين هابل في تقسيم المجرات الإهليليجية إلى ثماني فئات.

السؤال الرابع:

أُفسِّر: تُعَدُّ المجرات الحلزونية من المجرات مُتوسِّطة العمر.

السؤال الخامس:

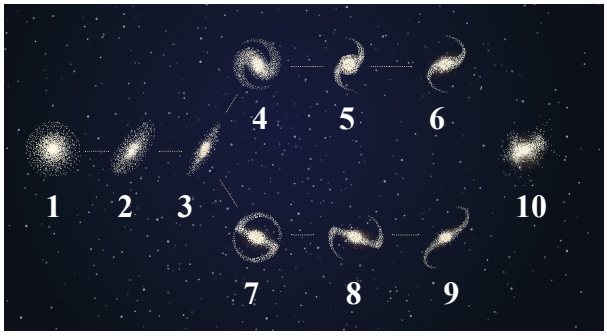
أُناقِش: كيف توصَّل العلماء إلى كيفية نشأة الكون بدراسة سرعة تباعد المجرات عنّا.

السؤال السادس:

أحسُب سرعة تباعد مجرة عن الأرض، علمًا بأنَّها تبعد مسافة 10^8 pc عنها، وثابت هابل هو 70 km/s/Mpc.

السؤال السابع:

أدرس الشكل الآتي الذي يُبيِّن مُخطَّط هابل لتصنيف المجرات، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه:



أ) **أرتِّب** المجرات (9، 10، 2) تنازليًّا بحسب العُمر.

ب) أكتب رقم كلٍّ من المجرات الآتية:

- المجرة التي تُظهِر أطيافها انزياحًا أكثر نحو الأحمر.
- المجرة الحلزونية خطِّية النواة التي تكون أذرعها الأقلَّ انفتاحًا.
- المجرة التي تحوي أقلَّ كمِّية من الغازات بين نجومها.

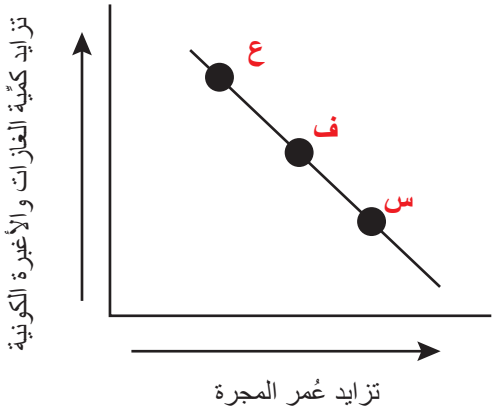
ج) **أُقارِن** بين المجرة التي تحمل الرقم (1) والمجرة التي تحمل الرقم (10) من حيث نوعها، وكمِّية الغازات فيها.

السؤال الثامن:

أدرس الرسم البياني التالي الذي يُوضِّح العلاقة بين كمِّية الغازات والأغبرة الكونية في المجرات وعُمرها، ثم أُجيب عن السؤالين الآتيين:

1. **أَصِف** العلاقة بين عُمر المجرة وكمِّية الغازات والأغبرة فيها.

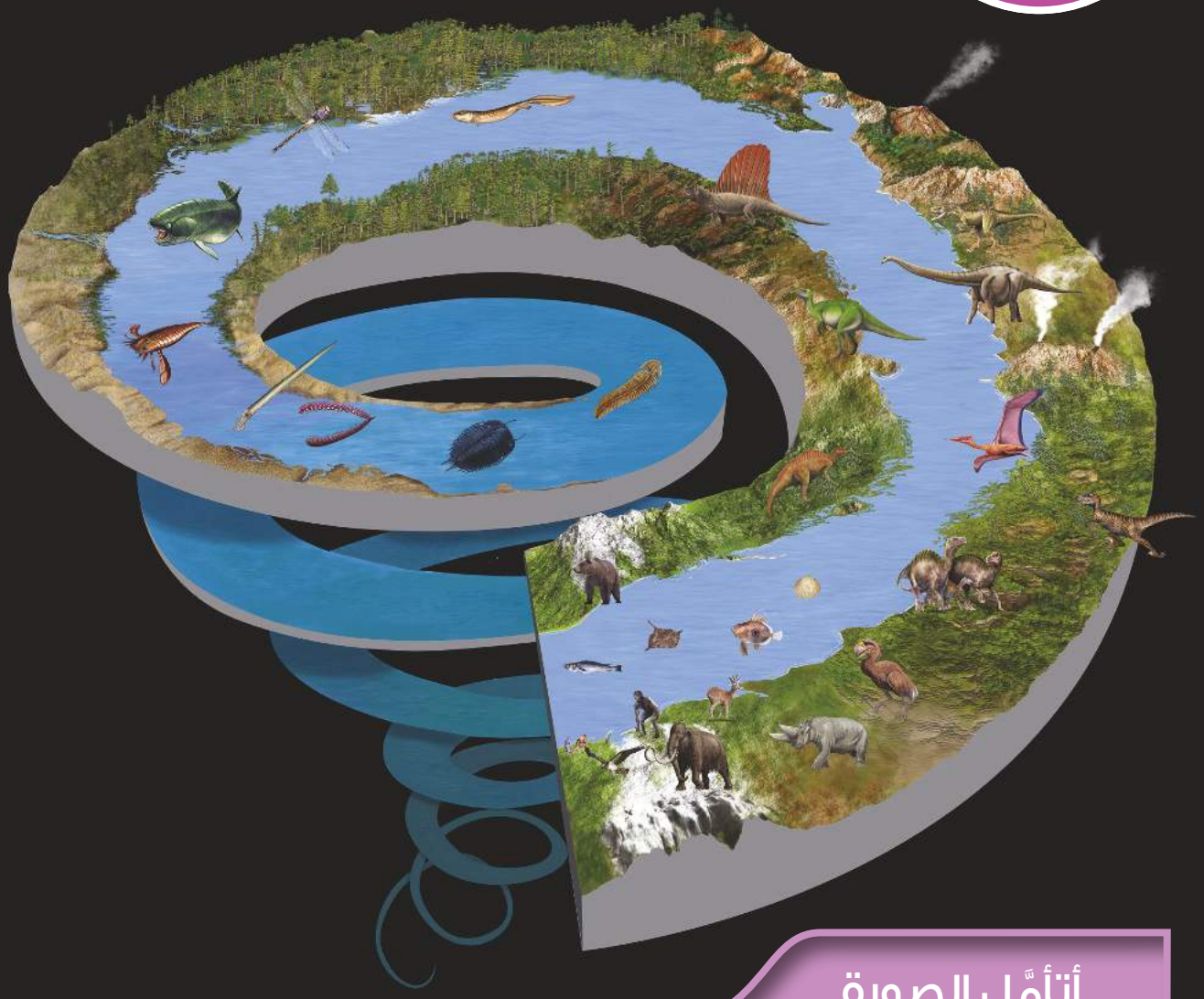
2. أُبيِّن نوع كلٍّ من المجرات الآتية: (س)، (ف)، (ع).



الوحدة

5

تاريخ الأرض
The Earth's History



أتأمَّل الصورة

تمكَّن علماء الجيولوجيا من تعرُّف تاريخ الأرض، وفهم العمليات والأحداث الجيولوجية التي مرَّت بها، باتِّباع مجموعة من المبادئ والطرائق. فما هذه المبادئ والطرائق؟

الفكرة العامة:

تُشبِه الصخور –على اختلاف أنواعها– كتابًا يكشف لنا تاريخ الأرض عبر ملايين السنين، والأحداث الجيولوجية التي مرَّت بها.

الدرس الأوَّل: نشأة الأرض.

الفكرة الرئيسة: لا تختلف نشأة الأرض عن نشأة النظام الشمسي بحسب الفرضيات العلمية المختلفة. وقد تشكَّلت الغُلُف المختلفة للأرض وتمايزت بمرور الزمن.

الدرس الثاني: التأريخ النسبي للصخور.

الفكرة الرئيسة: يستخدم العلماء مبادئ التأريخ النسبي لترتيب الصخور والأحداث الجيولوجية من الأقدم إلى الأحدث نسبة إلى بعضها.

الدرس الثالث: التأريخ المُطلَق للصخور.

الفكرة الرئيسة: يُستخدَم التأريخ المُطلَق لتحديد أعمار الصخور بدقَّة (بالسنوات)، ثم تحديد عُمر الأرض.

الدرس الرابع: جيولوجية الأردن.

الفكرة الرئيسة: تمتاز جيولوجية الأردن بتكشُّف أنواع مختلفة من الصخور على سطح الأرض منذ حِقبة ما قبل الكامبري حتى اليوم، وباحتوائها على العديد من الموارد المعدِنية.

نمذجة تشكُّل كوكب الأرض

تختلف نُطَق الأرض في كثافاتها، ويُعَدُّ اللُّبُّ أكثر هذه النُّطَق كثافة. أمّا القشرة الأرضية فهي الأقلُّ كثافةً. يعتقد العلماء أنَّ درجة الحرارة في بداية تشكُّل الأرض كانت مرتفعة؛ ما جعل المواد المُكوِّنة لنُطَقها تبدو أشبه بالسوائل.

المواد والأدوات: كأس زجاجية سعتها (250 mL)، ماء، زيت، حليب سائل، مِلْعقة تحريك.

إرشادات السلامة:

- الحذر عند سكب المواد في الكأس الزجاجية.
- الحذر من كسر الكأس الزجاجية في أثناء تنفيذ التجربة.

خطوات العمل:

1. أضع (50 mL) من الماء في الكأس الزجاجية.
2. أسكب (50 mL) من الزيت في الكأس الزجاجية.
3. أسكب (50 mL) من الحليب في الكأس الزجاجية، ثم أُحرِّك محتويات الكأس جيِّدًا.
4. أترك الكأس الزجاجية دقائق معدودات.

التحليل والاستنتاج:

1. **أَصِف:** ماذا حدث للسوائل بعد تحريكها، وتركها دقائق معدودات؟
2. أُحدِّد: أيُّ السوائل يُمثِّل القشرة الأرضية؟ وأيُّها يُمثِّل الستار؟
3. **أستنتج** العلاقة بين كثافة مُكوِّنات الأرض وقت تشكُّلهـا وأماكن وجودها في نُطَقها اليوم.

نشأة الأرض
The Genesis of the Earth

الدرس 1

الفكرة الرئيسة:

لا تختلف نشأة الأرض عن نشأة النظام الشمسي بحسب الفرضيات العلمية المختلفة. وقد تشكَّلت الغُلُف المختلفة للأرض وتمايزت بمرور الزمن.

نتاجات التعلُّم:

- أربط بين عُمر الشمس وعُمر الأرض.
- أَصِف بدقة الأرض البدائية.
- أُبيِّن البداية التقريبية لتكوُّن المحيطات والقارات.
- أُقدِّر عظمة الخالق في نشأة الأرض.

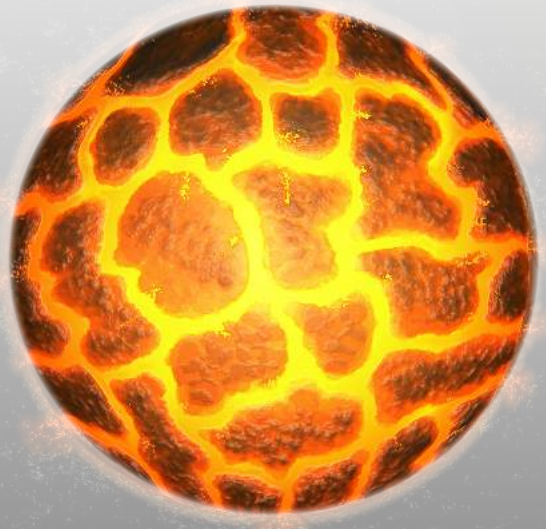
المفاهيم والمصطلحات:

التمايز Differentiation

سُلَّم الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale

نشأة الأرض البدائية Early Earth Genesis

درسْتُ سابقًا أنَّ كُلًّا من الأرض والمجموعة الشمسية قد نشأت – بحسب الفرضية السديمية Nebular Hypothesis – من مادة أوَّلية واحدة، هي سحابة ضخمة تتكوَّن في معظمها من غاز الهيدروجينِ، وغاز الهيليوم، وأغبِرة كونية، ومُركَّبات هيدروجينية (مثل: الميثانِ، والأمونيا، وبخارِ الماء) انكمشت وتقلَّصت تحت تأثيرِ الجاذبية مُتَّخِذةً شكل القرص. وبمرور الزمن، تشكَّلت حلقات غازية داخل القرص. وبانخفاض درجة الحرارة، تشكَّلت الشمس والكواكب التابعة لها. وبحسب الفرضية السديمية فإن تلك الغازات والأغبِرة ، قد تحركت نحو المركز ما أدى إلى زيادة درجة الحرارة داخلها. وقد عزا العلماء ارتفاع درجة الحرارة الداخلية للأرض إلى أسباب عديدة، منها: تساقط الأجسام الصغيرة من سحابة السديم على سطح الأرض، وارتطامها بها بشِدَّة، وتحلُّل العناصر المشعة في باطن الأرض وتحوُّلها تلقائيًّا إلى عناصر أُخرى تُطلِق كمِّيات كبيرة من الطاقة الحرارية، إضافةً إلى تكوُّن الأكاسيد والتفاعلات الكيميائية المختلفة داخل الأرض، أنظر الشكل (1).



الشكل (1): ازدياد درجة الحرارة داخل الأرض في بداية نشأتها المُبكِّرة نتيجة تحرُّك مُكوِّناتها نحو المركز.

تشكُّل القارات وقيعان المحيطات

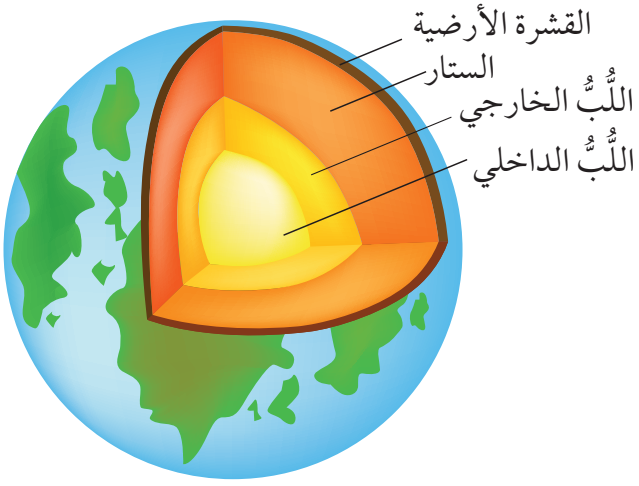
The Formation of Continents and Ocean Floors

كانت الأرض البدائية على شكل كرة متجانسة، تمتاز بدرجة حرارتها المرتفعة، وتتكوَّن من صهارة وغازات. وبمرور الزمن، واستمرار عمليات التبريد، انفصلت مُكوِّناتها بعملية تُسمّى **التمايز Differentiation** اعتمادًا على كثافة المواد المُكوِّنة لها؛ إذ صعدت إلى سطح الأرض المواد المُنصهِرة التي هي أقلُّ كثافةً وأكثر غنًى بسيليكات الألمنيوم والصوديوم والبوتاسيوم، مُشكِّلةً في ما بعد القشرة الأرضية، في حين غطست إلى مركز الأرض المواد المُنصهِرة التي هي أكثر كثافةً، مثل الحديد والنيكل المُنصهِر؛ ما أدى إلى تشكُّل اللُّبِّ، تفصل بينهما طبقة مُتوسِّطة الكثافة، هي طبقة الستار. نتيجة لذلك، تشكَّل ثلاثة نُطُق رئيسة للأرض، هي: اللُّبُّ (الخارجي، والداخلي)، والستار، والقشرة الأرضية، أنظر الشكل (2). وقد افترض العلماء بعد ذلك حدوث نشاط إشعاعي في مناطق مختلفة من الستار أدى إلى زيادة درجات الحرارة في تلك المناطق، وتشكُّل تيارات الحمل الحراري التي رفعت الصهارة الناتجة قليلة الكثافة إلى القشرة الأرضية؛ ما أدى إلى تشقُّقها، وخروجِ الماغما إلى السطح على هيئة براكين نشطة وثائرة. وبمرور الزمن، وتكرار النشاط البركاني، تشكَّلت القارات. أمّا قيعان المحيطات فقد تشكَّلت نتيجة انقسام القارات وابتعاد بعضها عن بعض. وقد فسَّر العلماء الآليَّة التي تحرَّكت بها القارات في نظرية تكتونية الصفائح.

أفكِّرُ

كيف تحدُث عملية التمايز الكوكبي؟

أُصمِّم باستخدام برنامج السكراتش (Scratch) عرضًا يُبيِّن النُّطُق الرئيسة للأرض، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.



الشكل (2): النُّطُق الرئيسة للأرض وتمايزها بعد تشكُّل الأرض.

تشكُّل الغلاف الجوي والمحيطات

Formation of the Atmosphere and Oceans

تكوَّن الغلاف الجوي الأوَّلي للأرض نتيجة ثوران البراكين وتصدُّعات القشرة الأرضية، وما نجم عنهما من انبعاثات غازية مثل: بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، والميثان، أنظر الشكل (3). وحين بردت الأرض تكاثف بخار الماء المُتجمِّع في الغلاف الجوي بكمِّيات كبيرة مُكوِّنًا السُّحُب التي بدأت بالهطل بغزارة، وتجمَّعت مياه الأمطار في المناطق المُنخفِضة مُكوِّنةً المحيطات الأوَّلية التي كانت مياهها عذبة، ثم بدأت ملوحتها تزداد بالتدريج بسبب إذابة المعادن القابلة للذوبان الموجودة في الصخور بفعل الجريان السطحي لمياه الأمطار، ووصولها إلى المحيطات. يعتقد علماء الجيولوجيا أنَّ الحياة بدأت في المحيطات قبل 3.5 billion years تقريبًا، وأنَّ الكائنات الحيَّة الأوَّلية

أُعِدُّ فِلْمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يُبيِّن كيفية تشكُّل القارات، مُضمِّنًا إيّاه صورًا توضيحيةً، ثم أُشارِكه زملائي/ زميلاتي في الصف.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن فرضية توسُّع قاع المحيط، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عن ذلك، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

الشكل (3): بركان نتجت منه انبعاثات غازية.

كانت بسيطة جدًّا، وأنَّه قبل نحو 2.4 billion years ظهرت البكتيريا الخضراء المُزرَقَّة التي امتصَّت غاز ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي للقيام بعملية البناء الضوئي، وأطلقت بدلًا منه غاز الأكسجين، ثم ظهرت الطحالب الخضراء حقيقية النواة، فزادت كمِّية الأكسجين تدريجيًّا في الغلاف الجوي، حتى وصلت نسبته إلى ما هي عليه الآن، أنظر الشكل (4).

مرَّت الأرض بمجموعة من التغيُّرات الحيوية والتطوُّرات الجيولوجية منذ نشأتها حتى وقتنا الحاضر، وقد وضع العلماء سجلًّا تاريخيًّا يُمثِّل تطوُّر هذه الأحداث الجيولوجية، والتغيُّرات الحيوية التي مرَّت بها الأرض اعتمادًا على مجموعة من المبادئ في ما يُعرَف بسُلَّم الزمن الجيولوجي، فما سُلَّم الزمن الجيولوجي؟

✓ **أتحقَّق:** أُفسِّر أهمية ظهور البكتيريا الخضراء المُزرَقَّة قبل نحو 2.4 billion years، وعلاقة ذلك بزيادة نسبة الأكسجين في الغلاف الجوي.

الشكل (4): تزويد البكتيريا الخضراء المُزرَقَّة الأرض بالأكسجين الناتج من عملية البناء الضوئي.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن تطوُّر الغلاف الجوي للأرض بمرور الزمن، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عن ذلك، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

الربط بالعلوم الحياتية

بدأت الحياة بكائنات حيَّة بدائية النواة (Prokaryote)، وهي البكتيريا الخضراء المُزرَقَّة، ثم ظهرت الكائنات حقيقة النواة (Eukaryote)، وهي طحالب خضراء بسيطة، كانت تقوم بعملية البناء الضوئي؛ ما أدى إلى زيادة نسبة الأكسجين في الغلاف الجوي.

سُلَّم الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale

جمع العلماء معلومات كثيرة عن أعمار صخور القشرة الأرضية في مناطق مُتنوِّعة من الأرض، واستخدموا العديد من المبادئ لتشكيل عمود يُمثِّل تلك الصخور بحسب أعمارها، ويضمُّ أسفله أقدم الصخور، ويوجد في أعلاه أحدثها، وقد سُمِّي العمود الجيولوجي Geologic Column، أنظر الشكل (5). ولتعرُّف زمن الأحداث الجيولوجية التي مرَّت بسطح الأرض ومواضع الصخور زمنيًّا في تاريخ الأرض؛ قسَّم العلماء تاريخ الأرض إلى وحدات زمنية مختلفة الأطوال بناءً على تلك الأحداث، ووضعوها في جدول سُمِّي سُلَّم الزمن الجيولوجي.

تعلَّمْتُ سابقًا أنَّ **سُلَّم الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale** هو ترتيب زمني من الأقدم إلى الأحدث، يُنظِّم الأحداث الجيولوجية التي تعاقبت على الأرض في تاريخها الطويل، ويُقدِّم وصفًا للتطوُّر الجيولوجي والتغيُّر الحيوي فيها. يُؤرِّخ سُلَّم الزمن الجيولوجي تاريخ الأرض منذ نشأتها قبل 4600 million years حتى وقتنا الحاضر. وهو مُقسَّم إلى وحدات زمنية أكبرها الدهر Eon، وقد قُسِّمت وحدة الدهر إلى وحدات أصغر تُسمّى الحِقب Eras، وتتكوَّن كل حِقبة من وحدات أصغر منها تُسمّى العصور Periods، ويتكوَّن العصر من عهود Epochs، وتتكوَّن العهود من أعمار Ages، أنظر الجدول (1).

الحِقب	العصر	المكونات الصخرية	التكاوين
حِقبة الحياة القديمة	البيرمي		أم عرنة
	السيلوري		الخشة
			المدورة
	الأوردوفيشي		دبيديب حسوة أمّ سَحم الديسي
	الكامبري		أم عشرين
			البرج/ أبو خشيبة
			سَلَب
	ما قبل الكامبري		

* محتويات الشكل للمطالعة الذاتية.

الشكل (5): جزء من العمود الجيولوجي في الأردن، يُمثِّل صخور حِقبة ما قبل الكامبري، وصخور حِقبة الحياة القديمة.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة أبحث عن مراحل تطوُّر سُلَّم الزمن الجيولوجي، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عن ذلك، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

أُفكِّرُ

يستفاد من سُلَّم الزمن الجيولوجي في تعرُّف التسلسل الهرمي لوحدات طبقية زمنية على المستوى العالمي؛ إذ يُعَدُّ ذلك قياسًا مرجعيًّا يربط بين أعمار الصخور في كل مكان من العالَم. أُفكِّر في الشروط التي يجب أنْ تتوافر في سُلَّم الزمن الجيولوجي.

الجدول *(1): سُلَّم الزمن الجيولوجي.

الدهر Eon	الحِقب Eras	العصور Periods	العُمر (بملايين السنين) Ages	التطوُّر الجيولوجي والتغيُّر الحيوي
دهر الحياة الظاهرة	حِقبة الحياة الحديثة	الرباعي	0.0 2.6	• ظهور الإنسان. • انتشار سلالات الثدييات. • ظهور النباتات الحديثة.
		الثلاثي	65.5	
	حِقبة الحياة المتوسِّطة	الكريتاسي	145.5	• انقراض الديناصورات والأمونيتات. • ظهور الطيور الحديثة. • سيادة الديناصورات. • بداية ظهور النباتات الزهرية مُغطّاة البذور. • انقسام قارة بانغيا إلى كتلتين قارِّيتين، هما: غوندوانا، ولوراسيا. • ظهور الطيور الأولى. • ظهور الثدييات.
		الجوراسي	199.6	
		الترياسي	251	
	حِقبة الحياة القديمة	البيرمي	299	• تكوُّن قارة بانغيا. • ظهور الزواحف شراعية الظهر. • انتشار النباتات البذرية مُعرّاة البذور. • انتشار النباتات الوعائية اللازهرية. • انتشار الأسماك وتنوُّعها.
		الكربوني	359	
		الديفوني	416	
		السيلوري	449	• بداية ظهور الأسماك. • انتشار واسع للحياة البحرية. • ظهور اللافقاريات ذوات الهياكل الصُّلْبة (الترايلوبيت).
		الأوردوفيشي	488	
		الكامبري	540	
ما قبل الكامبري			4600	• ظهور كائنات حيَّة وحيدة الخلية وحقيقة النواة، مثل الطحالب الخضراء. • ظهور كائنات حيَّة وحيدة الخلية وبدائية النواة، مثل: البكتيريا الحالية، والبكتيريا الخضراء المُزرَقَّة. • نشأة الأرض، وتكوُّن غُلُف الأرض.

* الجدول للمطالعة الذاتية.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة**: أذكر ثلاثة مبادئ نسبية تُستخدَم في تحديد أعمار الصخور النسبية.
2. أتتبَّع تطوُّر الغلاف الجوي للأرض.
3. **أَصِف**: كيف نشأت القشرة الأرضية؟
4. **أستنتج**: كيف سيكون حال الأرض إذا لم يتكوَّن غاز الأكسجين في الغلاف الجوي؟
5. **أُفسِّر** سبب زيادة الحرارة الداخلية للأرض بعد تكوُّنها.
6. **أُناقِش**: ما أهمية سُلَّم الزمن الجيولوجي؟
7. **أحسُب** نسبة زمن ما قبل الكامبري من تاريخ الأرض، مستعينًا بالجدول (1): سُلَّم الزمن الجيولوجي.

الدرس 2

التأريخ النسبي للصخور
Relative Dating of Rocks

الفكرة الرئيسة:

يستخدم العلماء مبادئ التأريخ النسبي لترتيب الصخور والأحداث الجيولوجية من الأقدم إلى الأحدث نسبة إلى بعضها.

نتاجات التعلُّم:

- أستخدم مبادئ التأريخ النسبي لتحديد أعمار الصخور.

المفاهيم والمصطلحات:

التأريخ النسبي Relative Dating

مبدأ التعاقب الطبقي Principle of Superposition

مبدأ الترسيب الأفقي Principle of Original Horizontality

مبدأ تعاقب المجموعات الحيوانية والمجموعات النباتية Principle of Faunal and Floral Succession

مبدأ القاطع والمقطوع Principle of Cross-Cutting Relationships

مبدأ الاستمرارية الجانبية Principle of Lateral Continuity

مبدأ الاحتواء Principle of Inclusions

مبادئ التأريخ النسبي
Principles of Relative Dating

يُعرَّف **التأريخ النسبي** Relative Dating بأنَّه ترتيب الصخور والأحداث الجيولوجية التي مرَّت بسطح الأرض ترتيبًا زمنيًّا من الأقدم إلى الأحدث نسبة إلى بعضها. وقد استخدم العلماء مبادئ عِدَّة لتأريخ العُمر النسبي، وتقدير الأحداث الجيولوجية.

مبدأ التعاقب الطبقي Principle of Superposition

تتكوَّن الصخور الرسوبية في بيئات ترسيبية مُتنوِّعة، قد تكون بحرية أو قارية، وتحكمها ظروف ترسيبية تتحكَّم في نوع الطبقة الناتجة ومُكوِّناتها. وبتغيُّر هذه الظروف، ينتهي ترسيب طبقة، ويبدأ ترسيب طبقة أُخرى تعقبها من دون انقطاع في عملية الترسيب. وباستمرار عملية الترسيب، وتغيُّر الظروف الترسيبية (مثل: درجة الحموضة، ودرجة الحرارة)، تتراكم العديد من الطبقات الرسوبية بعضها فوق بعض مُكوِّنة ما يُسمّى التعاقب الطبقي. يُقصَد بالتعاقب الطبقي مجموعة الطبقات الصخرية التي تُرسَّب بعضها فوق بعض بشكل متوازٍ؛ نتيجة لتغيُّر ظروف الترسيب، من دون انقطاع في عملية الترسيب، ويُمكِن دراسة هذه الطبقات ميدانيًّا حيث تتكشَّف، أنظر الشكل (6) الذي يُبيِّن تعاقبًا طبقيًّا.

الشكل (6): طبقات رسوبية متعاقبة، تحوي صخورًا قديمة في الأسفل وصخورًا أحدثَ في الأعلى.

تتعاقب الصخور الرسوبية في أحواض الترسيب على هيئة طبقات أفقية وَفقًا للمبدأ الذي وضعه العالِم الإيطالي ستينو Steno؛ إذ ينصُّ **مبدأ التعاقب الطبقي Principle of Superposition** على ما يأتي: «كل مجموعة من الطبقات الصخرية المتعاقبة تكون فيها الطبقة السفلى هي الأقدم، والطبقة العليا هي الأحدث».

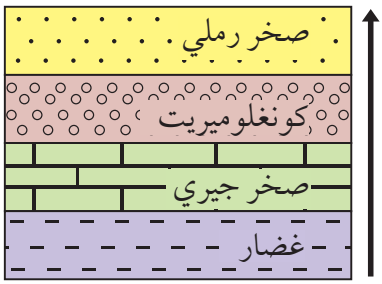
وفْق هذا المبدأ، يستطيع الجيولوجي في الميدان تأريخ الصخور الرسوبية تأريخًا نسبيًّا، وبذلك تكون كل طبقة أحدث من الطبقة التي تقع أسفلها، وأقدم من الطبقة التي تعلوها؛ شرط أنْ تكون هذه الطبقات قد حافظت على وضعها الأفقي الأصلي، أو تعرَّضت لتغيير بسيط في الميل أو الاتجاه، كما هو الحال في الطبقات الصخرية ذات التراكيب الجيولوجية البسيطة التي لم تتأثَّر بحركات تكتونية عنيفة تسبَّبت في تغيير وضعها الأصلي، أنظر الشكل (7) الذي يُبيِّن طبقات رسوبية متعاقبة. وينطبق هذا المبدأ أيضًا على الطفوح البركانية.

أمّا إذا كانت الطبقات الصخرية قد تعرَّضت لحركات تكتونية عنيفة أدَّت إلى طيِّها ثم انقلابها فلا يُمكِن تطبيق مبدأ التعاقب الطبقي عليها لترتيبها من الأقدم إلى الأحدث؛ بسبب تغيُّر ترتيب تعاقبِها الأصلي؛ إذ تكون أقدم الطبقات فوق أحدثها، أنظر الشكل (8) الذي يُبيِّن طبقات رسوبية مقلوبة.

الشكل (8): طبقات رسوبية تعرَّضت لحركات تكتونية عنيفة أدَّت إلى طيِّها ثم انقلابها.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن مفهوم الطبقية الأحفورية Biostratigraphy، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عن ذلك، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.



الشكل (7): تعاقب طبقي.
أُرتِّب الطبقات الصخرية في التعاقب الطبقي من الأقدم إلى الأحدث.

أفكّرُ

كيف يُمكِن تعرُّف ترتيب الطبقات من الأقدم إلى الأحدث في حال تعرَّضت الطبقات الصخرية لحركات تكتونية عنيفة أدَّت إلى طيِّها ثم انقلابها؟

(أ)

(ب)

الشكل (9):

أ- صخور رسوبية تعرَّضت لحركات تكتونية أدَّت إلى طيِّها.

ب- صخور رسوبية تعرَّضت لحركات تكتونية أدَّت إلى ميلها.

أَصِف: ماذا يحدث للصخور الرسوبية المُترسِّبة بشكل أفقي إذا تعرَّضت لحركات تكتونية؟

مبدأ الترسيب الأفقي Principle of Original Horizontality

ينصُّ **مبدأ الترسيب الأفقي Principle of Original Horizontality** على أنَّ الرسوبيات ثم الصخور الرسوبية تترسَّب أصلًا على شكل طبقات أفقية؛ لأنَّ الرسوبيات تترسَّب غالبًا على أرض مُنبسِطة أو مستوية في قاع البحار أو المحيطات. وإنَّ وجود الطبقات مائلة أو مطوية مَرَدُّه إلى تأثير قوى تكتونية حدثت بفعل حركة الصفائح الأرضية بعد عملية الترسيب الأفقي على هذه الطبقات. أنظر الشكل (9) الذي يُبيِّن صخورًا رسوبيةً تعرَّضت لحركات تكتونية.

مبدأ تعاقب المجموعات الحيوانية والمجموعات النباتية Principle of Faunal and Floral Succession

تحتوي غالبية الصخور الرسوبية على أحافير عاشت في الزمن الذي ترسَّبت فيه تلك الصخور. وضع العالِم سميث Smith **مبدأ تعاقب المجموعات الحيوانية والمجموعات النباتية Principle of Faunal and Floral Succession** الذي ينصُّ على أنَّ كل طبقة أو مجموعة طبقات من الصخور الرسوبية تحوي أحافير مُحدَّدة من الحيوانات والنباتات، تختلف عن تلك الموجودة في ما هو أقدم وأحدث منها من طبقات. وهذا يعني أنَّ كل طبقة صخرية لها عُمر زمني مُحدَّد اعتمادًا على الأحافير التي تحويها، وأنَّ تتابع المجموعات الحيوانية والمجموعات النباتية في التتابع الطبقي يبقى ثابتًا بِغَضِّ النظر عن التغيُّر في الخصائص الفيزيائية للصخور المُكوِّنة له.

وبذلك، نكون قد وضعنا مقياسًا نقيس فيه العُمر النسبي للطبقات بحسب ما تحويه من أحافير، ونُحدِّد إذا كانت تلك الطبقات أحدث من طبقات أُخرى، أو أقدم منها، أو لها العُمر نفسه.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن أمثلة تُوضِّح مبدأ تعاقب المجموعات الحيوانية والمجموعات النباتية، ثم أعرض نتائج بحثي أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

(أ)

(ب)

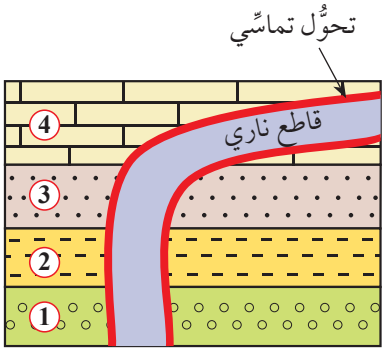
الشكل (10):
أ - صدعان يقطعان مجموعة من طبقات الصخور الرسوبية.
ب- قواطع نارية تقطع مجموعة من طبقات الصخور الرسوبية.
أَصِف العلاقة بين القاطع والمقطوع.

مبدأ القاطع والمقطوع

Principle of Cross-Cutting Relationships

قد أجد في الطبيعــة صدعًا يقطـع مجموعة من طبقات الصخور الرسوبية، أو صخرًا ناريًّا يقطع صخورًا أُخرى، فأيُّ تلك التراكيب أو الصخور هو الأحدث؟ وأيُّها هو الأقدم؟

ينصُّ **مبدأ القاطع والمقطوع Principle of Cross-Cutting Relationships** على أنَّ القاطع أحدث عُمرًا من المقطوع؛ سواء أكان القاطع جسمًا ناريًّا أم صدعًا تكتونيًّا. ففي التتابع الطبقي من الصخور الرسوبية الذي يقطعه صدع، سيكون هذا الصدع أحدث عُمرًا من طبقات الصخور الرسوبية التي قطعها. وكذلك سيكون القاطع الناري أحدث عُمرًا من الصخور التي يقطعها، أنظر الشكل (10) الذي يُبيِّن العلاقة بين القاطع والمقطوع. ويُستدَلُّ على أنَّ القاطع الناري هو الأحدث بالتحوُّل التماسي Contact Metamorphism الذي يحدث للصخور الموجودة على جانبي القاطع؛ إذ تؤدي الماغما الساخنة إلى تغيير مُكوِّنات الصخور المعدِنية وخصائصها الفيزيائية، أنظر الشكل (11) الذي يُبيِّن اندفاع ماغما ساخنة داخل طبقات من الصخور الرسوبية؛ ما أحدث تحوُّلًا تماسِّيًّا.



الشكل (11): اندفاع ماغما ساخنة داخل طبقات من الصخور الرسوبية.
أُرتِّب الأحداث الجيولوجية (1، 2، 3، 4)، والقاطع الناري، من الأقدم إلى الأحدث.

مبدأ الاستمرارية الجانبية Principle of Lateral Continuity

ينصُّ **مبدأ الاستمرارية الجانبية Principle of Lateral Continuity** على أنَّ الصخور الرسوبية تمتدُّ جانبيًّا في جميع الاتجاهات على امتداد حوض الترسيب، ويقلُّ سُمْكها تدريجيًّا عند أطراف الحوض، وأنَّ للطبقة الواحدة عُمرًا جيولوجيًّا واحدًا في أيِّ مكان توجد فيه ضمن الحوض الرسوبي. يُستخدَم هذا المبدأ في تعرُّف امتداد الطبقات عند تعرُّضها لعمليات حتٍّ وتعريةٍ، أو في عملية المضاهاة الصخرية؛ وهي المطابقة بين التتابعات الصخرية في المناطق المختلفة اعتمادًا على تركيبها المعدِني وخصائصها الفيزيائية، أنظر الشكل (12) الذي يُبيِّن مبدأ الاستمرارية الجانبية. وقد واجه الجيولوجيون صعوبة في تطبيق هذا المبدأ؛ ذلك أنَّه من السهل تتبُّع طبقة صخرية مُتكشِّفة أمتارًا معدودةً، أو كيلومترات عديدة، خلافًا للمناطق التي يكون فيها سُمْك التربة كبيرًا.

أبحث:

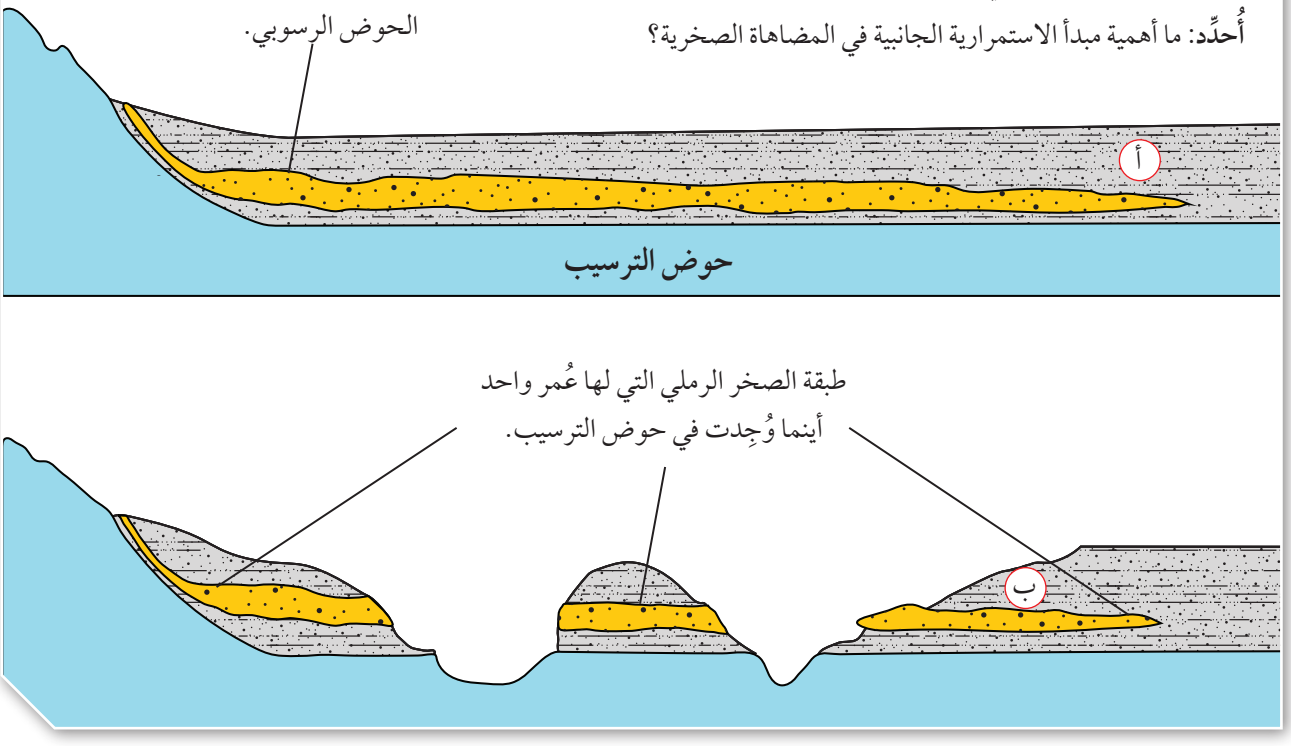
مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن أهمية مبدأ الاستمرارية الجانبية علميًّا وتطبيقيًّا، ثم أعرض نتائج بحثي أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

الشكل (12): مبدأ الاستمرارية الجانبية.

أ – طبقة من الصخر الرملي قبل تعرُّضها لعمليات الحتِّ والتعرية.

ب– طبقة من الصخر الرملي بعد تعرُّضها لعمليات الحتِّ والتعرية.

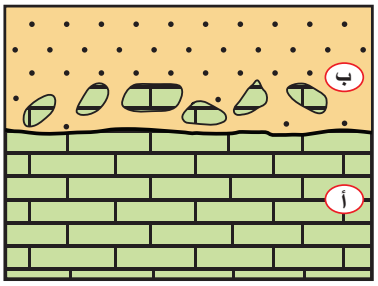
أُحدِّد: ما أهمية مبدأ الاستمرارية الجانبية في المضاهاة الصخرية؟



مبدأ الاحتواء Principle of Inclusion

ينصُّ **مبدأ الاحتواء Principle of Inclusion** على أنَّ الجسم الصخري الذي يحوي قطعًا صخريةً من جسم صخري آخر يكون أحدث من القطع الصخرية التي يحويها، أنظر الشكل (13) الذي يُبيِّن أنَّ الجسم الصخري (ب) يحوي قطعًا صخريةً من الجسم الصخري (أ)، فيكون هو أحدث من الجسم الصخري (أ). قد يحدث الاحتواء بين صخور نارية وصخور رسوبية، أو بين صخور رسوبية وصخور رسوبية أُخرى، أو بين صخور نارية وصخور نارية أُخرى.

لتعرُّف آليَّة الاحتواء بين أنواع الصخور المختلفة، أُنفِّذ النشاط الآتي.



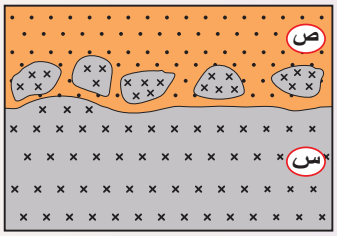
الشكل (13): احتواء الجسم الصخري (ب) على قطع صخرية من الجسم الصخري (أ).

✓ **أتحقَّق:** أذكر مبادئ التأريخ النسبي.

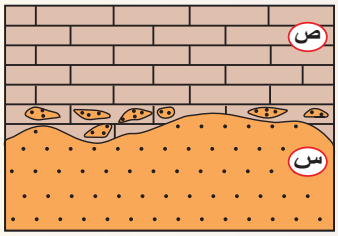
نشاط

مبدأ الاحتواء

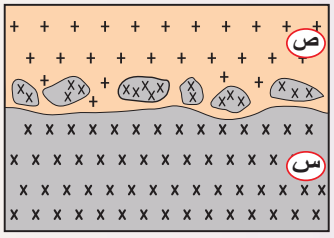
أدرس الأشكال المجاورة التي تُبيِّن كيفية الاحتواء بين أنواع الصخور المختلفة، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:



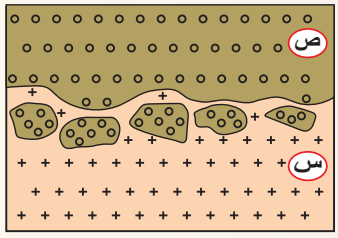
(أ): قطع من الصخر الناري (س) داخل الصخر الرسوبي (ص).



(ب): قطع من الصخر الرسوبي (س) داخل الصخر الرسوبي (ص).



(ج): قطع من الصخر الناري (س) داخل الصخر الناري (ص).



(د): قطع من الصخر الرسوبي (ص) داخل الصخر الناري (س).

التحليل والاستنتاج:

1- أُحدِّد الصخر الأقدم والصخر الأحدث في كلٍّ من الشكل (أ)، والشكل (ج).

2- **أتوقَّع:** ما سبب حدوث الاحتواء في الشكل (أ)؟

3- **أُفسِّر:** كيف يحوي الصخر الناري (س) قطعًا من الصخر الرسوبي (ص) في الشكل (د)؟

التوافق في الطبقات الصخرية وعدم التوافق فيها

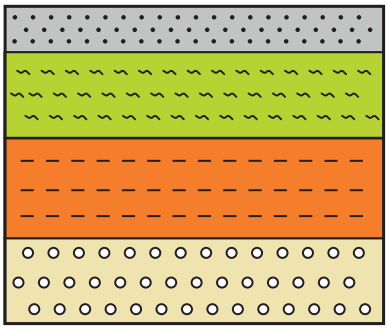
Conformity and Unconformity in Rock Layers

تعلَّمْتُ سابقًا مفهوم التعاقبِ الطبقي، وأنَّه لا يوجد فاصل زمني بين انتهاء ترسيب طبقة وبَدْء ترسيب طبقة أُخرى في التعاقب الواحد. فالطبقات الصخرية الرسوبية تكون -بحسب هذا المفهوم- متوازية ومتتالية زمنيًّا؛ أيْ متوافقة، إلّا أنَّنا لا نجد هذا في الطبيعة دائمًا، عندئذٍ تصبح العلاقة بين الطبقات الرسوبية علاقة عدم توافق، فما المقصود بالتوافق؟ وما أنواع عدم التوافق؟ وكيف نشأت؟

أُعِدُّ فِلْمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يُبيِّن مبادئ التأريخ النسبي، مُضمِّنًا إيّاه صورًا توضيحيةً، ثم أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

التوافق Conformity

يُعرَّف التوافق بأنَّه ترتيب الطبقات الصخرية بعضها فوق بعض بشكل متوازٍ ومتتالٍ زمنيًّا من دون حدوث انقطاع في عملية الترسيب، أنظر الشكل (14) الذي يُبيِّن طبقات صخرية متوافقة، ولكنَّ الطبقات الصخرية لا توجد دائمًا في الطبيعة بشكل متوافق، فماذا تُسمّى الطبقات الصخرية غير المتوازية، أو تلك التي حدث فيها انقطاع في الترسيب؟



الشكل (14): طبقات صخرية رسوبية متوازية ومتتالية زمنيًّا.

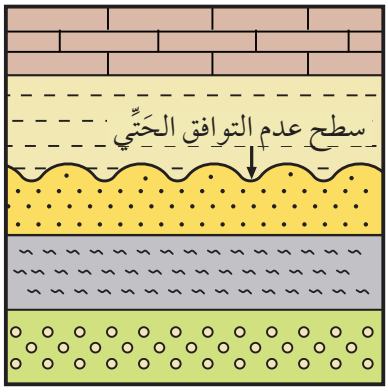
عدم التوافق Unconformity

تكون العلاقات بين الطبقات الصخرية الرسوبية غير متوافقة عندما تكون الطبقات الصخرية غير متوازية، أو حين تفصل بينها سطوح تعرية، أو سطوح تشير إلى انقطاع في الترسيب، في ما يُعرَف بسطوح عدم التوافق؛ إذ تدلُّ هذه السطوح على أنَّ الطبقات الواقعة أسفل سطح عدم التوافق قد تكشَّفت، وظهرت على سطح الأرض مُدَدًا زمنيةً طويلةً، ثم تعرَّضت لعمليات حَتٍّ وتعريةٍ أزالت جزءًا من التعاقب الطبقي، أو تعرَّضت لانقطاع الترسيب فيها مُدَدًا زمنيةً طويلةً، ثم غُمِرت لاحقًا بالبحر، وحدث الترسيب فوقها من جديد مُشكِّلًا تعاقبًا طبقيًّا جديدًا. يُصنَّف عدم التوافق إلى الأنواع الآتية:

عدم التوافق الحَتِّي Disconformity

عـــدم التوافق الحَتِّي هو سطـــح مُتعرِّج يفصـل بين مجموعتين متوازيتيـن مـــن الصخـور الرســـوبية التـي تكـون غالبًا أفقيـة، أنظر الشـكل (15) الـذي يُبيِّـن طبقـات متوازيـة يفصـل بينها سـطح عدم التوافـق الحَتِّي.

يحـــدث عـدم التوافـق الحَتِّي عندمـا تـؤدي عمليـات الرفـع إلى انحسـار ميـاه البحـر عـن التعاقـب الطبقـي المُترسِّـب فـي قاعـه، ثـم تعرُّضـه لعمليـات حَـتٍّ وتعريـةٍ تعمـل علـى إزالـة جزء منـه، وحدوث تعرُّجـات في سـطحه. وما إنْ تحـدث عمليات خفـض للتعاقب الطبقي وتغمـره ميـاه البحـر، ويعـود الترسـيب فوقـه مَـرَّة أُخـرى، حتـى يتكوَّن تعاقـب طبقـي جديـد، ويفصـل بيـن التعاقبيـن الرسـوبيين المتوازييـن سـطح عـدم توافـق حَتِّي.

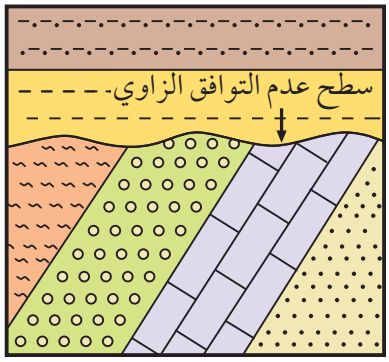


الشـكل (15): طبقـات متوازيـة يفصـل بينهـا سـطح عـدم التوافـق الحَتِّي.

أُعِـدُّ فِلْـمًا قصـيرًا باسـتخدام برنامـج صانـع الأفـلام (movie maker) يُبـيِّن التوافـق في الطبقـات الصخريـة وعـدم التوافـق فيهـا، مُضمِّنًـا إيّـاه صـورًا توضيحيـةً، ثـم أشـاركه زملائي/ زميـلاتي في الصـف.

عدم التوافق الزاوي Angular Unconformity

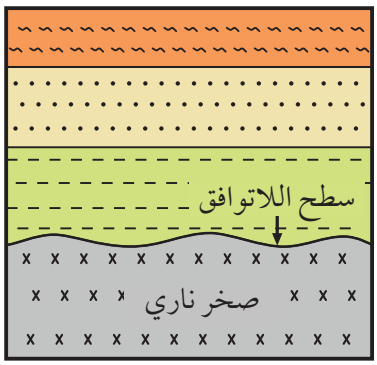
يُطلَـق على السـطح الـذي يفصـل بين طبقات رسوبيـة مائلـة أسـفل طبقـات رسـوبية أفقية اسـم سـطح عـدم التوافـق الـزاوي، أنظر الشـكل (16). يُلاحَظ من الشـكل أنَّ الطبقات الرسـوبية السفلية المائلة قـد ترسَّـبت أوَّلًا بشـكل أفقـي فـي قـاع البحـر، ثـم تعرَّضـت لحركات تكتونية أدَّت إلى ميلها ورفعها، ثم انحســر البحر عنـــها؛ مـــا أدى إلى تعرُّضهـا لعمليـات الحَـتِّ والتعريـة التـي أزالـت الجزء العلـوي منها، ثـم حدث لها خفـض، وغُمِرت بمياه البحر فترسـبت، فترسَّـبت طبقات أفقيـة جديـدة، وتشـكَّل سـطح عـدم التوافـق الـزاوي الذي يفصـل بين تعاقبيـن رسـوبيين غيـر متوازيين.



الشكل (16): عدم التوافق الزاوي.

اللاتوافق Nonconformity

اللاتوافق هو السطح الذي يفصل بين صخور رسوبية حديثة ترسَّبت فوق صخور نارية، أو صخور مُتحوِّلة قديمة، أنظر الشكل (17). فمثلًا، صخر الغرانيت – كما هو معلوم– يتكوَّن نتيجة تبريد الماغما في باطن الأرض وتبلورها، لكنَّه قد يُرفَع إلى سطح الأرض بفعل الحركات التكتونية، فيتعرَّض عندئذٍ لعمليات حَتٍّ وتعريةٍ، وعندما يتعرَّض لعمليات خفض، ويُغمَر بالمياه، تترسَّب طبقات رسوبية جديدة فوقه، ويفصل بينهما سطح عدم توافق، في ما يُعرَف باللاتوافق. لتعرُّف كيفية تطبيق المبادئ التي اعتُمِدت في التأريخ النسبي للأحداث الجيولوجية، أُنفِّذ النشاط الآتي.



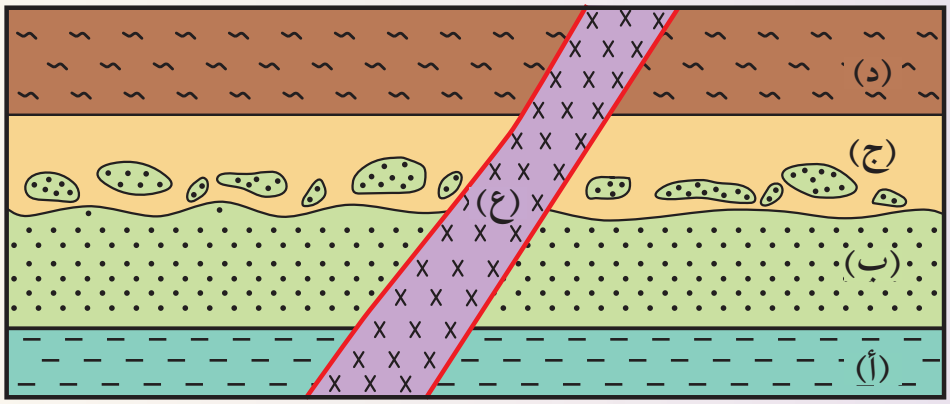
الشكل (17): سطح اللاتوافق الذي يفصل بين صخور رسوبية حديثة ترسَّبت فوق صخور نارية أو صخور مُتحوِّلة قديمة.

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح كيف يتكوَّن سطح عدم التوافق الحَتِّي.

نشاط

مبادئ التأريخ النسبي

أدرس المقطع الآتي الذي يُمثِّل تعاقبات من الصخور الرسوبية (أ، ب، ج، د) والقاطع الناري (ع)، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه:



التحليل والاستنتاج:

1 – أُحدِّد عدد سطوح عدم التوافق، وأنواعها.

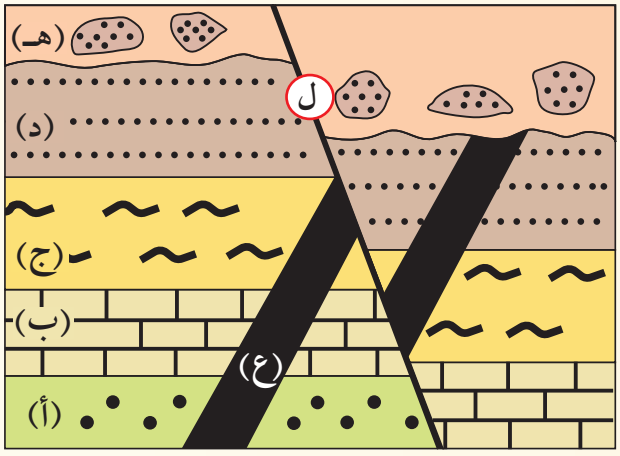
2 – **أستنتج** من الشكل عدد التعاقبات الرسوبية.

3 – **أُرتِّب** الأحداث الجيولوجية: (أ، ب، ج، د، ع) من الأقدم إلى الأحدث، ذاكرًا المبادئ التي اعتمدْتُ عليها.

4 – أُوضِّح تأثير القاطع الناري في الطبقات الرسوبية: (أ، ب، ج، د).

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة**: أذكر ثلاثة مبادئ تُستخدَم في تحديد أعمار الصخور النسبية.
2. أُوضِّح: كيف يُستخدَم مبدأ تعاقب الطبقات في تحديد الأعمار النسبية للصخور؟
3. **أُقارِن** بين سطوح التوافق وسطوح عدم التوافق من حيث ظروف التكوُّن.
4. **أُفسِّر** سبب وجود سطح غير مستوٍ بين مجموعتين من الطبقات الصخرية الرسوبية.
5. أوضّح المقصود بمبدأ القاطع والمقطوع.
6. أدرس الشكل المجاور الذي يُبيِّن تعاقبات لصخور رسوبية (أ، ب، ج، د، هـ)، والقاطع الناري (ع)، والصدع (ل)، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:



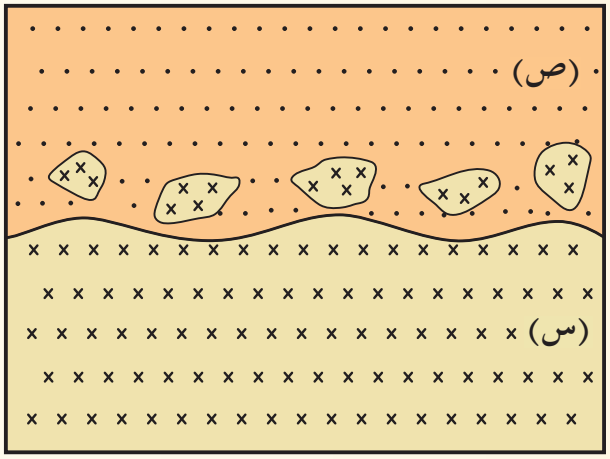
أ. **أُرتِّب** الأحداث الجيولوجية من الأقدم إلى الأحدث.

ب. أُحدِّد عدد التعاقبات الرسوبية.

ج. أُحدِّد عدد سطوح عدم التوافق.

د. أذكر مبادئ التأريخ النسبي التي اعتمدت عليها في ترتيب الأحداث الجيولوجية.

7. **أتوقَّع**: كيف أمكن احتواء القطع الصخرية من الصخر الناري (س) أسفل طبقة الصخر الرسوبي (ص) في الشكل الآتي؟



الدرس 3 التأريخ المُطلَق للصخور

Absolute Dating of Rocks

الفكرة الرئيسة:

يُستخدَم التأريخ المُطلَق لتحديد أعمار الصخور بدقَّة (بالسنوات)، ثم تحديد عُمر الأرض.

نتاجات التعلُّم:

- أتعرَّف عُمر الصخور باستخدام التأريخ المُطلَق.
- أربط بين العُمر المُطلَق للنيازك وعُمر الأرض والشمس.

المفاهيم والمصطلحات:

الاضمحلال الإشعاعي Radioactive Decay

عُمر النصف Half-Life

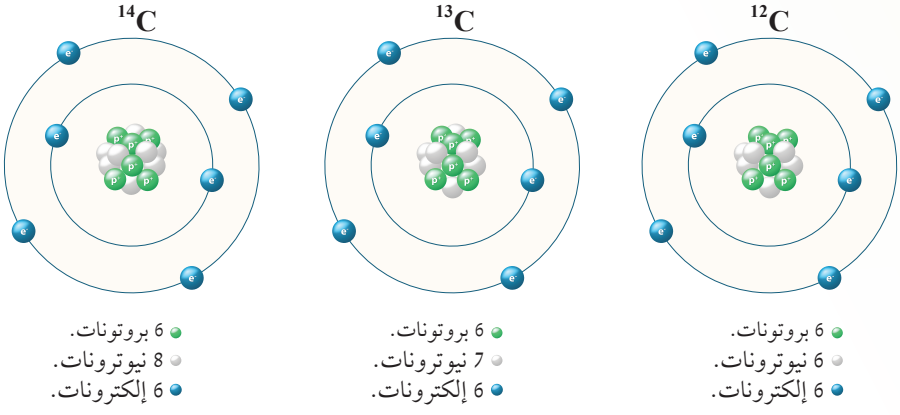
التأريخ المُطلَق Absolute Dating

التأريخ باستخدام النشاط الإشعاعي
Dating with Radioactivity

درسْتُ سابقًا أنَّ التأريخ النسبي يُرتِّب الأحداث الجيولوجية التي مرَّت بسطح الأرض وَفق حدوثها، ولكنَّه لا يُحدِّد زمن تلك الأحداث أو أعمار الصخور بدقَّة (بالسنوات)؛ لذا لجأ العلماء إلى استخدام طرائق أُخرى تعتمد على النشاط الإشعاعي للعناصر المشعة الموجودة في الصخور لإعطائها أعمارًا مُحدَّدة، فما النشاط الإشعاعي؟ وكيف يحدث؟

النشاط الإشعاعي Radioactivity

يتكوَّن العنصر من النوع نفسه من الذرات، ويُحدَّد نوعه بعدد البروتونات الموجودة في نواته، في ما يُعرَف بالعدد الذري للعنصر. قد يختلف عدد النيوترونات في نواة ذرة العنصر الواحد؛ ما يُسبِّب اختلاف العدد الكتلي له. يُطلَق على ذرات العنصر الواحد التي تحوي العدد الذري نفسه، وتختلف في العدد الكتلي اسم النظائر Isotopes، أنظر الشكل (18) الذي يُمثِّل بعض نظائر الكربون.



الشكل (18): بعض نظائر الكربون التي تختلف في عدد النيوترونات في أنوية ذراتها.

فمثلًا، العدد الذري لعنصر الكربون (C) هو 6؛ لأنَّه يحتوي على ستة بروتونات في نواته، في حين تحتوي بعض عناصره على أعداد مختلفة من النيوترونات، مثل: 6، 7، 8؛ لذا توجد للكربون نظائر مختلفة، منها: ^{12}C، ^{13}C، ^{14}C.

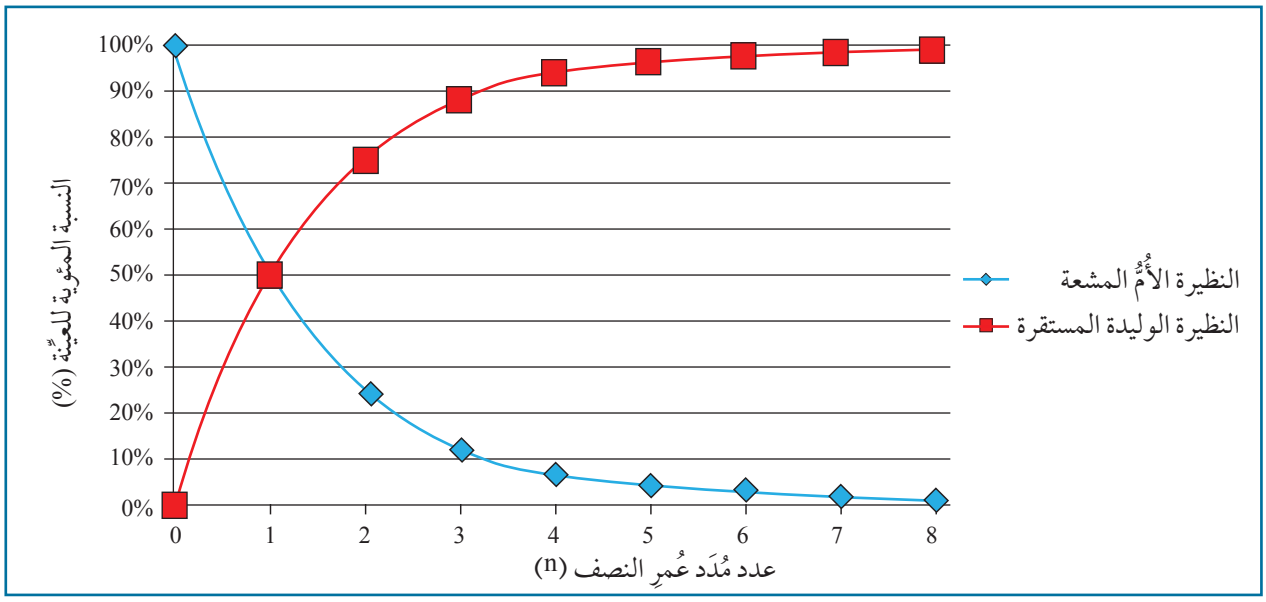
ترتبط البروتونات والنيوترونات معًا في معظم ذرات النظائر بقوى ترابط نووية قوية، ولذلك تكون معظم النظائر مستقرة. إلّا أنَّ بعض النظائر تكون غير مستقرة؛ أيْ مشعة، فتتحلَّل ذراتها تلقائيًّا بإطلاق جُسَيمات ألفا (α) وبيتا (β) وأشعة غاما (γ)، مُنتِجةً نظائر أكثر استقرارًا، وقد يستمرُّ التحلُّل الإشعاعي لبعض الذرات في عدد من المراحل حتى يتكوَّن نظير مستقر؛ أيْ غير مشع. فمثلًا، يتحلَّل اليورانيوم (^{238}U) بمرور الزمن مُكوِّنًا نظير الرصاص (^{206}Pb) المستقر. يُطلَق على نظير العنصر غير المستقر، أو المشع اسم النظيرة الأُمِّ المشعة، في حين يُطلَق على النظيرة الناتجة من اضمحلال النظيرة الأُمِّ المشعة اسم النظيرة الوليدة. أمّا العملية التي تتحلَّل فيها ذرات العناصر المشعة إلى ذرات عناصر مستقرة فتُسمّى النشاط الإشعاعي، أو **الاضمحلال الإشعاعي** **Radioactive Decay**.

عُمر النصف Half-Life

تتحلَّل نظائر العناصر المشعة إلى نظائر مستقرة في زمن مُحدَّد ثابت يُسمّى عُمر النصف. يُعرَف **عُمر النصف** **Half-Life** بأنَّه الزمن اللازم لاضمحلال نصف عدد ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة في العيِّنة إلى ذرات نظيرة وليدة أكثرَ استقرارًا، أو مستقرة، أنظر الشكل (19) الذي يُبيِّن العلاقة بين مُدَد عُمر النصف والنسبة المئوية لكلٍّ من النظيرة الأُمِّ المشعة والنظيرة الوليدة المستقرة.

أبحث:

يحدث الاضمحلال الإشعاعي بشكل تلقائي؛ إذ يتحوَّل العنصر المشع في هذه العملية إلى عنصر آخر أكثر استقرارًا؛ نتيجة فقده جُسَيمات ألفا (α) أو جُسَيمات بيتا (β)، وإطلاق أشعة غاما (γ). أبحث في كيفية حدوث الأنواع الثلاثة للاضمحلال الإشعاعي، وأذكر أمثلة على العناصر التي تحدث فيها، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عن ذلك، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.



الشكل (19): تحوُّل النظيرة الأُمِّ المشعة عن طريق الاضمحلال الإشعاعي إلى نظيرة وليدة مستقرة.

أُقارِن بين منحنى كلٍّ من النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية والنظيرة الوليدة المستقرة في مُدَّة عُمر النصف الثانية.

يبيّن الشكل (19) أنَّ مُدَّة عُمر النصف في البداية تساوي صفرًا، وهذا يدلُّ على أنَّ الاضمحلال الإشعاعي لم يبدأ بعدُ؛ إذ يُلاحَظُ أنَّ العيِّنة تقتصر بدايةً (حين تكون مُدَّة عُمر النصف صفرًا) على النظيرة الأُمِّ المشعة بنسبة 100%، كما يظهر في المنحنى الأزرق؛ عندئذٍ تكون نسبة النظيرة الوليدة المستقرة صفرًا أيضًا، كما يظهر في المنحنى الأحمر. وبزيادة عدد مُدَد عُمر النصف يبدأ النقصان في النسبة المئوية لذرات النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية تقابله زيادة في النسبة المئوية لذرات النظيرة الوليدة المستقرة حتى تقترب النسبة المئوية لذرات الأُمِّ المشعة المتبقية من الصفر.

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح العلاقة بين النظيرة الأُمِّ المشعة والنظيرة الوليدة المستقرة.

لتوضيح العلاقة بين النظيرة الأُمِّ المشعّة المتبقية والنظيرة الوليدة المستقرة، أُنفِّذ التجربة الآتية.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن جهاز مطياف الكتلة Mass Spectrometry الذي يُستخدَم لقياس كمِّيات النظائر المختلفة، من حيث تركيبه وأهميته في تحديد الأعمار المُطلَقة للصخور، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عن ذلك، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

تجربة 1

نمذجة أعمار النصف

المواد والأدوات: مِقَصٌّ، شريط ورقي، مِسطرة مترية، لوح من الكرتون، أقلام مختلفة الألوان.

إرشادات السلامة:

– استخدام المِقَصِّ بحذر في أثناء قَصِّ الشريط الورقي.

خطوات العمل:

1. أُحضِر لوح الكرتون لتمثيل منحَنى الاضمحلال الإشعاعي، ثم أرسم عليه محورين (سيني، وصادي)، بحيث يُمثِّل المحور السيني عدد مُدَد عُمر النصف، ويُمثِّل المحور الصادي عدد الذرات.
2. أقيس طول الشريط الورقي، ثم أُمثِّل قيمته على الرسم البياني، بحيث يُمثِّل عدد ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة الأصلية عند مُدَّة عُمر النصف (صفر).
3. أقُصُّ الشريط إلى قسمين متساويين، أحدهما يُمثِّل النظيرة الأُمَّ المشعة المتبقية، والآخر يُمثِّل النظيرة الوليدة المستقرة، وأقيس طولهما، ثم أُمثِّل قيمتهما على الرسم البياني في مُدَّة عُمر النصف الأولى.
4. أقُصُّ الشريط الناتجَ الذي يُمثِّل النظيرة الأُمَّ المشعة المتبقية إلى جزأين متساويين، بحيث يُمثِّل أحدهما النظيرة الأُمَّ المشعة المتبقية، وأقيس طوله، ثم أُمثِّل قيمته على الرسم البياني في مُدَّة عُمر النصف الثانية.
5. أجمَع طول الشريط الآخر الناتج في الخطوة 4 الذي يُمثِّل النظيرة الوليدة المستقرة مع الطول الناتج لها في الخطوة 3، ثم أُمثِّل قيمة المجموع على الرسم البياني في مُدَّة عُمر النصف الثانية.
6. أُكرِّر الخطوة 4 لتمثيل ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية في مُدَّة عُمر النصف الثالثة.
7. أجمَع طول الشريط الناتجِ في الخطوة 6 مع الطول الناتج في الخطوة 5 لتمثيل عدد ذرات النظيرة الوليدة المستقرة في مُدَّة عُمر النصف الثالثة.
8. أُمثِّل البيانات للدلالة على مُدَّة عُمر نصف رابعة بقصِّ الشريط الناتج، وقياس طوله لتمثيل النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية. بعد ذلك أجمع طول الشريط الآخر الذي يُمثِّل النظيرة الوليدة المستقرة مع الطول الناتج في الخطوة 7، ثم أُمثِّل قيمتهما على الرسم البياني.
9. أرسم المنحنى الذي يُمثِّل النظيرة الأُمَّ المشعة المتبقيةَ، والمنحنى الذي يُمثِّل النظيرة الوليدة المستقرة.

التحليل والاستنتاج:

1- أُحدِّد: ماذا تُسمّى النظيرة المشعة عند مُدَّة عُمر النصف صفر؟

2- **أحسُب** النسبة بين النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية والنظيرة الوليدة المستقرة عند مُدَّة عُمر النصف الثالثة.

3- **أُقارِن** بين منحنى النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية ومنحنى النظيرة الوليدة المستقرة.

4- **أستنتج** قيمة النظيرة الوليدة المستقرة بعد مُدَّة عُمر النصف الخامسة.

التأريخ الإشعاعي للصخور Radiometric Dating of Rocks

تُستخدَم عملية الاضمحلال الإشعاعي لتحديد الأعمار المُطلَقة للصخور والأحداث الجيولوجية التي مرَّت بسطح الأرض، ويُطلَق على طريقة حساب عُمر الصخور والمعادن التي تحوي نظائر مشعة على نحوٍ دقيق ومُحدَّد اسم **التأريخ المُطلَق Absolute Dating**. يُمثِّل العُمر المُطلَق عدد السنوات التي انقضت منذ تشكُّل المعدِن وانحباس النظيرة الأُمِّ المشعة داخله حتى وقتنا الحاضر. يستخدم العلماء جهاز مطياف الكتلة لقياس نسبة النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية إلى النظيرة الوليدة المستقرة في عيِّنة المعدِن، ثم حساب النظيرة الأُمِّ الأصلية لتحديد مُدَد عُمر النصف التي انقضت منذ بَدْء الاضمحلال الإشعاعي. وكلَّما كانت العيِّنة المأخوذة من الصخر المراد قياسه أقدم، احتوت على كمِّية أكبر من النظيرة الوليدة المستقرة.

يُشترَط لاستخدام طرائق الاضمحلال الإشعاعي في التأريخ المُطلَق أنْ تكون كمِّيات النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية والنظيرة الوليدة المستقرة قابلةً للقياس، وأنْ يكون عُمر النصف للعنصر المراد تحليله مُحدَّدًا بدقَّة، وأنْ يبقى النظام الإشعاعي مغلقًا، ولا يسمح بالدخول أو الخروج لأيٍّ من ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية، أو ذرات النظيرة الوليدة المستقرة. ومن المعادن المُستخدَمة في تحديد العُمر المُطلَق للصخور، معدِن الزركون الذي يحوي عنصر اليورانيوم المشع لحظة تبلوره، ولكنَّه لا يحوي عنصر الرصاص، أنظر الشكل (20).

أُعِدُّ فِلْمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يُبيِّن كيفية تحوُّل النظيرة الأُمِّ المشعة الأصلية إلى نظيرة وليدة مستقرة، مُضمِّنًا إيّاه صورًا توضيحيةً، ثم أُشارِكه زملائي/ زميلاتي في الصف.

الشكل (20): بلورة معدن الزركون التي تُستخدَم في عمليات الاضمحلال الإشعاعي.

النظائر المُستخدَمة في التأريخ المُطلَق
Isotopes Used in Absolute Dating

أفكّرُ

ما تأثير كلٍّ من الظروف الفيزيائية والكيميائية في مُعدَّل الاضمحلال الإشعاعي للعناصر المشعة؟

يوجد في الطبيعة العديد من النظائر المشعة. وكما تعرَّفْتُ سابقًا، فإنَّ الزمن اللازم لاضمحلال تلك النظائر وتحوُّلها إلى نظائر وليدة مستقرة دائمًا ثابت. وكذلك، فإنَّ مقدار أعمار النصف لتلك النظائر مختلف؛ فبعضها يستغرق مُدَدًا زمنيةً قصيرةً جدًّا لا تتجاوز الثانية الواحدة للتحوُّل إلى نظيرة وليدة مستقرة مثل الليثيوم (^{8}Li)، وبعضها الآخر يستغرق تحوُّله مُدَّةً زمنيةً طويلةً تُقدَّر بمليارات السنين مثل البوتاسيوم (^{40}K). وفي المقابل، فإنَّ العديد من تلك النظائر تحتاج إلى سلسلة من التحوُّلات حتى تصل إلى نظيرة وليدة مستقرة مثل نظائر اليورانيوم. يستخدم العلماء خمسة نظائر على نحوٍ خاص في تحديد الأعمار المُطلَقة للصخور، وهي: اليورانيوم (^{238}U)، اليورانيوم (^{235}U)، البوتاسيوم (^{40}K)، الروبيديوم (^{87}Rb)، الكربون (^{14}C)؛ ذلك أنَّ عُمر النصف لمعظمها يوازي الأحداث الجيولوجية، أنظر الجدول (2).

*الجدول (2): أعمار النصف للنظائر الإشعاعية المُستخدَمة في تأريخ الصخور.

النظيرة الأُمُّ المشعة الأصلية	النظيرة الوليدة المستقرة	عُمر النصف
اليورانيوم (^{238}U)	الرصاص (^{206}Pb)	4.47 billion years
اليورانيوم (^{235}U)	الرصاص (^{207}Pb)	710 million years
البوتاسيوم (^{40}K)	الأرغون (^{40}Ar)	1.25 billion years
الروبيديوم (^{87}Rb)	السترونشيوم (^{87}Sr)	50 billion years
الكربون (^{14}C)	النيتروجين (^{14}N)	5730 years

* الجدول للمطالعة الذاتية.

حساب أعمار الصخور Calculating Ages of Rocks

يُمكِن حساب العُمر المُطلَق للصخور التي تحوي نظائر مشعة باتِّباع الخطوات الآتية:

- تحديد عـدد ذرات كلٍّ من النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية، والنظيرة الوليـدة المستقرة. يُمكِن إيجاد النظيرة الأُمِّ المشعة الأصلية التي تُمثِّل ذرات العنصر المشع لحظة تبلور المعدِن، وبَدْء عملية الاضمحلال الإشعاعي كالآتي:

$$N_0 = N_p + N_d$$

حيث:

N_0: عدد ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة الأصلية.

N_p: عدد ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية.

N_d: عدد ذرات النظيرة الوليدة المستقرة.

- تحديد عدد مُدَد عُمر النصف (n) بإيجاد نسبة عدد الذرات النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية إلى عدد ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة الأصلية.

أو باستخدام العلاقة الآتية:

$$N_p = N_0 \times (\frac{1}{2})^n$$

حيث:

n: عدد مُدَد عُمر النصف.

- إيجاد العُمر المُطلَق للمعدِن أو الصخر عن طريق ضرب عدد مُدَد عُمر النصف الخاصة بالعيِّنة في قيمة عُمر النصف للعنصر المشع المُستخدَم كما في المعادلة الآتية:

$$T = T_{\frac{1}{2}} \times n$$

حيث:

T: العُمر المُطلَق.

$T_{\frac{1}{2}}$: عُمر النصف.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن نظائر عنصر اليورانيوم، مُحدِّدًا ما يتكوَّن منها بشكل طبيعي، وما يتكوَّن منها بالمفاعلات النووية، ثم أُحدِّد أعمار النصف لبيان ما يُستخدَم منها في تحديد الأعمار المُطلَقة للصخور. بعد ذلك أرسم باستخدام برمجية إكسل رسومًا بيانيةً تُوضِّح ذلك، ثم أعرضها أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

مثال

حُلِّلت عيِّنة لبلّورة أحد المعادن بجهاز مطياف الكتلة، فوُجِد أنَّها تحوي 11915 ذرةً من العنصر المشع، و 35745 ذرةً من العنصر الوليد المستقر. إذا كان عُمر النصف للعنصر المشع هو 2.7 million years، فكم عُمر عيِّنة المعدِن؟

الحل:

أوَّلًا: أجد قيمة النظيرة الأُمِّ الأصلية (N_0):

$$N_0 = N_p + N_d = 11915 + 35745 = 47660$$

ثانيًا: أجد عدد مُدَد عمر النصف (n):

$$N_p = N_0 \times (\frac{1}{2})^n$$

$$11915 = 47660 \times (\frac{1}{2})^n \longrightarrow \frac{11915}{47660} = (\frac{1}{2})^n$$

$$(\frac{1}{4}) = (\frac{1}{2})^n \longrightarrow n = 2$$

يُمكِنني إيجاد (n) أيضًا عن طريق الآتي:

$$47660 \xrightarrow{n = 1} 23830 \xrightarrow{n = 2} 11915$$

$$n = 2$$

ثالثًا: أجد عُمر العيِّنة:

$$T = T_{\frac{1}{2}} \times n$$

$$T = 2.7 \times 2 = 5.4 \text{ million years}$$

تمرين

عثر العلماء على أحد أحافير الثدييات المفترسة المنقرضة التي كانت تعيش في الزمن الماضي. وبعد تحليلهم عيِّنة من عظام هذه الأحفورة، وجدوا أنَّها تحوي كمِّية من النيتروجين (^{14}N) تساوي 31 ضعفًا ممّا فيها من الكربون (^{14}C). كم عُمر الأحفورة، علمًا بأنَّ عُمر النصف للكربون هو 5730 years؟

التأريخ الإشعاعي وأنواع الصخور

Radiometric Dating and Rocks Types

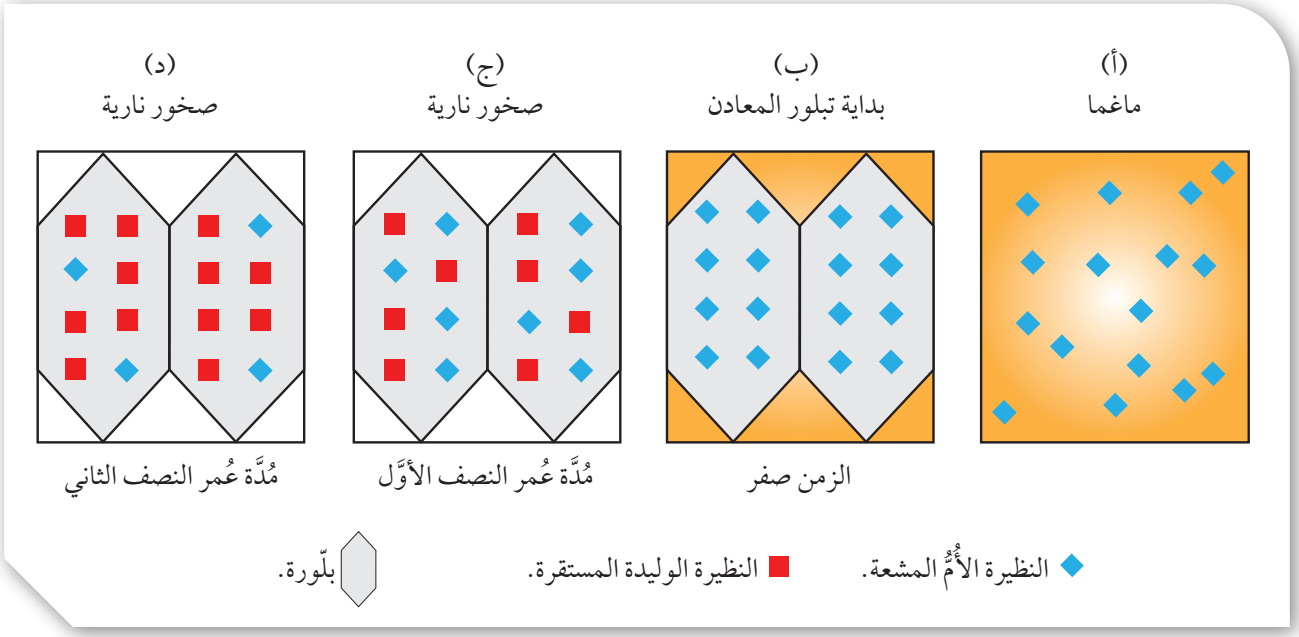
تعلَّمْتُ سابقًا أنَّ العلماء والمُؤرِّخين يستخدمون التأريخ الإشعاعي لتحديد أعمار الصخور والأحداث الجيولوجية التي مرَّت بسطح الأرض، فهل يُمكِن تأريخ أعمار جميع أنواع الصخور؟ وما أفضل أنواع الصخور التي يُمكِن تأريخها بالنشاط الإشعاعي؟

أفكّرُ

في الاضمحلال الإشعاعي، هل يُمكِن أنْ تتحوَّل جميع ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة إلى نظيرة وليدة مستقرة؟ لماذا؟

تأريخ الصخور النارية Igneous Rocks Dating

تُعَدُّ الصخور النارية أفضل الصخور استخدامًا في التأريخ الإشعاعي؛ ذلك أنَّ معادنها التي تُستخدَم في التأريخ الإشعاعي عند تبلورها من الماغما تحتوي على النظيرة الأُمِّ المشعة فقط، ثم تتحوَّل بمرور الزمن إلى نظيرة وليدة مستقرة، وتحتفظ البلّورات بكلا النظيرين من دون كسب أو فقدان. ولهذا، فإنَّ عُمر الصخر الناري الذي يقاس بطرائق التأريخ الإشعاعي يشير إلى عُمر الصخر منذ لحظة تبلور المعادن المُكوِّنة له من الماغما، وانحباس النظيرة الأُمِّ المشعة في البلورة ، لا عند نشأة الماغما. حيث يكون النظام الإشعاعي مفتوحًا في حالة الماغما. يُبيِّن الشكل (21) تحلُّل ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة الأصلية إلى ذرات نظيرة وليدة في بلّورات أحد المعادن في الصخور النارية، ويُلاحَظ من الشكل (21/أ) توزُّع



الشكل (21): تحوُّل النظيرة الأُمِّ المشعة الأصلية إلى نظيرة وليدة داخل بلّورة المعدِن.

أحسُب: كم نسبة الذرات الأُمِّ المشعة المتبقية إلى ذرات النظيرة الوليدة المستقرة إذا مرَّت مُدَّتان من عُمر النصف؟

ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة الأصلية في الماغما. وما إنْ تبرد الماغما، حتى تبدأ المعادن المختلفة تتبلور فيها، وتحبس النظيرة الأُمَّ المشعة الأصلية في التركيب البلّوري للمعدِن. أمّا في الشكل (21/ ب) فيُلاحَظ أنَّ عُمر الصخور أصبح صفرًا، وأنَّ عدد مُدَد عُمر النصف المنقضية هو أيضًا صفر، وأنَّه بعد مُضِيِّ مُدَّة عُمرِ النصف الأولى يتحوَّل نصف ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة الأصلية في كل بلورة معدِنية إلى ذرات نظيرة وليدة، في حين يظلُّ النصف الآخر على حاله، أنظر الشكل (21/ ج). وأمّا الشكل (21/ د) فيُبيِّن عدد ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية في كل بلّورة، وعدد ذرات النظيرة الوليدة المستقرة بعد مُضِيِّ مُدَّة عُمر النصف الثانية.

تأريخ الصخور المُتحوِّلة Metamorphic Rocks Dating

عند تعرُّض مختلف أنواع الصخور لعواملِ التحوُّل من حرارة وضغط، وحدوث إعادة تبلور لها، فإنَّ ذلك قد يؤدي إلى فتح النظام الإشعاعي، وحدوث كسْبٍ أو فقْدٍ للنظيرة الأُمِّ المشعة، أو النظيرة الوليدة المستقرة من البلّورة؛ ما يؤدي إلى تغيير نسبتهما فيها. وعند توقُّف عملية التحوُّل، تصبح البلّورات الجديدة نظامًا مغلقًا من جديد، ويبدأ العنصر المشع بالتحوُّل إلى عنصر مستقر. ومن ثَمَّ، فإنَّ التأريخ باستخدام الاضمحلال الإشعاعي للصخور المُتحوِّلة هو الذي يُؤرِّخ عملية التحوُّل، وليس نشأة الصخر الأصلي. فمثلًا، إذا احتوى صخر ما على معدِن بيوتيت فيه نظيرة البوتاسيوم ^{40}K (النظيرة الأُمّ المشعة المتبقية) ونظيرة الأرغون ^{40}Ar (الوليدة المستقرة)، وتعرَّض هذا الصخر لعوامل التحوُّل، فإنَّ غاز الأرغون المُتكوِّن يخرج من الصخر؛ لأنَّ الحرارة تجعل بلّورة البيوتيت نظامًا مفتوحًا، فتصبح نسبة النظيرة الأُمِّ المشعة المتبقية إلى النظيرة الوليدة المستقرة مختلفة، وتكون عند حساب النظيرة الأُمِّ المشعة الأصلية أقلَّ ممّا لو كان النظام مغلقًا.

يؤدي كل ما سبق إلى اختلاف عُمر الصخر؛ لذا، فإنَّ استخدام طرائق الاضمحلال الإشعاعي في الصخور المُتحوِّلة يعطيها دائمًا عُمرًا أحدثَ؛ لأنَّ هذه الطرائق ترصد حادثة التحوُّل، لا نشأة الصخر الأصلي.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن سلسلة الاضمحلال الإشعاعي لليورانيوم (^{238}U) إلى رصاص (^{206}Pb)، وسلسلة اضمحلال اليورانيوم (^{235}U) إلى رصاص (^{207}Pb)، ثم أكتب تقريرًا أُبيِّن فيه العناصر وأعمار النصف لكلٍّ منها. ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

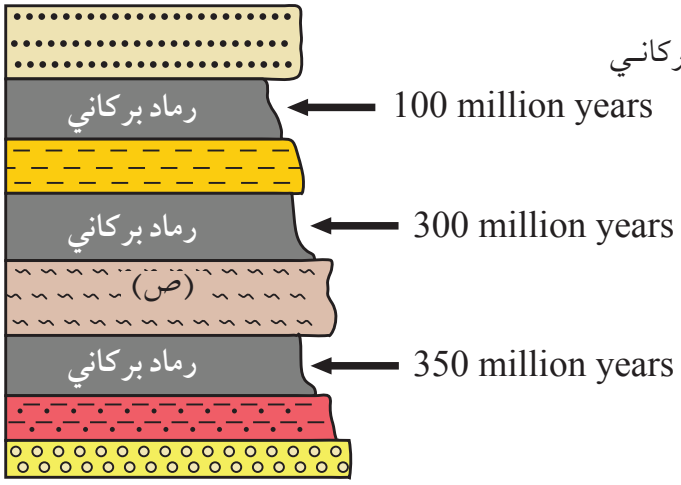
الربط بالعلوم الحياتية

تُستخدَم حلقات الشجر السنوية في تحديد أعمارها؛ إذ تحوي الأشجار سجلًّا زمنيًّا لأعمارها، وتنمو كل شجرة ضمن ظروف مُعيَّنة كل سنة، ويكون سُمْك الحلقات عريضًا عند توافر أمطار غزيرة، في حين يكون سُمْكها قليلًا في مواسم الجفاف. يُعَدُّ أندريو دوغلاس أوَّل مَن استخدم التأريخ بالحلقات لتأريخ بيوت مصنوعة من الخشب. واليوم يستطيع العلماء استخدام هذه الطريقة لتأريخ مُدَد تصل إلى 10000 years.

تأريخ الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks Dating

تُستَخدَم طرائق الاضمحلال الإشعاعي في الصخور الرسوبية الكيميائية التـي تترسَّب نتيجة زيادة تركيز المواد الذائبة في المحاليل المائية، مثل الصخور الجيرية؛ إذ يغلق النظام الإشعاعي فيها لحظة حدوث الترسيب. ومن ثَمَّ، فإنَّ تأريخ الصخور الرسوبية الكيميائية يرصد عُمر الرسوبيات التي يتكوَّن منها الصخر الرسوبي الكيميائي؛ أيْ إنَّه يُؤرِّخ لحظة الترسيب. أمّا الصخور الرسوبية الفتاتية فلا تُستخدَم طرائق الاضمحلال الإشعاعي لإيجاد أعمارها؛ لأنَّ حُبيبات المعادن المُكوِّنة لها تشكَّلت في صخور قديمة تعرَّضت لعمليات حَتٍّ وتعريةٍ ثم ترسيبٍ من دون أنْ يُحدِث ذلك أيَّ تغيير في بلّوراتها الداخلية؛ ما يعني بقاء النظام الإشعاعي فيها مُغلَقًا، فتحتفظ بالنظيرة المشعة المتبقية والنظيرة الوليدة المستقرة من دون تغيير. وعند تقدير عُمرها، فإنَّه يكون قريبًا من عُمر الصخر الأصـلي الذي أُخِذت منه المعـادن، وليس عُمر الصـخر الرسوبي. يُستخدَم الكربون (^{14}C) في تأريخ بعـض أنواع الصـخور الرسـوبية الكيميائية والصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية، مثل تأريخ طبقات الفحم الحجري. يستخدم الجيولوجيون طرائق غيرِ مباشرة لتحديد أعمار الصخور الرسوبية، وذلك بمقارنة أعمارها بأعمار مُطلَقـة لأجسـام من صخـور نارية محيطـة بها باستخدام التأريخ النسبي؛ إذ يُحدِّد الجيولوجيون جسمين من الصخور النارية، أحدهما أقدم نسبيًّا من الصخور الرسوبية، والآخر أحدث من الصخور الرسوبية، أنظر الشكل (22).

✓ **أتحقَّق:** أُفسِّر سبب عدم استخدام طرائق الاضمحلال الإشعـاعي في تأريخ الصخور الرسوبية الفتاتية.



الشكل (22): استخدام طبقات الرماد البركاني في تحديد عُمر الصخور الرسوبية.

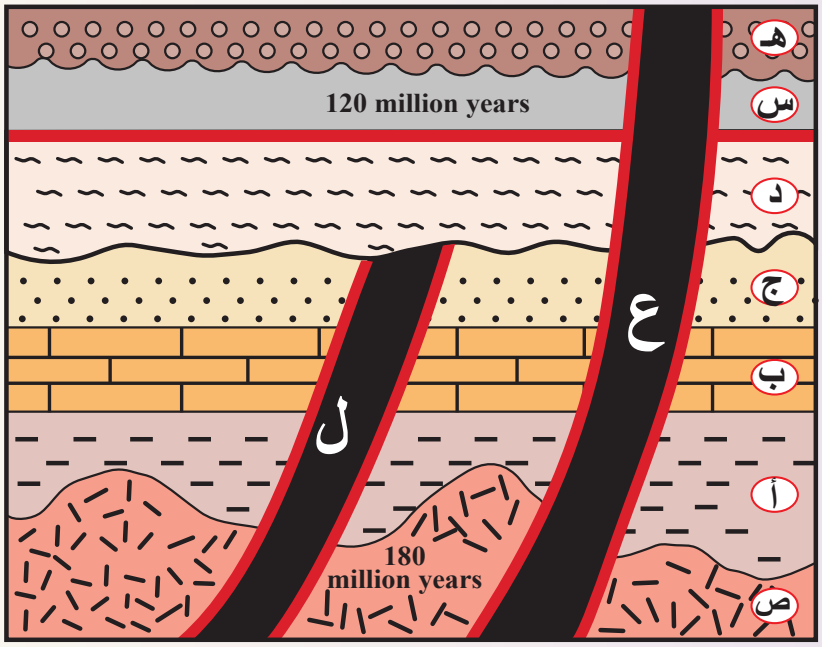
أستنتج عُمر الطبقة الرسوبية (ص).

لتعرُّف كيفية تحديد أعمار الصخور الرسوبية، أُنفِّذ النشاط الآتي.

نشاط

إعطاء الصخور الرسوبية أعمارًا مُطلَقةً

تُستخدَم الصخور النارية في تحديد أعمار الصخور الرسوبية على نحوٍ غير مباشر. ويُمثِّل الشكل الآتي تتابعات من الصخور الرسوبية (أ، ب، ج، د، هـ)، والصخر الناري (ص)، والقاطعين الناريين (ع، ل)، والطفح البركاني (س)، علمًا بأنَّ جميع أعمارها المُطلَقة مَقيسة بملايين السنين (million years) كما في الشكل. أدرس الشكل ، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه:



التحليل والاستنتاج:

1- أُحدِّد مبدأين للتأريخ النسبي يُمكِن استخدامهما في الشكل لترتيب الطبقات والأحداث الجيولوجية من الأقدم إلى الأحدث.

2- **أستنتج** عُمر التعاقب الطبقي (أ، ب، ج).

3- **أستنتج** عُمر الطبقة (هـ).

عُمر الأرض Age of the Earth

قاس العلماء عُمر صخور القشرة الأرضية باستخدام طرائق التأريخ الإشعاعي، ولكنَّهم لم يستطيعوا تحديد عُمر الأرض تحديدًا دقيقًا؛ بسبب العمليات التي تحدث للصخور في أثناء دورة الصخور في الطبيعة؛ إذ يُمكِن للصخور أنْ تتحوَّل من نوع إلى آخر، أو تنصهر داخل الستار، أو تتعرَّض لعمليات التجوية والتعرية؛ ما يؤدي إلى إزالة صخور، أو إنتاج صخور جديدة لها أعمار حديثة. لذلك لجأ العلماء إلى استخدام طرائق أُخرى غير مباشرة، منها تحديد عُمر النظام الشمسي، وأيٍّ من مُكوِّناته بافتراض أنَّ مُكوِّنات النظام الشمسي، ومنها الأرض، قد تشكَّلت في الوقت نفسه. وقد درس العلماء عيِّنات صخرية مُتنوِّعة أُخِذت من القمر أو من النيازك، واستخدموا طرائق التأريخ الإشعاعي في تحديد أعمارها؛ إذ استخدموا مثلًا طرائق الاضمحلال الإشعاعي ذات عُمر النصف الكبير في قياس عُمر الأرض، لا سيَّما طريقة البوتاسيوم - أرغون، وطريقة اليورانيوم- رصاص.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن طرائق التأريخ الإشعاعي، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عنها، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

صخور القمر Moon Rocks

تمكَّن رجال الفضاء من جمع عيِّنات صخرية من القمر، تُمثِّل صخورًا بدائيةً، تراوحت أقدم أعمارها بين (4.4-4.5) billion years.

النيازك Meteorites

عثر العلماء على آلاف النيازك التي سقطت على سطح الأرض من كُوَيكِبات تشكَّلت مع بَدْء نشوء كلٍّ من النظام الشمسي، والأرض. قاس العلماء أعمار أكثر من 70 نيزكًا باستخدام طرائق الاضمحلال الإشعاعي، وتَبيَّن لهم أنَّ أعمارها تتراوح بين (4.53-4.58) billion years ومن هذه النيازك: نيزك كانيون ديابلو Canyon Diablo، وهو من النيازك الحديدية، وقد قدَّر العلماء عُمره بنحو (4.54) billion years. أنظر الشكل (23).

الشكل (23): عيِّنة من نيزك كانيون ديابلو الذي يُعَدُّ أحد النيازك الحديدية، ويُقدَّر عُمره بنحو (4.54) billion years.

صخـور القشـرة الأرضية Earth's Crust Rocks

تُعَدُّ صخور النايس في شمال غرب كندا أقدم الصخور التي عُثِر عليها في الأرض، وقد قُدِّر عُمرها بنحو 4.03) billion years)، تليها صخور حـزام الحجر الأخضر إيسوا Isua Greenstone Belt في غرب غرينلاند التي قُدِّر عُمرها بنحو 3.8 - 3.7) billion years)، وقد عُثِر في غرب أستراليا على بلّورات من الزركون قُدِّر عُمرها بنحو 4.4) billion years)، وكانت موجودة في صخور رسوبية أحدث منها.

استخدم العلماء العديد من الطرائق الإشعاعية في تأريخ هذه الصخور، ولاحظوا بذلك وجود توافق وتقارب بين أعمارها؛ ما زاد من ثقتهم بالنتائج التي توصَّلوا إليها، أنظر الشكل (24) الذي يُبيِّن صخورًا قديمةً من حزام الحجر الأخضر في جنوب إفريقيا.

بناءً على تحديد أعمار صخور القشرة الأرضية وصخور القمر والنيازك، قدَّر العلماء عُمر الأرض بنحو 4.6) billion years).

✓ **أتحقَّق:** لماذا لا تُنبِئ صخور القشرة الأرضية بالعُمر الحقيقي للأرض؟

الشكل (24): عيِّنة تُمثِّل صخور الصوّان وأكاسيد الحديد من حزام الحجر الأخضر في جنوب إفريقيا، وهي تتبع دهر الأرشيان قبل نحو 3 billion years.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** أُوضِّح سبب استخدام التأريخ المُطلَق في تحديد أعمار الصخور .

2. أُوضِّح المقصود بالنظير.

3. **أُقارِن** بين نظير الكربون ^{14}C ونظير اليورانيوم ^{235}U من حيث عُمر النصف، واستخـدامات كلٍّ منهما.

4. **أحسُب:** عُثِر على بلّورة من معدن الزركون في صخر الغرانيت، وكانت تحتوي وقت تبلورها على 20 g من نظير اليورانيوم ^{235}U. كم عُمر صخر الغرانيت إذا تبقّى من نظير اليورانيوم ^{235}U 5 g، علمًا بأنَّ عُمر النصف لليورانيوم (^{235}U) هو 710 millon years؟

5. **أستنتج:** ماذا يُلاحَظ على عُمر عيِّنة من المايكا تحوي نظير البوتاسيوم ^{40}K ونظير الأرغون ^{40}Ar بعد تسخينها في درجات حرارة عالية؟

6. **أُفسِّر:** لماذا تُستخدَم النيازك في تحديد العمر المُطلَق للأرض؟

7. **أُقوِّم** العبارة الآتية: «وجود صخور نارية بين تتابعات من صخور رسوبية يُمثِّل أهمية كبيرة في تحديد أعمار تلك الصخور الرسوبية».

الدرس 4

جيولوجية الأردن
Geology of Jordan

الفكرة الرئيسة:

تمتاز جيولوجية الأردن بتكشُّف أنواع مختلفة من الصخور على سطح الأرض منذ حِقبة ما قبل الكامبري حتى اليوم، وباحتوائها على العديد من الموارد المعدِنية.

نتاجات التعلُّم:

- أتتبَّع سُلَّم الزمن الجيولوجي للأردن على مستوى الحِقب.
- أضع بعض الموارد المعدِنية على خريطة جيولوجية بحسب الحِقب الجيولوجية التي تشكَّلت فيها.

المفاهيم والمصطلحات:

صخور الركيزة	Basement Rocks
سطح التسوية	Peneplanation

أعمار الصخور في الأردن
Ages of Rocks in Jordan

أخذ علماء الجيولوجيا منذ بدايات القرن الماضي بدراسة الصخور المُتكشِّفة في الأردن، والعيِّنات الصخرية المُستخرَجة عند حفر آبار النفط في العديد من المناطق، مستخدمين في ذلك مبادئ التأريخ النسبي، وطرائق التأريخ المُطلَق، وقد استطاعوا ترتيب الصخور وَفق أعمارها، وتعرُّف خصائصها وأنواعها والعلاقات المختلفة بينها، وبناء تصوُّر للأحداث الجيولوجية التي مرَّت بالمنطقة وعلاقتها بالمناطق المجاورة. فما ترتيب الصخور الموجودة في الأردن؟ وأين تقع تكشُّفاتها؟

صخور حِقبة ما قبل الكامبري
Precambrian Rocks

تمتد أعمار صخور حِقبة ما قبل الكامبري بين (800-540) million years، ويُطلَق على أقدم الصخور التي توجد في الأردن، وتتبع حِقبة ما قبل الكامبري اسم **صخور الركيزة Basement Rocks**، وهي تتكشَّف حول مدينة العقبة، وتقع على امتداد الجانب الشرقي لوادي عربة، وجنوب شرق البحر الميت، أنظر الشكل (25). تميل صخور الركيزة بمقدار 5° نحو الشمال والشرق والجنوب الشرقي؛ لذا، فهي توجد تحت صخور أُخرى أحدث منها في جميع مناطق الأردن.

الشكل (25): تكشُّف صخور الركيزة في الأردن حول مدينة العقبة، وعلى امتداد الجانب الشرقي لوادي الأردن، وجنوب شرق البحر الميت.

الشكل (26): عيِّنة من صخر الشيست تحوي بلّورات من معدِن الغارنت، وتتكشَّف في وادي أبو بُرقة.

قدَّر العلماء عُمر أقدم الصخور في الأردن بنحو 800 million years، وهي صخور مُتحوِّلة من النايس والشيست، عُثِر عليها في وادي أبو بُرقة شرق وادي عربة. تمتاز صخور الشيست هذه بوجود بلّورات معدِنية جميلة من معادن الغارنت، أنظر الشكل (26) الذي يُمثِّل عيِّنة من تلك الصخور.

تُقسَّم صخور الركيزة في الأردن بحسب أعمارها إلى قسمين رئيسين، يُسمّى كلٌّ منهما مَعقِدًا، ويفصل بينهما سطح عدم توافق قُدِّر عُمره بنحو 600 million years. وهذان المَعقِدان هما: مَعقِد العقبة Aqaba Complex الذي تتراوح أعمار صخوره بين (600-800) million years، وتتكشَّف صخوره المُكوَّنة في معظمها من صخور نارية جوفية ذات تركيب غرانيتي، وصخور مُتحوِّلة حول العقبة وفي جنوب وادي عربة ووسطه. ومَعقِد العرَبة Araba Complex الذي تتراوح أعمار صخوره بين (540-600) million years، وتتكشَّف صخوره التي تتكوَّن من صخور

✓ **أتحقَّق:** ما نوع أقدم الصخور في الأردن؟ وما عُمرها؟

الشكل(27): صخور كونغلوميريت السرموج التي تُمثِّل الحدَّ السفلي لمَعقِد العَربة.

الكونغلوميريت وصخور غرانيتية وريولايتية في شمال وادي عربة وغور الصافي، أنظر الشكل (27) الذي يُمثِّل صخور كونغلوميريت السرموج. في نهاية هذه الحِقبة، توقَّف النشاط التكتوني والماغماتي، ورُفِعت المنطقة، ثم حدثت عمليات حَتٍّ وتعريةٍ أدَّت إلى تسوية الصخور في كثير من المناطق ، وتشكُّل **سطح التسوية Peneplanation**، أنظر الشكل (28).

الشكل (28): سطح التسوية الذي يفصل بين صخور الركيزة النارية وصخور حِقبة الحياة القديمة الرملية.

صخور حِقبة الحياة القديمة Paleozoic Rocks

تمتد أعمار صخور حِقبة الحياة القديمة بين (540-225) million years، وتتكشَّف هذه الصخور فوق صخور الركيزة، ويفصل بينهما سطح التسوية. تتكوَّن صخور العصر الكامبري وصخور العصر الأوردوفيشي الأسفل -في المُجمَل- من صخور رملية مُلوَّنة، وصخور رملية بيضاء، أشهرها صخور البترا الوردية، أنظر الشكل (29) الذي يُمثِّل صخورًا رمليةً تتبع العصر الكامبري. أمّا صخور نهاية العصر الأوردوفيشي والعصر السيلوري فهي مُكوَّنة في معظمها من صخور الغَضار.

وفي ما يختصُّ بالعصر الديفوني والعصر الكربوني، فلا توجد في الأردن أيُّ صخور تتبع لهما، ويُعتقَد أنَّ صخورهما تعرَّضت لعمليات حَتٍّ وتعريةٍ بسبب عمليات الرفع الناتجة من الحركات الأرضية الهرسينية البانية للجبال، وأُزيلت من المنطقة في العصر الكربوني. أمّا العصر البيرمي فتتكوَّن صخوره -في المُجمَل- من الصخر الرملي الذي يتكشَّف في العديد من الأماكن، مثل: شمال مصبِّ وادي الموجب، وجنوب مصبِّ وادي زرقاء ماعين في البحر الميت.

أبحث:

رجَّح العلماء أنَّ عدم وجود صخور تتبع العصرين الديفوني والكربوني يعود إلى الحركات الأرضية الهرسينية البانية للجبال Hercynian Orogeny التي حدثت على سطح الأرض. مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن تلك الحركات، وزمن حدوثها، والمظاهرِ الناتجة منها، وبخاصة في الأردن، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عن ذلك، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

الشكل (29): صخور رملية عديدة الألوان تكشَّفت في البترا جنوب الأردن، وهي تعود إلى العصر الكامبري.

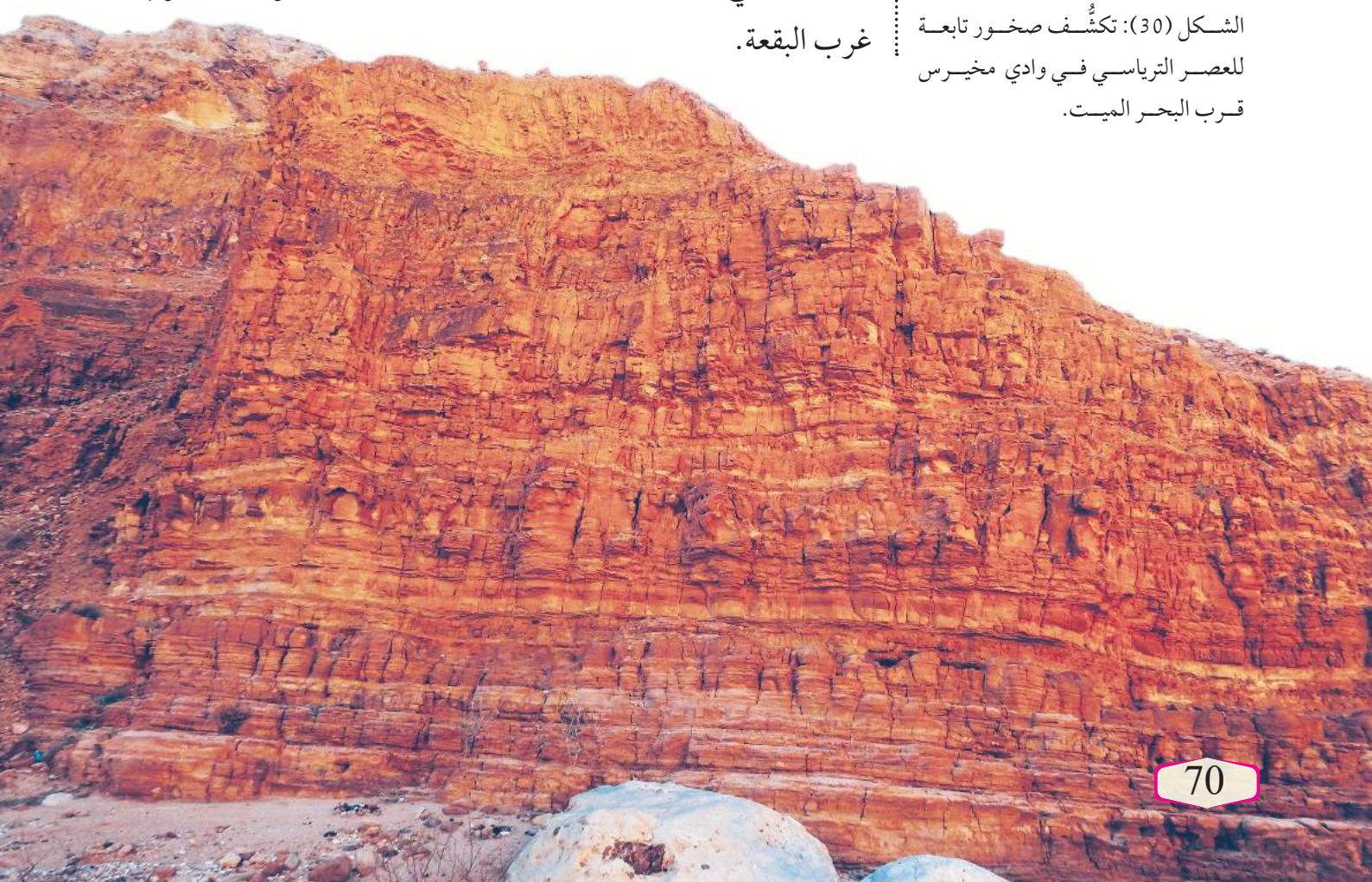
استنتج العلماء أنَّ بيئة الترسيب في العصر الكامبري والعصر الأوردوفيشي كانت بيئة نهرية مُتشعِّبة، تخلَّلها طغيان محيط التيثس في بعض الفترات؛ ما أدى إلى ترسيب الصخور الجيرية والصخور الدولوميتية كما في صخور تكوين البرج في العصر الكامبري. في نهاية العصر الأوردوفيشي، ساد الترسيب البحري في المنطقة، ولكنَّ الترسيب القاري الذي يُستدَلُّ عليه بصخور العصر البيرمي عاد مَرَّة أُخرى.

صخور حِقبة الحياة المُتوسِّطة Mesozoic Rocks

تمتد أعمار صخور حِقبة الحياة المتوسطة بين 225-65) million years)، وتتكشَّف صخور هذه الحِقبة في أجزاء واسعة من سطح الأردن، وبخاصة الصخور التابعة للعصر الكريتاسي. ففي العصر الترياسي، تكشَّفت الصخور الرملية والغرينية والطينية التابعة له في عدد من المناطق، منها شمال شرق البحر الميت، ووادي الموجب، فضلًا عن تكشُّفات لصخور الجبس في منطقة نهر الزرقاء، أنظر الشكل (30). أمّا صخور العصر الجوراسي فغلب عليها الصخور الجيرية والصخور الدولوميتية، وتكشَّفت في مناطق عديدة، منها شمال العارضة، وغربها، وجنوب غرب البقعة.

أبحث:

أشارت دراسات عديد من الجيولوجيين إلى وجود رسوبيات جليدية جنوب الأردن تتبع الحِقبة القديمة. مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن مفهوم الرسوبيات الجليدية، ومكان وجودها، والعصر الذي تشكَّلت فيه، ثم أعرض نتائج بحثي أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.



الشكل (30): تكشُّف صخور تابعة للعصر الترياسي في وادي مخيرس قرب البحر الميت.

قسَّم العلماء صخور العصر الكريتاسي إلى قسمين، هما: صخور العصر الكريتاسي السفلي التي تُسمّى رمال الكرنب (Kurnub Sandstone)، وتتكوَّن من صخور رملية تتداخل بينها في شمال الأردن صخور جيرية وأُخرى دولوميتية. وصخور العصر الكريتاسي العلوي التي تتكوَّن من صخور جيرية وصخور دولوميتية تعلوها طبقات من الصوّان، والفوسفات، والصخر الزيتي.

تنوَّعت بيئات الترسيب في حِقبة الحياة المُتوسِّطة، وامتازت بطغيان محيط التيثس من شمال الأردن إلى جنوبه، وسيادة البيئة البحرية فيه، وانحسار محيط التيثس، وسيادة البيئة النهرية. وقد امتاز العصر الكريتاسي العلوي بطغيان محيط التيثس في معظم مناطق الأردن، ما عدا بعض أجزائه في أقصى الجنوب؛ لذا توجد صخور الكريتاسي العلوي في معظم أجزاء الأردن، أنظر الشكل (31) الذي يُمثِّل صخورًا جيريةً من العصر الكريتاسي.

الشكل (31): صخور جيرية من العصر الكريتاسي.
أُحدِّد البيئة التي تشكَّلت فيها هذه الصخور.

أبحث:

يُعَدُّ محيط التيثس من المحيطات القديمة التي كانت تفصل بين القارات في العصور الجيولوجية المختلفة، مثل الحِقبة المُتوسِّطة. مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن محيط التيثس من حيث موقِعه، وامتداده، وخصائصه، ثم أكتب تقريرًا عن ذلك، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

أُفكِّرُ

ما أسباب تكوُّن صخور الفوسفات في العصر الكريتاسي العلوي من التاريخ الجيولوجي للأردن؟

صخور حِقبة الحياة الحديثة Cenozoic Rocks

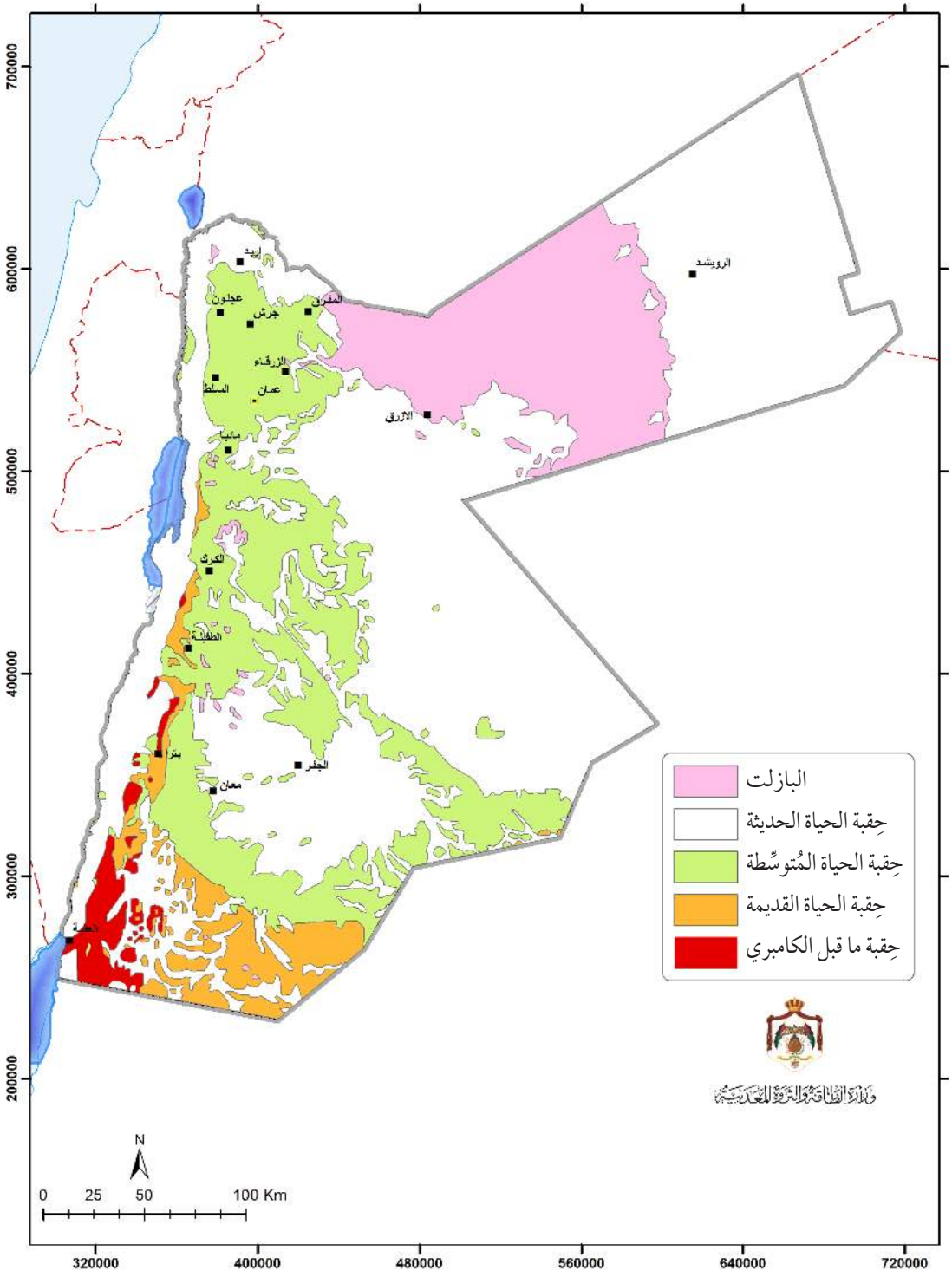
بدأت حِقبة الحياة الحديثة منذ 65 million years حتى اليوم، وتكشَّفت صخور هذه الحِقبة على مساحات واسعة من مناطق الأردن، إذ تتكشَّف صخور الصوّان والصخور الجيرية التابعة لعهد الباليوسين وعهد الإيوسين في أنحاء مختلفة من الأردن بسبب طغيان محيط التيثس وغمره معظم سطح الأردن. في نهاية عهد الإيوسين، تراجع محيط التيثس، وتكشَّف سطح الأرض بسبب عمليات الرفع التي بدأت منذ تكوُّن صدع البحر الميت التحويلي حتى اليوم. ومن ثَمَّ أخذت عمليات الترسيب القاري تشمل رسوبيات حِقبة الحياة الحديثة التي تشكَّلت بعد عهد الإيوسين إلى اليوم، ورسوبيات قارية نهرية وبحرية. ومن صخور هذه الحِقبة: الكونغلوميريت، والصخور الرملية الجيرية، والصخور المِلحية. وقد انتشرت تكشُّفات هذه الحِقبة على طول امتداد البحر الميت، وفي العديد من مناطق الأردن الأُخرى.

تمتاز هذه الحِقبة بوجود صخور البازلت على شكل طفوح بركانية تقع شمال شرق الأردن، وتمتدُّ على مساحة $11\times10^3\ km^2$، وهي جزء من حَرَّة الشام، أنظر الشكل (32)، وتتكشَّف هذه الصخور في العديد من المناطق الأُخرى، مثل: وادي الكرك، ووادي العرب، وعيون زارة، وشيحان، ووادي الحسا.

✓ **أتحقَّق:** أُحدِّد: في أيِّ عهود حِقبة الحياة الحديثة غمر محيط التيثس سطح الأردن؟

الشكل (32): تميُّز البادية الشرقية في الأردن بوجود الصخور البازلتية.

عملت وزارة الطاقة والثروة المعدِنية الأردنية على رسم خريطة جيولوجية تُظهِر تكشُّفات أنواع الصخور المختلفة في الأردن بحسب أعمارها، أنظر الشكل (33).



الشكل (33): خريطة توزُّع الصخور في الأردن بحسب الحِقب التي تتبع لها.

أحدِّد: أين تتكشّف صخور حِقبة ما قبل الكامبري في الأردنّ؟

لتعرُّف سُلَّم الزمن الجيولوجي الذي يُمثِّل الصخور في الأردن، أُنفِّذ النشاط الآتي.

نشاط

بناء سُلَّم زمن جيولوجي في الأردن

يُمثِّل سُلَّم الزمنِ الجيولوجي سجلًّا للصخور والأحداث التي شهدها سطح الأرض منذ نشأتها حتى اليوم، وتُعَدُّ الصخور والأحداث التي شهدها الأردن جزءًا من تلك الأحداث.

خطوات العمل:

1. أرسم جدولًا على لوح من الكرتون يحوي أعمدة تُمثِّل العناوينَ الآتية: الحِقبة، العصر، أنواع الصخور، الأحداث الجيولوجية.

الحِقبة	العصر	أنواع الصخور	الأحداث الجيولوجية
حِقبة الحياة الحديثة	الرباعي (بلستوسين، هولوسين)		
	الثلاثي (باليوسين، إيوسين، أوليغوسين، ميوسين)		
.....			

2. أُقسِّم الجدول إلى صفوف بحسب المُدَّة الزمنية من الأقدم في الأسفل إلى الأحدث في الأعلى.
3. أُكمِل الفراغ في الجدول بما درسْتُهُ عن الصخور والأحداث التي شهدها الأردن.

ملحوظة: يُمكِن الاستعانة بشبكة الإنترنت والمراجع العلمية لتعرُّف المزيد عن ذلك.

التحليل والاستنتاج:

1. أُحدِّد أقدم أعمار قُدِّرت لصخور الأردن.
2. **أُقارِن** بين صخور حِقبة ما قبل الكامبري وصخور حِقبة الحياة المُتوسِّطة من حيث النوع.
3. **أُفسِّر** سبب اختلاف أنواع الصخور في العصر الكريتاسي السفلي عنها في العصر الكريتاسي العلوي.

الموارد المعدِنية في الأردن

Mineral Resources in Jordan

يزخر الأردن بالعديد من الموارد الطبيعية، مثل المعادن والصخور الصناعية التي تتوزَّع على طول امتداد أراضيه، وتكوَّنت على مدار الزمن الجيولوجي؛ فبعضها يتبع حِقبة ما قبل الكامبري، وبعضها يتبع حِقبة الحياة المُتوسِّطة، وبعضٌ آخر يتبع حِقبة الحياة الحديثة. وقد تعرَّفْتُ بعض تلك الموارد (مثل الصخر الزيتي)، وأماكن انتشارها في الأردن، فكم أعمار تلك الموارد؟ وما أنواعها؟ وأين تنتشر في الأردن؟

المعادن والصخور في حِقبة ما قبل الكامبري

Minerals and Rocks in Precambrian

تحتوي صخور الركيزة على العديد من المعادن والصخور التي يُمكِن استغلالها والاستفادة منها في الصناعات المُتنوِّعة، وهذه أبرزها:

الصخور الغرانيتية Granitoid Rocks: توجد الصخور الغرانيتية حول العقبة، وعلى طول امتداد وادي عربة، وهي تتبع لمَعقِد العقبة ومَعقِد العرَبة، أنظر الشكل (34). يُمكِن استخدام تلك الصخور في البناء، وبخاصة في عمل التصاميم (الديكورات)، ورصف الشوارع.

أبحث:

يَرِدُ استخدام مصطلح (المعادن والصخور الصناعية) ومصطلح (الموارد المعدِنية) في كتب الجيولوجيا. مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن الفرق بين المفهومين، وأذكر أمثلة على كلٍّ منهما في الأردن، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عن ذلك مُدعَّمًا بالصور، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

الشكل (34): صخور غرانيت مُتكشِّفة في جنوب الأردن.

الفلسبار Feldspar: يُستخرَج الفلسبار من الصخور الغرانيتية، ويُستخدَم في صناعة الزجاج والسيراميك.

الذهب Gold: يوجد الذهب في صخور نسَق أحيمر البركانية في وادي أبو خشيبة، ووادي الحور، مصاحبًا لعروق مُكوَّنة من الكوارتزبورفيري. يُستخدَم الذهب في الصناعات الإلكترونية، وصناعة الجواهر والحُلِي.

المعادن والصخور في حِقبة الحياة القديمة
Minerals and Rocks in Paleozoic

الزركون Zircon: يوجد معدِن الزركون في صخور رملية تتبع العصر الأوردوفيشي، وتتكشَّف تلك الصخور في وادي المزراب الذي يقع على بُعْد 350 km جنوب عمّان، وعلى بُعْد 100 km شمال شرق العقبة. يُستخدَم الزركون في صناعة قوالب الصبِّ لزيادة مقاومته، وفي تلميع العدسات الطبية، وفي أجهزة الاستشعار عن بُعْد.

رمل السيليكا Silica Sand: يُستخرَج رمل السيليكا من الصخر الرملي أبيض اللون الذي يتكوَّن في الأساس من الكوارتز النقي، ويتبع جزء من الصخر الرملي أبيض اللون العصر الأوردوفيشي، ويُستخرَج من صخور رمل الكرنب التابعة للعصر الكريتاسي السفلي. تتكشَّف تلك الصخور في مناطق عديدة، منها: منطقة قاع الديسي، ومنطقة رأس النقب، أنظر الشكل (35). يُستخدَم رمل السيليكا في عدد من المجالات، مثل: صناعة السيراميك، وصناعة الزجاج، والصناعات الإلكترونية.

أبحث:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن مفهوم العروق، وكيفية تكوُّنها، وأهميتها في تشكُّل المعادن اقتصاديًّا، ثم أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا عن ذلك، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

الشكل (35): صخور الديسي الرملية البيضاء التي تتبع العصر الأوردوفيشي في جنوب الأردن.

أُحدِّد المعدِن الرئيس الذي تتكوَّن منه صخور الديسي الرملية.

النحاس Copper : تتوافر خامات النحاس في المناطق التي توجد فيها الصخور الرملية الدولوميتية التابعة للعصر الكامبري، مثل: خربة النحاس الواقعة في الجزء الشمالي من منطقة فينان، ووادي خالد، وضانا، ومنطقة أبو خشيبة جنوب وادي عربة، أنظر الشكل (36). يُستخدَم النحاس في العديد من الصناعات الكهربائية مثل: صناعة الأسلاك، والأدوات الكهربائية مثل أجهزة التلفاز والمُحوِّلات، وكذلك في مجال البناء مثل صناعة مقابض الأبواب.

الكاؤولين Kaolin: تتكشَّف رسوبيات الكاؤولين في أربع مناطق رئيسة في جنوب الأردن، هي: بطن الغول، والمُدوَّرة، وشرق مدينة القويرة في حسوة، وأُمُّ سَحم. أمّا صخوره فتتبع العصر الأوردوفيشي، أنظر الشكل (37). يُستخدَم الكاؤولين في صناعة السيراميك، والدهانات، والبلاستيك، والمطّاط.

الشكل (36): إحدى خامات النحاس التي يُستخلَص منها عنصر النحاس في ضانا.

✓ **أتحقَّق:** أُحدِّد ثلاثة استخدامات للكاؤولين.

الشكل (37): تكشُّفات معدِن الكاؤولين، حيث يُستخرَج، ويستفاد منه.

المعادن والصخور في حِقبة الحياة المُتوسِّطة
Minerals and Rocks in Mesozoic

الصخر الجيري النقي Pure Limestone: يوجد الصخر الجيري النقي على هيئة صخور الكوكينا التابعة للعصر الكريتاسي العلوي في مناطق عديدة، مثل: القطرانة، والسلطاني، وجرف الدراويش. يُستخدَم الصخر الجيري النقي في العديد من الصناعات، مثل: إنتاج كربونات الكالسيوم، والأسمنت الأبيض، وصناعة الصُّلْب، والورق، والزجاج.

الدولوميت Dolomite: يتوافر الدولوميت مصاحبًا للصخور الجيرية في أعمار مختلفة، مثل: العصر الكامبري، والعصر الكريتاسي.وهو يتكشَّف في مناطق عديدة، مثل: وادي غور حديثة غرب الكرك، ورأس النقب شمال العقبة. يُستخدَم الدولوميت في مجالات عديدة، مثل: الزراعة، والخلطات الأسمنتية.

المعادن والصخور في حِقبة الحياة الحديثة
Minerals and Rocks in Cenozoic

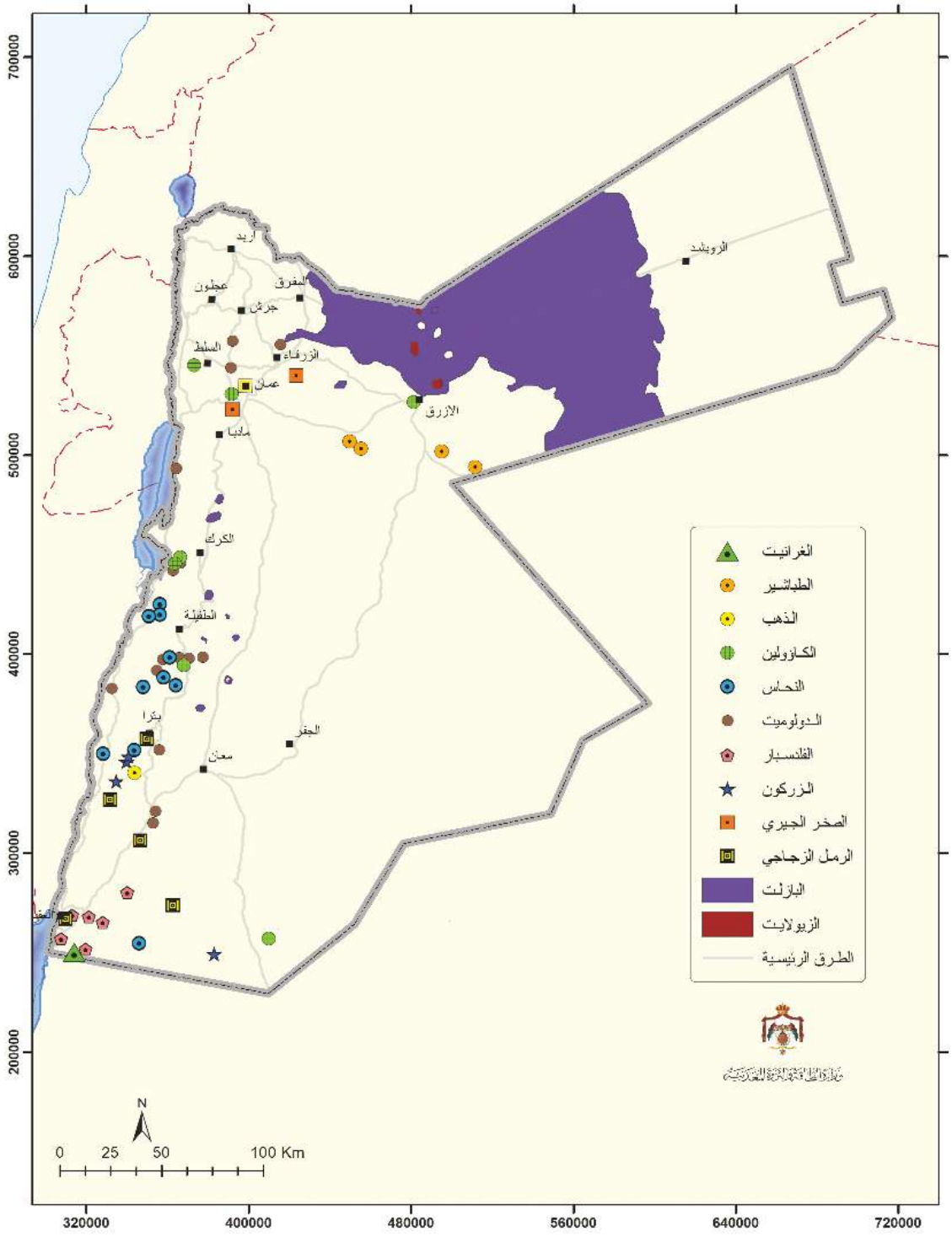
الطباشير Chalk: يوجد صخر الطباشير في العديد من التكوينات الجيولوجية الطبقية التابعة للعصر الكريتاسي العلوي، وأيضًا في حِقبة الحياة الحديثة، مثل: منطقة العمري-الضاحكية جنوب شرق الأزرق، ومنطقة قصر الحرّانة شرق عمّان، أنظر الشكل (38). تُستخدَم الطباشير في عدد من الصناعات، مثل: الدهانات، والأسمنت، والزراعة.

الزيوليت Zeolite : ينتج معدِن الزيوليت من التجوية الكيميائية للطَّفِّ البركاني المُتكشِّف في وسط شرق الأردن وشماله، مثل جبل الأرتين شمال شرق الأزرق. يُستخدَم الزيوليت في الزراعة سمادًا ومُحسِّنًا للتربة، وتنقية المياه العادمة، والأسمنت.

أُعِدُّ فِلْمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يُبيِّن أهم المعادِن والصخور في الأردن ومواقعها، مُضمِّنًا إيّاه صورًا توضيحيةً، ثم، أشاركه زملائي/ زميلاتي في الصف.

الشكل (38): طبقات من الطباشير في منطقة العمري-الضاحكية التي تتبع حِقبة الحياة الحديثة.

البازلت Basalt: يتكشَّف البازلت الذي يتبع حِقبة الحياة الحديثة في شمال شرق الأردن ووسطه مثل جبل شيحان، ويوجد في الجنوب على شكل قواطع. يُستخدَم البازلت في صناعة الصوف الصخري، وفي البناء، أنظر الشكل (39) .



الشكل (39): خريطة تُبيِّن مناطق وجود بعض الموارد المعدِنية في الأردن.

أربط بين الموارد المعدِنية في حِقبة الحياة القديمة وأماكن توزُّعها.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** **أُقارِن** بين مَعقِد العقبة ومَعقِد العرَبة من حيث عمر الصخور، وأماكن تكشُّفها.
2. **أُفسِّر** سبب تكوُّن سطح التسوية بين صخور الركيزة وصخور حِقبة الحياة القديمة.
3. **أستنتج:** تتكوَّن صخور العصر السيلوري من الغَضار. ما بيئة الترسيب المُكوِّنة لتلك الصخور؟
4. أُحدِّد الأماكن التي يتكشَّف فيها صخر الجبس في الأردن، وتتبع العصر الترياسي.
5. **أُناقِش** سبب انتشار الصخور الجيرية في معظم أجزاء سطح الأردن.
6. أذكر فائدتين لرمل السيليكا.
7. أُحدِّد أماكن وجود الذهب في الأردن، والمُدَّة الزمنية التي تتبعها.

الإثراء والتوسُّع

السياحة الجيولوجية في الأردن
Geotourism in Jordan

تُعرَّف السياحة الجيولوجية بأنَّها أحد أنواع السياحة التي تُعْنى بالترويج للمظاهر والتراكيب الجيولوجية والمورفولوجية، وحفز السيّاح على زيارة المواقع الجيولوجية من دون تعريضها للتلف أو التشويه. تشمل السياحة الجيولوجية التضاريس، والتراكيب الجيولوجية، والصخور، والمعادن، والأحافير، والمناظر الطبيعية، وكذلك المتاحف الجيولوجية.

لتفعيل السياحة الجيولوجية في الأردن فوائد كثيرة، منها: التعريف بالتكشُّفات الجيولوجية الفريدة من نوعها في الأردن، و زيادة الدخل السياحي، وإيجاد فرص عمل للشباب، وتطوير المجتمعات المحلية المحيطة بتلك المواقع، والإسهام في حفظ تلك المواقع من الاندثار بسبب العناية المستمرة بها.

من المناطق الجيولوجية التي يُمكِن ترويجها سياحيًّا: منطقة رم، ومنطقة البحر الميت، وامتداد حَرَّة الشام شمال شرق الأردن، ومغارة برقش، والصخور والوديان في وادي عربة.

الكتابة في الجيولوجيا

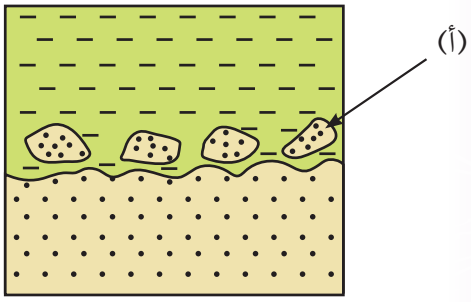
مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة، أبحث عن معلومات تتعلَّق بأحد المواقع الجيولوجية التي يُمكِن ترويجها سياحيًّا، ثم أكتب بحثًا عنها باستخدام العرض التقديمي، وأُدعِّمه بالصور، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

السؤال الأوَّل: أختار رمز الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. تتكوَّن معظم غازات السَّديم من:
   أ) الهيليوم والأكسجين.
   ب) الهيدروجين والأكسجين.
   ج) الهيدروجين والهيليوم.
   د) الهيدروجين والنيتروجين.

2. المبدأُ الذي نصُّه: «كل مجموعة من الطبقات الصخرية المتعاقبة تكون فيها الطبقة السفلى هي الأقدم، والطبقة العليا هي الأحدث» هو:
   أ) الاحتواء.
   ب) الترسيب الأفقي.
   ج) القاطع والمقطوع.
   د) التعاقب الطبقي.

3. المبدأ الذي تدلُّ عليه الصخور المشار إليها بالرمز (أ)، ويستفاد منه في تحديد أعمارها النسبية هو:



   أ) القاطع والمقطوع.
   ب) الاحتواء.
   ج) التعاقب الطبقي.
   د) تعاقب المجموعات الحيوانية والمجموعات النباتية.

4. يتبع العصر الجوراسي حِقبة:
   أ) ما قبل الكامبري.
   ب) الحياة القديمة.
   ج) الحياة المُتوسِّطة.
   د) الحياة الحديثة.

5. إحدى الآتية تُمثِّل امتداد أعمار صخور الركيزة في الأردن:
   أ) (800-540) million years.
   ب) (540-225) million years.
   ج) (225-65) million years.
   د) 65 million years - الآن.

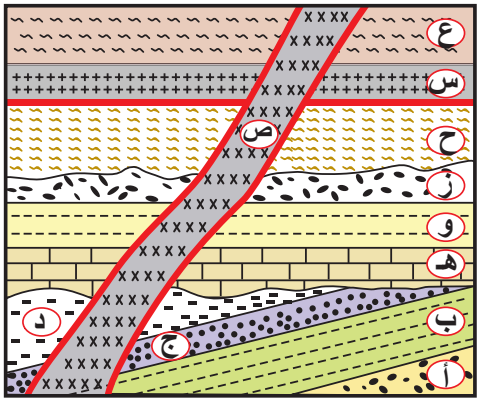
6. العصر الجيولوجي الذي لا توجد فيه تكشُّفات صخرية تابعة له في الأردن هو:
   أ) الكامبري. ب) الكريتاسي.
   ج) الثلاثي. د) الديفوني.

7. أحد المعادن الآتية ينتج من تجوية الطَّفِّ البركاني، ويُستخدَم في تنقية المياه العادمة:
   أ) الجبس. ب) الفلسبار.
   ج) الدولوميت. د) الزيوليت.

8. أحد العناصر المشعة الآتية يُستخدَم في تحديد الأعمار المُطلَقة للصخور:
   أ) الليثيوم (^{8}Li). ب) اليود (^{131}I).
   ج) الكوبالت (^{60}Co). د) الروبيديوم (^{87}Rb).

السؤال الثاني:

يُبيِّن الشكل الآتي تعاقبات لصخور رسوبية (أ، ب، ج، د، هـ، و، ز، ح، ع)، وقاطعًا ناريًّا (ص)، وطفحًا بركانيًّا (س)، علمًا بأنَّ عُمر الطفح البركاني (س) 35 million years، وعُمر القاطع الناري (ص) 30 million years. أدرس الشكل جيِّدًا، ثم أُجيب عمّا يليه من أسئلة:



أ) **أَصِف** الأحداث الجيولوجية الواردةَ في الشكل من الأقدم إلى الأحدث.

ب) أُحدِّد المبادئ التي اعتمدْتُها في ترتيب الأحداث الجيولوجية.

ج) أُحدِّد سطوح عدم التوافق الواردةَ في الشكل.

د) أُحدِّد العُمر المُطلَق للطبقة (ع).

السؤال الثالث: أُكمِل الفراغ بما هو مناسب من المصطلحات في ما يأتي:

أ) ..... : مبدأ ينصُّ على أنَّ «كل طبقة أو مجموعة طبقات من الصخور الرسوبية تحتوي على أحافير مُحدَّدة من الحيوانات والنباتات، تختلف عن تلك الموجودة في الطبقات الأقدم والأحدث».

ب) ..... : سطح يفصل بين صخور رسوبية حديثة ترسَّبت فوق صخور نارية، أو صخور مُتحوِّلة قديمة.

ج) ..... : سطح يفصل بين طبقات رسوبية مائلة في الأسفل تقع فوقها طبقات رسوبية أفقية.

د) ..... : مبدأ يُستخدَم في تعرُّف امتداد الطبقات عند تعرُّضها لعمليات حَتٍّ وتعريةٍ، أو في عملية المضاهاة الصخرية.

هـ) ..... : سطح يفصل بين صخور الركيزة المُكوَّنة من الصخور النارية والصخور الرملية التابعة لحِقبة الحياة القديمة.

و) ..... : عملية تلقائية تُحلَّل فيها ذرات العناصر المشعة، وتتحوَّل إلى ذرات عناصر مستقرة، أو أكثر استقرارًا وإنتاجًا للطاقة.

ز) ..... : الزمن اللازم لاضمحلال نصف ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة في العيِّنة إلى نظيرة وليدة أكثر استقرارًا.

السؤال الرابع:

أُفسِّر كلًّا ممّا يأتي تفسيرًا علميًّا دقيقًا:

أ) يُشترَط لاستخدام طرائق الاضمحلال الإشعاعي في التأريخ المُطلَق أنْ يكون النظام الإشعاعي مغلقًا .

ب) تُستخدَم طرائق الاضمحلال الإشعاعي في تقدير أعمار الصخور النارية.

ج) تقاس الأعمار المُطلَقة لصخور القمر لتحديد عُمر الأرض.

د) تُعَدُّ صخور العصر الكريتاسي العلوي أكثر الصخور انتشارًا في الأردن.

السؤال الخامس:

أُقارِن بين التأريخ النسبي والتأريخ المُطلَق من حيث تحديد أعمار الصخور.

السؤال السادس:

أستنتج الفائدة من وجود سُلَّم زمن جيولوجي في الأردن.

السؤال السابع:

أحسُب عُمر صخر غرانيتي يحتوي معدِن البيوتيت فيه على 12.5% من البوتاسيوم (^{40}K)، و87.5% من الأرغون (^{40}Ar)، علمًا بأنَّ عُمر النصف للبوتاسيوم (^{40}K) هو (1.25) billion years.

السؤال الثامن:

أستنتج: هل يُمكِن استخدام الكربون (^{14}C) في تحديد عُمر أحفورة ديناصور؟ لماذا؟

السؤال التاسع:

أُقوِّم العبارة الآتية: يعتمد تطبيق مبادئ تحديد العُمر النسبي واستخدامها على التفكير المنطقي في تشكُّل الصخور والأحداث الجيولوجية.

(أ)

الاضمحلال الإشعاعي Radioactive Decay: عملية تلقائية تُحلَّل فيها ذرات العناصر المشعة، وتتحوَّل إلى ذرات عناصر مستقرة، أو أكثر استقرارًا ويتم فيها إنتاج طاقة.

(ت)

تأثير دوبلر Doppler Effect: ظاهرة سُمِّيت باسم العالِم دوبلر، وفيها يظهر تغيُّر تردُّد الصوت لجسم مُتحرِّك وطوله الموجي اعتمادًا على اتجاه حركته بالابتعاد عنّا، أو بالاقتراب منّا.

التأريخ المُطلَق Absolute Dating: طريقة لحساب عُمر الصخور والمعادن التي تحوي نظائر مشعة بشكل دقيق ومُحدَّد. وهو يُمثِّل عدد السنوات التي انقضت منذ تشكُّل المعدِن أو الصخر، وانحباس النظيرة الأُمِّ المشعة داخله حتى اليوم.

التأريخ النسبي Relative Dating: ترتيب الأحداث الجيولوجية التي مرَّت بسطح الأرض ترتيبًا زمنيًّا من الأقدم إلى الأحدث.

التمايز Differentiation: عملية فصل المُكوِّنات المختلفة لجسم ما، وفيها تترسَّب أكثر المواد كثافة في الأسفل، وترتفع أقلُّ المواد كثافة إلى السطح.

(س)

سطح التسوية Peneplanation: سطح يفصل بين صخور الركيزة المُكوَّنة من الصخور النارية والصخور الرملية التابعة لحِقبة الحياة القديمة؛ نتج عن عمليات الحَتِّ والتعرية التي أدَّت إلى تسوية صخور الركيزة في كثير من المناطق في الأردن.

سُلَّم الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale: ترتيب زمني يُنظِّم الأحداث الجيولوجية التي تعاقبت في تاريخ الأرض الطويل من الأقدم إلى الأحدث ، ويُقدِّم وصفًا للتطوُّر الجيولوجي والتغيُّر الحيوي فيها.

السنة الضوئية Light Year: وحدة قياس فلكية تُستخدَم لوصف المسافات البعيدة بين الأجرام السماوية، وتُعرَّف بأنَّها المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة ، وتُعادِل $(9.4) \times 10^{12}$ km.

(ص)

صخور الركيزة Basement Rocks: أقدم الصخور الموجودة في الأردن التي تتبع حِقبة ما قبل الكامبري، وهي تتكشَّف حول مدينة العقبة على امتداد الجانب الشرقي لوادي عربة، وجنوب شرق البحر الميت، وتتكوَّن في معظمها من صخور نارية ذاتِ تركيب غرانيتي.

(ع)

عُمر النصف Half-Life: الزمن اللازم لاضمحلال نصف عدد ذرات النظيرة الأُمِّ المشعة في العيِّنة إلى نظيرة وليدة أكثر استقرارًا أو مستقرة.

(ف)

الفرسخ الفلكي Parsec: وحدة قياس المسافات الكبيرة بين النجوم والمجرات ، وهو يساوي 3.1×10^{13} km = (3.26 light years).

(م)

مبدأ الاستمرارية الجانبية Principle of Lateral Continuity: أحد مبادئ التأريخ النسبي للصخور الذي ينصُّ على أنَّ الصخور الرسوبية تمتدُّ جانبيًّا في جميع الاتجاهات على امتداد حوض الترسيب، ويقلُّ سُمْكها تدريجيًّا عند أطراف الحوض، وأنَّ للطبقة الواحدة عُمرًا جيولوجيًّا واحدًا في أيِّ مكان وُجِدت فيه ضمن الحوض الرسوبي.

مبدأ الترسيب الأفقي Principle of Original Horizontality: أحد مبادئ التأريخ النسبي للصخور الذي ينصُّ على أنَّ الرسوبيات ثم الصخور الرسوبية تترسَّب أصلًا على شكل طبقات أفقية؛ ذلك أنَّ الرسوبيات تترسَّب غالبًا على أرض منبسطة أو مستوية في قاع البحار أو المحيطات، وإنَّ وجود الطبقات مائلة أو مطوية مَرَدُّه إلى تأثير قوى تكتونية حدثت بعد عملية الترسيب الأفقي لهذه الطبقات.

مبدأ القاطع والمقطوع Principle of Cross-Cutting Relationships: أحد مبادئ التأريخ النسبي للصخور الذي ينصُّ على أنَّ القاطع هو أحدث عُمرًا من المقطوع؛ سواء أكان القاطع جسمًا ناريًّا، أم صدعًا تكتونيًّا.

مبدأ تعاقب المجموعات الحيوانية والمجموعات النباتية Principle of Faunal and Floral Succession: أحد مبادئ التأريخ النسبي للصخور الذي ينصُّ على أنَّ كل طبقة أو مجموعة طبقات من الصخور الرسوبية تحوي أحافير مُحدَّدة من الحيوانات والنباتات، تختلف عن تلك الموجودة في ما هو أقدم وأحدث منها من طبقات.

المجرات الإهليليجية Elliptical Galaxies: مجرات تمتاز بشكلها الإهليليجي الذي يختلف في شِدَّة استطالته؛ فقد يكون شديد الاستطالة، أو قليل الاستطالة بحيث يكون أقرب إلى الشكل الكروي. وهذه المجرات تُعَدُّ أقدم المجرات، وأكبرها عُمرًا.

المجرات الحلزونية Spiral Galaxies: مجرات تترتَّب فيها النجوم في أذرع حلزونية حول نواتها، وهي تُعَدُّ من المجرات مُتوسِّطة العُمر.

المجرات العملاقة Giant Galaxies: مجرات تمتاز بوجود عدد هائل من النجوم قد يصل إلى مليارات من النجوم، بِغَضِّ النظر عن شكلها.

المجرات غير المُنتظَمة Irregular Galaxies: مجرات تمتاز بعدم انتظام شكلها ، وباحتوائها على كمِّيات كبيرة جدًّا من الغازات بين نجومها، وهي أحدث المجرات، وأقلُّها عُمرًا.

المجرات القزمة Dwarf Galaxies: مجرات تمتاز بعدد نجومها القليل الذي يتراوح بين 1000 نجم وعِدَّة ملايين من النجوم، بِغَضِّ النظر عن شكلها.

قائمة المراجع

أوّلًا- المراجع العربية:

1. أبو العلا، هدير (2019): **علم الأرض**، المجموعة العربية للنشر والتدريب، القاهرة، مصر.

2. خوري، هاني (2006): **المعادن والصخور الصناعية في الأردن: توافرها وخصائصها ونشأتها**، منشورات الجامعة الأردنية.

3. رزق، هاني (2005): **موجز تاريخ الكون**، دار الفكر، دمشق، سوريا.

4. سفاريني، غازي، وعابد، عبد القادر (2012): **أساسيات علم الأرض**، ط (1)، دار الفكر، عمّان، الأردن.

5. صوالحة، حكم (2019): **الجيولوجيا العامة**، ط (2)، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، عمّان، الأردن.

6. الصوفي، ماهر (2008): **الموسوعة الكونية الكبرى**، شركة أبناء شريف الأنصاري للطباعة والنشر والتوزيع، بيروت، لبنان.

7. عابد، عبد القادر (2016): **جيولوجية الأردن وبيئته ومياهه**، دار وائل للطباعة والنشر والتوزيع، عمّان، الأردن.

8. علان، مأمون (2014): **السياحة الجيولوجية في الأردنّ**، منشورات الجامعة الأردنية.

9. النجار، زغلول (2005): **الأرض في القرآن الكريم**، ط (1)، دار المعرفة للطباعة والنشر والتوزيع، بيروت، لبنان.

10. النوافلة، هاني (2018): **جيولوجية إقليم البترا**، مجلة جامعة الحسين بن طلال للبحوث، المجلد (4)، العدد (1).

11. هويت، بول- سوشكوي، جون- هويت، ليسلي: عدنان عثمان الصيفي، سلسلة الكتب الجامعية المترجمة- **العلوم السياسية (مفاهيم العلوم الفيزيائية)**، العبيكان، الرياض، المملكة العربية السعودية.

ثانيًا- المراجع الأجنبية:

1. Berry, K., & Fronk R., (2007): **Earth Science**, Harcourt Education Company.
2. Brooks, B., & Jenner J., (2009): **Earth Science**, Pearson Education, Lake Street New jersey.
3. Heithaus, M., & Ogle, D., (2021): **Space Science,** Houghton Mifflin Harcourt Education Company.
4. Jarrar, G., & Ghanem, H. (2021): **Neoproterozoic Crustal Evolution of the Northern-most Arabian-Nubian Shield, South Jordan,** Chapter from book: The Geology of the Arabian-Nubian Shield, Springer .
5. Mineral Resources in Jordan (2020): **Investment Opportunities,** the Ministry of Energy and Mineral Resources.
6. Powell, A. Abed, A. & Jarrar, G:(2015). **Ediacaran Araba Complex of Jordan,** GeoArabia, v. 20, no. 1, p. 99-156.
7. Tarbuck, E. (2014): **Foundations of Earth Science**, 7th ed., Pearson Education Limited.
8. Tarbuck, E.J. & Lutgens, F.K. (2017): **Earth. An Introduction to Physical geology**, 12th ed., Pearson Education Limited.

Collins