المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

علوم الأرض والبيئة

الصف الحادي عشر علمي - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

11

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

د. محمود عبد اللطيف حبوش　　لؤي أحمد منصور　　سكينة محي الدين جبر

روناهي «محمد صالح» الكردي (منسقًا)

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

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

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

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

قـرّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هذا الكتـاب في مدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعها، بنـاءً على قـرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطـــوير المناهـــج في جلسـته 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.

© Harper Collins 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 - 201 - 5

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2021/6/3430)

373,19

الأردنّ. المركز الوطني لتطوير المناهج

علـــوم الأرض والبيئـــة الصف الحـــادي عشر الفـــرع العلمي: كتاب الطالب: الفصـــل الدراسي الثاني/ المـــركز الوطـــني لتطوير المناهج.– عمّان: المركز، 2021

ج2 (90) ص.

ر.إ.: 2021/6/3430

الواصفات: علوم الأرض والبيئة/ / المناهج/ / التعليم الثانوي/

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

قائمة المحتويات

المقدّمة 5

الوحدة الرابعة: المجرات والكون 7

الدرس 1: المجرة 10

الدرس 2: أنواع المجرات 16

الدرس 3: توسّع الكون 22

الإثراء والتوسّع: مجرة المرأة المسلسلة 28

مراجعة الوحدة 29

الوحدة الخامسة: تاريخ الأرض 31

الدرس 1: نشأة الأرض 34

الدرس 2: التأريخ النسبي للصخور 43

الدرس 3: التأريخ المطلق للصخور 53

الدرس 4: جيولوجية الأردنّ 68

الإثراء والتوسّع: السياحة الجيولوجية في الأردنّ 83

مراجعة الوحدة 84

مسرد المصطلحات 86

قائمة المراجع 89

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدّمة

انطلاقا 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 معينًا للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجاراة أقرانهم في الدول المتقدمة.

يُعَدُّ هذا الكتا ب واحدا من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحلّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وَفقَ أفضل الطرائق المتَّبعة عالَميّا؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لحاجات أبنائنا الطلبة والمعلِّمين.

جاء هذا الكتاب محقِّقا مضامينَ الإطار العام والإطار الخاص للعلوم، ومعاييرها، ومؤشِّرات أدائها المتمثِّلة في إعداد جيلٍ محيطٍ بمهارات القرن الواحد والعشرين، وقادر على مواجهة التحديات، ومعتزٍّ -في الوقت نفسه- بانتمائه الوطني. وتأسيسًا على ذلك، فقد اعتمدت دورة التعلّم الخماسية المنبثقة من النظرية البنائية التي تمنح الطالب الدور الأكبر في العملية التعلّمية التعليمية، وتوفِّر له فُرَصًا عديدة للاستقصاء، وحلِّ المشكلات، والبحث، واستخدام التكنولوجيا وعمليات العلم، فضلًا عن اعتماد منحى STEAM في التعليم الذي يستعمَل لدمج العلوم والتكنولوجيا، والهندسة، والفن، والعلوم الإنسانية، والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث. يحتوي الجزء الثاني من كتاب علوم الأرض والبيئة للصف الحادي عشر "الفرع العلمي" على وحـدتين دراسيّتين، همـا: المجرات والكون، وتاريخ الأرض، وتحتوي كل وحدةٍ منها على تجربة استهلالية، وتجاربَ وأنشطةٍ استقصائية متضمَّنة في الدروس، وقضايا البحث، والموضوع الإثرائي في نهاية كل وحدة. يُضاف إلى ذلك الأسئلة التقويمية، بَدْءًا بالتقويم التمهيدي المتمثِّل في طرح سؤال ببداية كل وحدة ضمن بند (أتأمَّل الصورة)، وانتهاءً بالأسئلة التكوينية المتنوعة في نهاية كل موضوع من موضوعات الدروس، فضلًا عن الأسئلة التقويمية في نهاية كل درسٍ، والتقويم الختامي في نهاية كل وحدة، التي تتضمَّن أسئلة تثير التفكير. وقد أُلحِق بالكتاب كتاب الأنشطة والتجارب العملية، الذي يحتوي على جميع التجارب والأنشطة الواردة في كتاب الطالب وأسئلة مثيرة للتفكير؛ لتساعده على تنفيذها بسهولة. ونحن إذ نقدم هذه الطبعة من الكتاب، فإنا نأمل أن يسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية المتعلم، وتنمية اتجاهات حُبِّ التعلّم ومهارات التعلّم المستمر، فضلًا عن تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بملاحظات المعلمين.

واللّه ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوحدة 4

المجرات والكون

Galaxies and the Universe

قال تعالى:

﴿وَٱلسَّمَآءَ بَنَيۡنَٰهَا بِأَيۡيْدٖ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ﴾

(الذّاريات: 47)

أتأمّل الصّورة

يظهر جزء من مجرة درب التبانة في السماء على شكل حُزمة باهتة من الضوء، ممتدّة من الشمال الشرقي نحو الجنوب الغربي، فما مجرة درب التبانة؟ وإلى أي نوع من المجرات تنتمي؟

الفكرة العامّة:

تُعَدّ المجراتُ وحدةَ البناء الأساسيةَ للكون، وتختلف في أشكالها وأحجامها وأعمارها، وكيفيّة حركتها.

الدرس الأول: المجرة

الفكرة الرئيسة: المجرة تجمّعٌ هائلٌ من النجوم، والكواكب والأقمار والكُوَيكِبات والنيازك والغازات، والأغبِرة الكونية، التي يرتبط بعضُها ببعض بقوى جاذبية، والمجرات تتراوح بين القزمة والعملاقة.

الدرس الثاني: أنواع المجرات

الفكرة الرئيسة: تُصنَّف المجراتُ اعتمادا على أشكالها إلى مجرات إهليليجية، ومجرات حلزونية، ومجرات غير منتظَمة.

الدرس الثالث: توسّع الكون

الفكرة الرئيسة: تتحرّك المجرات مبتعدةً بعضُها عن بعض، وتُظهر أطيافها انزياحا نحو الأحمر.

نمذجة المجرات

يتكوّن الكون من مليارات المجرات التي تتخذ أشكالا مختلفة، وتُعَدّ ضخامةُ المجرات وسحرُ أشكالها وألوانها من الأمور المثيرة فيه.

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

إرشادات السّلامة:

- الحذر عند استعمال الوعاءين الزجاجيّين، وصبغات الطعام المختلفة.

خطوات العملِ:

1. أملأ نصف الوعاء الأول بالحليب.
2. أضيفُ فوق الحليب أربعَ قطرات من كل لون من صبغات الطعام بشكل عشوائي في أماكنَ متفرقة.
3. أسكُب القليلَ 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، وألاحظ ماذا يحدث، أدوّن ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. **أصِف:** ماذا حدث عند غَمْسِ قطعة القطن المُبلَّلة بسائل تنظيف الأطباق في منتصف وعاء الحليب؟
2. أحدّد: إذا علمتُ أن ما قمتُ به كان تصميمَ نموذجٍ لمجرة، ماذا تمثل قطرات صبغة الطعام، وماذا يمثل الحليب؟
3. **أرسُم** تداخُلَ الألوان الناتجَ في طبق الحليب، علما بأن ما أرسمه يمثل شكلَ المجرة وألوانَها.

الفكرة الرئيسة:
المجرة تجمّعٌ هائلٌ من النجوم، والكواكب والأقمار والكُوَيكِبات والنيازك والغازات، والأغبِرة الكونية، التي يرتبط بعضُها ببعض بقوى جاذبية، والمجرات تتراوح بين القزمة والعملاقة.

نتاجات التعلّم:
- أتعرّف مفهوم المجرة.
- أصِف بدقة شكل مجرة درب التبانة بوصفها مثالا على المجرات.
- أرسُم موقع النظام الشمسي في مجرة درب التبانة؛ مراعيا أبعادهما.

المفاهيم والمصطلحات:
المجرات القزَمة Dwarf Galaxies
المجرات العملاقة Giant Galaxies

ما المجرة؟ What is a Galaxy?

تعلّمت في صفوف سابقة أن الشمس ومجموعةَ الأجرام التي تدور حولها كالكواكب ومنها كوكبُ الأرض، وما يتبعها من أقمار، تقع في مجرة تُسَمّى مجرةَ درب التبانة، فما المقصودُ بالمجرة، وما خصائصُ مجرة دربِ التبانة؟

تُعرَفُ المجرةُ Galaxy بأنها تجمُّعٌ هائلٌ من مليارات النجوم المختلفة في خصائصها، والكواكب والأقمار والكُوَيكِبات والنيازك والغازات، والأغبِرة الكونية، التي يفصل بينها مسافات هائلة. وتُعَدّ المجراتُ الوحدةَ الأساسية في بناء الكون، وترتبط مكوّنات المجرة بعضُها ببعض بقوى جاذبية، فتتحرك في الكون وحدةً واحدة.

تُعَدّ مجرةُ المرأة المسلسلة Andromeda أولَ المجرات التي تم رصدُها من الأرض من قبل العالِم الفلكيّ المسلم عبد الرحمن الصوفي. أنظر الشكل (1).

✓ **أتحقّق:** أوضّح المقصود بالمجرة.

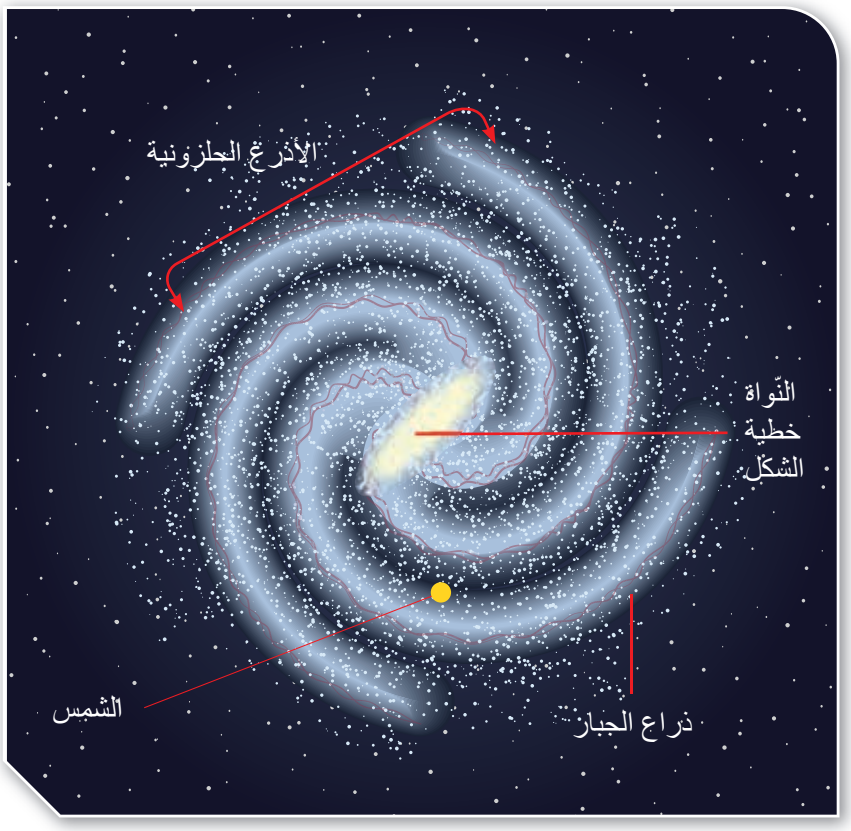
الشكل (1): مجرة المرأة المسلسلة.

يُطلِق العلماءُ على المجرات التي تتكوّن من 1000 نجم إلى عدة ملايينَ من النجوم المجراتِ القزَمةَ Dwarf Galaxies كمجرة ماجلان الصّغرى، وقد تتكوّن المجرة من مليارات النجوم، فيُطلَقُ عليها المجراتُ العِملاقةُ Giant Galaxies وتُعَدّ مجرةُ درب التبانة مجرةً عِملاقةً.

مجرة درب التبانة The Milky Way Galaxy

تُعَدّ مجرةُ درب التبانة من المجرات متوسّطة العُمر ذاتِ الشكل الحلزوني، تضمّ 200–400 مليار نجم تقريبا، وتكون النجوم فيها منفردةً كالشمس، أو على شكل أنظمة نجمية كالنجوم الثنائية، والعناقيد النجمية، أو على شكل كوكبات نجمية، وتنتشر في أطرافها سحاباتٌ من الغبار والغازات الكَونيّة.

تتكوّن مجرة درب التبانة من أذرُع حلزونيةٍ عملاقةٍ تدور من الغرب إلى الشرق حول نَواة خطّية الشكل، تقع في مركز المجرة. أنظر الشكل(2). وتقع الشمس على إحدى أذرُعِ المجرة، وتُسمّى ذراعَ الجبّار، وتبعُد حوالي 27 ألفَ سنةٍ ضوئيةٍ عن نَواة المجرة.



الشكل (2): مجرة درب التبانة.

أبحثُ:

تقع الشمس على ذراع الجبار في مجرة درب التبانة، أبحث في مصادر المعرفة المتوافرة لدي عن أسماء الأذرُع الأخرى في مجرة درب التبانة، وأعرض نتائج بحثي أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

عند رصد مجرة درب التبانة، يُلاحَظُ أن النجوم تتجمّع في مركزها، ويعتقد العلماءُ أن سبب ذلك وجود ثُقبٍ أسودَ في المركز.

وقد سُمِّيت مجرة درب التبانة باللغة الإنجليزية Milky Way (درب اللبانة) بسبب شكلها الذي يشبه خطّا من الحليب في السماء عند رؤية جزء منها من الأماكن غير المضاءة. أنظر الشكل(3) الذي يبيّن جزءًا من مجرة درب التبانة عند رصدِها في سماء وادي رَم.

أبحثُ:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحث عن سبب تسميةِ العرب لمجرة (Milky Way) بمجرة درب التبانة، وأعرض نتائج بحثي أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

الشكل (3): جزء من مجرة درب التبانة كما تظهر في وادي رَم.
أصِف شكلَ مجرة درب التبانة كما تظهر في السماء.

(أ)

(ب)

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

يختلف شكلُ مجرة درب التبانة، فتظهر من المسقَط الجانبي على شكل قُرص ضيّق، فيه انتفاخٌ من الوسط. أنظر الشكل (4/ أ). وتظهر من المسقَط الرأسي على شكل حلزونيّ لولبيّ. أنظر الشكل (4/ ب).

يعتقد العلماء أن مجرة دربِ التبانة نشأت من اندماج مجرتين إحداهما مجرةٌ قزَمةٌ حديثة، والأخرى مجرةٌ قديمةٌ أكبرُ حجمًا، وذلك قبل 13 مليار سنةٍ تقريبا. وقد استدلوا على صحة اعتقادهم عن طريق دراسة نجومِ المجرة التي أظهرت أن مجرة درب التبانة تتكوّن من نوعين من النجوم: أحدُهما نجومٌ حمراءُ قديمةٌ، والآخرُ نجومٌ زرقاءُ حديثة. أنظر الشكل(5).

أفكّر

يمكِن رصدُ جزءٍ من مجرة درب التبانة في السماء، في الأماكن غير المُضاءَةِ من الأرض. أفكّر كيف يمكنني ذلك، والأرضُ تقع داخلَ هذه المجرة.

✓ **أتحقّق:** أبيّن سبب تسمية مجرتنا Milky Way.

الشكل (5): اندماج مجرتين حلزونيّتين كما حدث في مجرة درب التبانة عند نشأتها.

ولتعرُّف بعضِ خصائص مجرة درب التبانة أنفّذُ النشاط الآتي:

نشاطٌ

خصائص مجرة درب التبانة

لم يستطع علماءُ الفلك التعرف على شكل مجرة دربِ التبانة؛ لأن الأرض جزءٌ منها. وقد تم التوصل إلى خصائص المجرة بوساطة المقاريب (التلسكوبات) الراديوية، والأشعةِ تحت الحمراء المنبعثةِ عنها، ومقارنتها بأشكال المجرات الأخرى. ويمثل الجدول الآتي بعض البيانات التي تمّ جمعُها عن المجرة، أدرسه جيّدا، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه.

خصائص مجرة درب التبانة	
نوع المجرة	حلزونية خطّية النّواة
العُمر	13 مليار سنة
القُطر	100000 سنة ضوئية *(ly)
السُّمْك	10000 سنة ضوئية *(ly)
الكتلة	5.8×10^{11} ضعف كتلة الشمس
زمن دوران المجرة حول نفسها	250 مليون سنة
زمن دوران الشمس حول مركز المجرة	225 مليون سنة
*السنة الضوئية (ly) Light Year: هي وحدة قياس تُستخدَم لوصف المسافات البعيدة بين الأجرام السماوية، وتُعرف بأنها المسافةُ التي يقطعها الضوء في سنة واحدة، وتعادل 9.4×10^{12} km	

التحليل والاستنتاج:

1- أبيّن نوع مجرة درب التبانة.

2- **أحسُب** قُطْرَ مجرة درب التبانة بوحدة km.

3- **أحسُب** عددَ الدورات التي أكملَتْها الشمس حول مركز مجرة درب التبانة حتى الآن، علما بأن عُمرَ الشمس كما يقدّره علماء الفلك 4.7 مليار سنة تقريبا.

4- **أتوقّع**: ماذا يُطلَق على المدة الزمنية التي تُكمِل فيها الشمس دورةً كاملة حول مركز المجرة؟

مراجعة الدرس

1. **أفسّر**: لماذا تتجمّع النجوم في مركز مجرةِ درب التبانة؟
2. **أقارن** بين المجرات القزَمةِ، والمجرات العملاقة من حيثُ عددُ النجوم التي تحويها.
3. أبيّن كيفيّة نشأة مجرةِ درب التبانة بحسب اعتقاد العلماء.
4. أدرُس الشكل الآتيَ الذي يبيّن مجرة درب التبانة، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه.

أ. أحدِّد عدد الأذرُع في المجرة.

ب. **أصِف** شكل النَّواة في مركز المجرة.

جـ. **أرسُم** موقع الشمس في المجرة مراعيًا أبعادَهما.

د. **أصِف** حركة الأذرُع الحلزونية حول مركز المجرة.

الدرس 2

أنواع المجرات
Types of Galaxies

الفكرة الرئيسة:
تُصنَّفُ المجراتُ اعتمادا على أشكالها إلى مجرات إهليليجيـــة، ومجـرات حلزونية، ومجرات غيرِ منتظَمة.

نتاجات التعلّم:
- أتعرّف المجرات من حيث: أنــواعُها، وأشكالُها، ومكوّناتُها.
- أصنّف المــجرات باستخدام صوَر فلكية.

المفاهيم والمصطلحات:
المجرات الإهليليجية
Elliptical Galaxies
المجرات الحلزونية
Spiral Galaxies
المجرات غيرُ المنتظَمة
Irregular Galaxies

تصنيف المجرات Galaxies Classification

تعلّـمت أن المــجرة هي الوحـدة الأساسية في بناء الكون، الذي يحــوي على (10^{8} – 10^{11}) مجرة تقريبا، وقد قام العلماء الفلكيون بدراسة المجراتِ، ولاحظوا أنها تختلف في أشكـالها، وأحجامها، وأعمارهـا، وشدّةِ إضاءتها وسطوعها، وعملوا على تصنيفها لتسهيل دراستها، ومن أشهر التصنيفات تلك التي قام بها العالِم الفلكيُّ إدوين هابل (Edwin Hubble).

استخدم إدوين هابل مِقرابا فلكيّا لدراسة المجرات تميّزَ عن غيره من المقاريب بأنه أعطى أوضَحَ رؤيةٍ للكون وأفضلَها. وكان ذلك باستخدام مَرصَدِ جبل ويلسون في الولايات المتحدة الأمريكية، واعتمد هابل اختلافَ أشكال المجرات أساسًا في تصنيفها إلى مجرات إهليليجية، ومجرات حلزونية، ومجرات غير منتظَمة. 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): تختلف المجـرات الإهليليجيـة في شـدة استطالتها ويكاد بعضها يقترب من الشكل الكروي.

المجرات الإهليليجية Elliptical Galaxies

تُعَـدّ المجراتُ الإهليليجيةُ Elliptical Galaxies مـن أكـثر المجراتِ في الكون شيوعا، وتتميز بأنها أقدم المجرات وأكبرها عُمرًا، وقد سُمِّيت المجرات الإهليليجية بهذا الاسم؛ لأن شكلها إهليليجي.

تختلف المجرات الإهليليجية في شدة استطالتها، فبعضُها شديدُ الاستطالة، وبعضُها الآخرُ قليلُ الاستطالة، يكاد يقترب من الشكل الكروي في بعض المجرات. واعتمادا على ذلك، قُسِّمَتِ المجراتُ الإهليليجيةُ إلى ثماني فئات:

(E7, E6, E5, E4, E3, E2, E1, E0)، حيث تمثل المجرة E0 أقلَّ المجرات الإهليليجية استطالةً، وأكثرَها مَيْلًا إلى الشكل الكروي. وتمثل E7 أكثرَ المجرات الإهليليجية استطالةً، في حين تندرج بينهما الفئاتُ الأخرى من المجرات الإهليليجية. أنظر الشكل(7).

تحوي معظمُ المجـرات الإهليليجيـة على القليـل من الغـازات، والأغبِرة الكونية بين نجومها، ما يساعد على سهولة رصدِها ومشاهدتِها.

أبحثُ:

تُصنَّفُ بعض المجرات الإهليليجية ضمن المجرات العملاقة. مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحث عن أمثلة على المجرات الإهليليجية العملاقة، وأعرض نتائج بحثي أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

(أ)

(ب)

الشكل (8):
أ- مجرة حلزونية كُرَوية النّواة.
ب- مجرة حلزونية خطّية النّواة.

الرّبط بالتكنولوجيا

تقديرا للعالِم إدوين هابل، سُمِّيَ المِقرابُ المخصّصُ لدراسة الفضاء واستكشافه باسمه، (مِقرابَ هابلَ الفلكيّ). ويُعَدّ مِقرابُ هابلَ من أقوى التقنيات العلمية، التي التَقطت صورا للفضاء خارجَ الغلاف الجوي، وقد أُطلِقَ في عام 1990م بوساطة المكوك الفضائي Discovery من وكالة الفضاء الأمريكية ناسا في مدارٍ حول الأرض، ولا يزال إلى الآن قيدَ التشغيل. ويتميز مِقرابُ هابلَ عن غيره من المقاريب بأنه يمكن استبدالُ المعدّات التالفة فيه، وإضافةُ غيرها، ما يزيد من عمره الافتراضي المقدّر بـ 15 عاما.

أبحث عن الإصلاحات والتحديثات التي أُجريت على مِقرابِ هابلَ، لزيادة جودة الصور التي يلتقطها، وأعمل عرضا تقديميّا لهذه الصور.

المجرات الحلزونية Spiral Galaxies

تمتاز المجرات الحلزونية Spiral Galaxies بأن لها أذرُعًا تلتف حول نواتها بشكل حلزوني؛ ولذلك سُمِّيت بالمجرات الحلزونية، ويُرمَزُ لها بالرمز (S).

تُعَدّ المجرات الحلزونية بأنها متوسّطةُ العُمر، وقد لاحظ العلماء عند رصدها أنها تحوي كمياتٍ كبيرةً من الغازات والأغبِرة الكونية بين نجومها أكبرَ مما تحويه المجراتُ الإهليليجية.

صُنِّفَت المجراتُ الحلزونية إلى نوعين رئيسين اعتمادا على شكل النّواة في مركز المجرة وهما:

مجرات حلزونية كروية النَّواة، ويُرمَز لها بالرمز Spiral Galaxies (S). أنظر الشكل (8/ أ)، ومجرات حلزونية خطّية النّواة ويُرمَز لها بالرمز Spiral Barred Galaxies (SB). أنظر الشكل (8/ ب).

أمّا التصنيفاتُ الفرعيةُ الأخرى للمجرات الحلزونية، فقد اعتمَدت على شدة انفتاح الأذرُع حول نَواة المجرة. فالحرف (a) يمثّل أقلَّ الأذرُع انفتاحا، في حين يمثل الحرف (b) أذرُعا متوسّطةَ الانفتاح. أما الحرف (c)، فيمثّل أذرُعا شديدةَ الانفتاح.

المجرات غير المنتظمة Irregular Galaxies

تُعَدّ المجراتُ غيرُ المنتظَمة Irregular Galaxies مجراتٍ صغيرةً باهتةً غالبا ما يصعب اكتشافها ورصدُها؛ لأنها تحوي كمية من الغازات والأغبِرة الكونية بين نجومها أكثرَ من الأنواع الأخرى من المجرات، وتُعَدّ أحدثَ المجرات عمرًا، ويُرمز لها بالرمز (Irr). وقد سُمّيت بالمجرات غير المنتظمَة؛ لأنها ليس لها شكلٌ منتظَم كباقي المجرات، وتُعَدّ سحابتا ماجلان الكبرى، والصّغرى من المجرات غير المنتظَمة. أنظر الشكل(9).

✓ **أتحقّق:** أبيّن أنواع المجرات الحلزونية اعتمادا على شكل النّواة في مركزها.

الشكل (9): سحابة ماجلان الصّغرى التي تبدي شكلا غيرَ منتظَم.

أفكّر

تُعَدّ مجرةُ درب التبانة مجرةً حلزونية خطّية النّواة، ذاتَ أذرُع متوسّطة الانفتاح. أحدّد: ما الرمز الذي يمثلها؟

أبحثُ:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحث عن مجرات حلزونيةٍ غيرِ مجرة درب التبانة، **أحدّد** أسماءها وبعضَ خصائصها، ثم أعرض نتائج بحثي أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

أعِدُّ فيلما قصيرا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضّح أنواع المجرات المختلفة. وأحرِص على استخدام خاصّية الرد الصوتيِّ فيه لإضافة الشروحات المناسبة لصور هذه المجرات، ثم أشاركه معلّمي، وزملائي في الصف.

رتّبَ العالِم إدوين هابلَ المجراتِ الإهليليجيةَ، والمجراتِ الحلزونية، والمجراتِ غيرَ المنتظمَة في مخطط ليوضح العلاقة بينها، ولتعرّف مخطّط هابلَ في تصنيف المجرات أنفّذ النشاط الآتيَ:

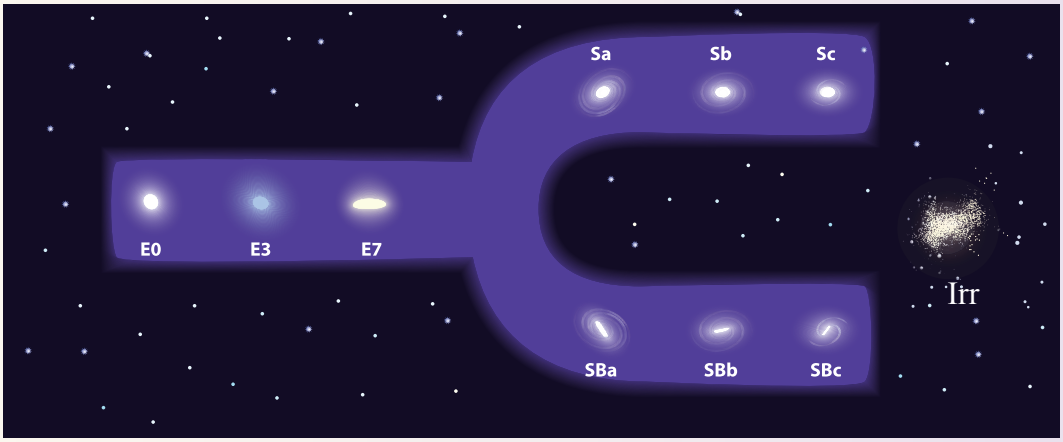
نشاطٌ

تصنيف المجرات

يوضّح الشكل الآتي مخطّطا صمّمه العالِم هابل لدراسة المجرات بأنواعها المختلفة: (الإهليليجية، والحلزونية، وغير المنتظَمة) أتأمل المخطّط جيّدا، وألاحظ شكل المجرات فيه، وكيفية ترتيبها، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه.

زيادة عمر المجرات.

نقصان كمية الغازات والأغبرة الكونية.



التحليل والاستنتاج:

1- **أتوقّع** الاسم الذي أطلقه العالِمُ الفلكي إدوين هابل على المخطّط اعتمادا على شكله.

2- أبيّن رمزَ المجرة التي لها نواة كروية في المركز، وأذرُعَها شديدةَ الانفتاح.

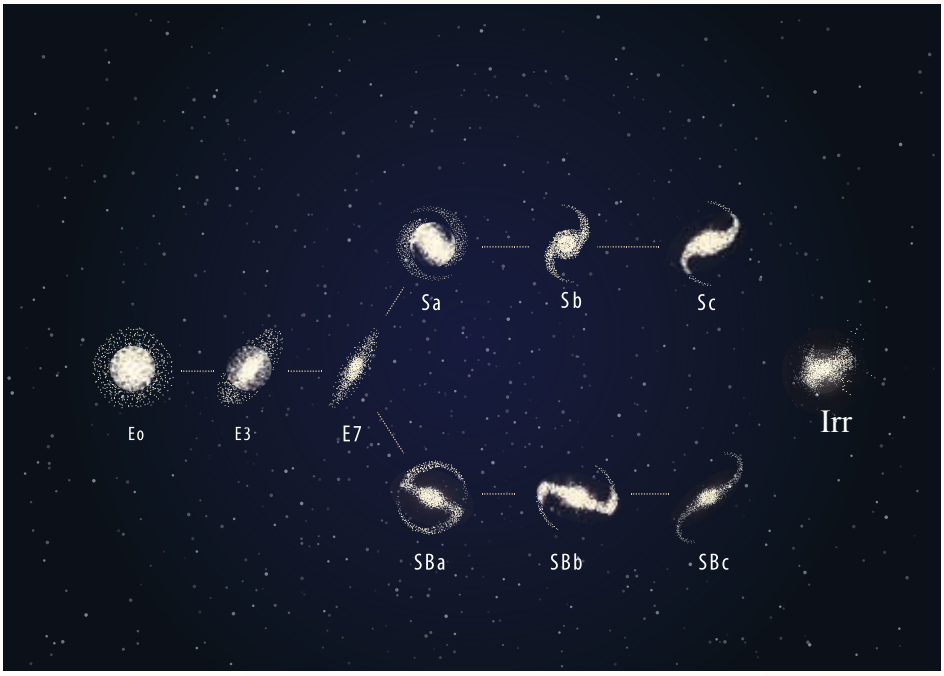
3- **أقارِن** بين المجرة SBa والمجرة Sb من حيث شكلُها، وكميةُ الغازات فيها، وعُمرُها.

4- **أصِف** المجرة E0 موضّحا عمرَها، وكميةَ الغازات والأغبِرة الكونية التي تحويها.

يُسمّى مخطَّطُ هابلَ لتصنيف المجرات «مُخطّطَ الشوكة الرنانة» Hubble's Tuning Fork Diagram و يبين المخطط أن عمر المجرات يزداد وتقل كمية الغازات والأغبِرةُ الكونية فيها كلما انتقلنا من المجرات غير المنتظَمةِ باتجاه المجرات الإهليليجية.

مراجعة الدرس

1. أبيّن خصائص مجرة درب التبانة من حيثُ نوعُها، وشكلُ النّواة فيها، وشدةُ انفتاح أذرُعها.
2. **أقارِن** بين أنواع المجرات الثلاثة الرئيسة من حيث عمرُها، وكميةُ الغازات.
3. أحدِّد رمز المجرة التي تحوي أكبرَ كمّيةٍ من الغازات، والأغبِرة الكونية.
4. أدرُس الشكل الآتيَ الذي يبيّن مخطّط الشوكة الرنانة، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه.



أ. أحدِّد رمزَ المجرة التي تشبه مجرة درب التبانة في شكلها.

ب. أبيّن رمزَ المجرة الأكبرِ عمرًا.

جـ. **أرتِّب** المجراتِ الآتيةَ من الأحدث إلى الأقدم: (E0 , Irr , Sc , SBa , E3).

الدرس 3

توسّع الكون
Expansion of The Universe

الفكرة الرئيسة :

تتحـرك المجـرات مبتعـدةً بعضُها عن بعـض، وتُظـهر أطيـافها انزياحا نحو الأحمر.

نتاجات التعلّم :

- أشـرح قانون الفلكي إدوين هابل لحساب بُعد الأجسام الكونية.
- أنفّذ تجـربة تمثّل تباعد المجرات في فضاء الكون.
- أشرح مفهوم توسّع الكون.

المفاهيم والمصطلحات :

تأثير دوبلر	Doppler Effect
الفرسَخ الفلكي	Parsec

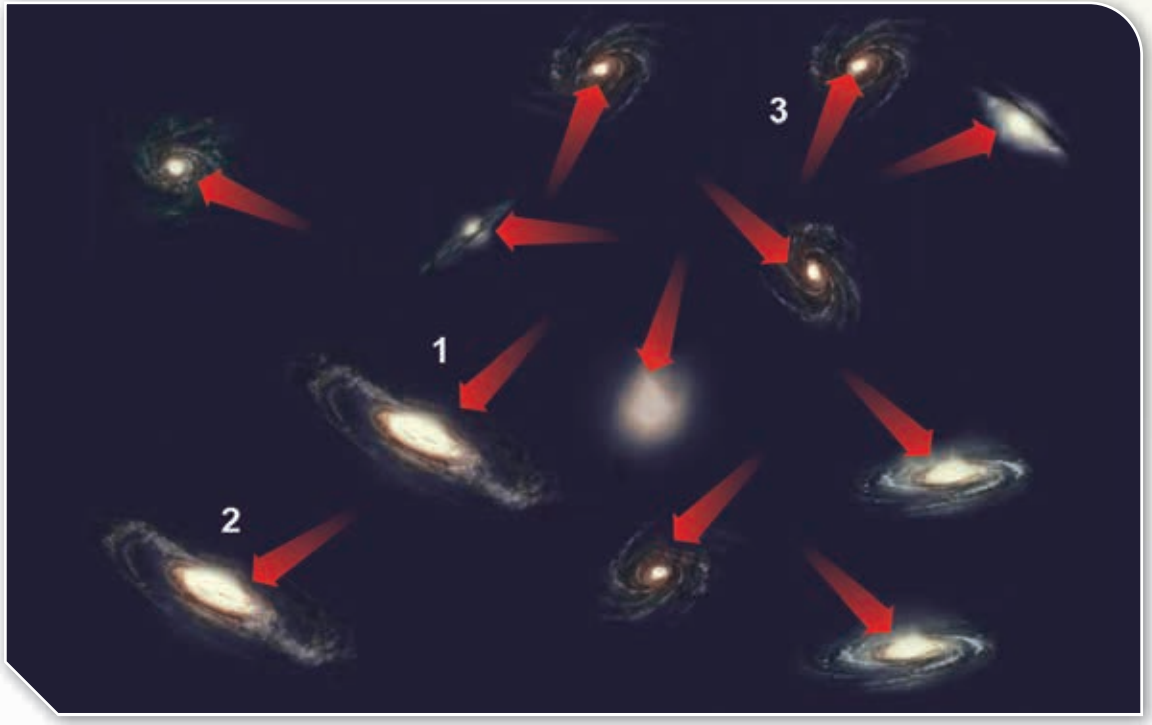
تباعُد المجرات Moving Away of Galaxies

تعلّمتُ في صفـوف سابقـة أن الكـون يشمـل الفضاء، وما يحويه من مـادة وطاقة. فهو يتكـون من مليارات المجرات، وما فيها من نجوم وكواكبَ ومذنّبات وكُوَيْكِبات، وغيرِ ذلك.

وقد درس العلمـاءُ الكـونَ، وقدّموا تفسيرا عن كيفيـة نشأته، وزمن بدايته ونهايتـه، ولاحـظوا أن المـجرة تتحرك فيه بشكل مستقل وحدةً واحدة؛ وتبتعد المجرات بعضُها عن بعض بسرعات مختلفة. أنظر الشكل (10). وقد استدلّ العلماء – بوساطة دراسة الأطياف الكهرمغناطيسيـة المرئيـة المنبعثة عنها – على أن المـجرات تتحرك مبتعدةً عنا، إذ لاحظـوا أن أطيافهـا تنزاح نحـوالأحمر، فما المقصودُ بالانزياح نحو الأحمر؟

الشكل (10): تتحرك المجرة في الكون وحدةً واحدة، وتبتعد المجرات بعضُها عن بعض.

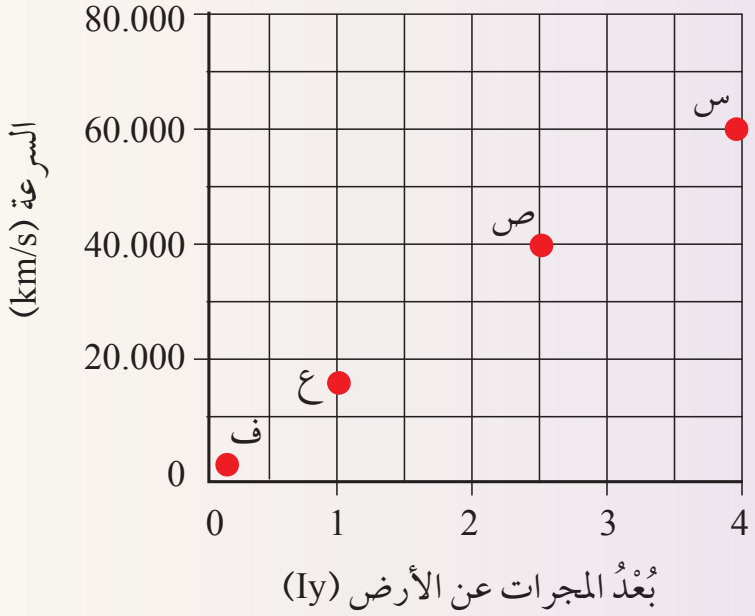
أصف كيف تتحرك المجرة (1) مُقابِلَ المجرتين (2،3).



نشاطٌ

تباعُد المجرات

يمثّل الشكلُ الآتي مجموعة من المجرات (س، ص، ع، ف) التي تبعُد مسافاتٍ مختلفةً عن الأرض، أدرُسه جيّدا، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه.



التحليل والاستنتاج:

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

2- أبيِّن: أيُّ المجرات (س، ص، ع، ف) تتحرّك بسرعة أكبرَ؟

3- **أتوقّع:** عند تحليل الطّيف الكهرمغناطيسيِّ الصادرِ عن المجرتين (س) و(ف)، لوحِظَ أن الطّيف الكهرمغناطيسيَّ للمجرة (س) ينزاح نحو الطول الموجيّ الأطول. كيف يمكنني تفسيرُ ذلك؟

4- **أستنتِج** العلاقةَ بين سرعة المجرات، وبُعدِها عن الأرض.

أفكّرُ

أتأمّل الشكل التاليَ الذي يمثل ثلاثة أطياف تمّ رصدُها لثلاثة أجرام سماوية (1، 2، 3) إذا علمت أن الجرم (1) يمثل حالة الثبات، أفكّر: أيُّ الأجرام تتحرك مقتربةً منه، وأيُّها تتحرك مبتعدةً عنه؛ مبينا سبب ذلك.

(2)

(1)

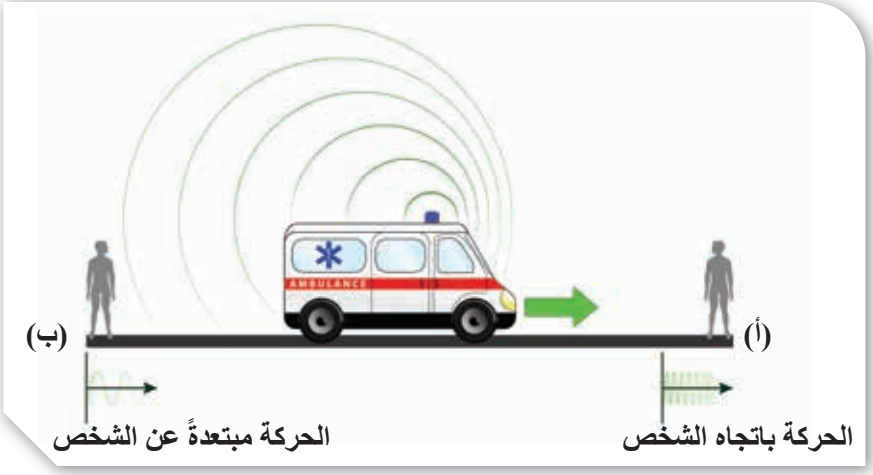
(3)

الربطُ بالفيزياءِ

عندما أقِف على جانب الطريق، وتقترب سيارةُ الإسعاف باتجاهي، فإن تردّدَ الصوت الصادر منها يزداد، (والتردّد هو عددُ الموجات الصادرة من الجسم في الثانية الواحدة)، فيقِلُّ طوله الموجيّ، ويحدث العكس عند ابتعاد سيارة الإسعاف عني. أنظر الشكل (11). يلاحَظُ من الشكل أنه عند اقتراب سيارة الإسعاف من الشخص عند النقطة (أ) يزداد تردّدُ الصوت الصادرِ منها، ويقلّ طولُه الموجيّ، وفي الجهة المقابلة فإن الصوت الصادرَ عن سيارة الإسعاف يبتعد عن الشخص عند النقطة (ب)، فيقِلُّ تردُّده ويزداد طوله الموجيّ، وهذا ما يُسَمّى **بتأثير دوبلر Doppler Effect**.

اعتمد العلماء تأثير دوبلر في دراسة موجات الضوء (الطّيف الكهرمغناطيسي المرئي) الصادرة عن الأجسام المختلفة، ولاحظوا أنه إذا كان مصدرُ الضوء يتجه مبتعدًا عنا، فإن عددَ الموجات التي تصلنا منه في الثانية الواحدة تكون قليلة، أي ذات تردّد منخفض وطول موجي طويل، ومن المعروف أن ألوان الطّيف المرئي تتراوح بين اللون الأزرق إلى اللون الأحمر، حيث يمثل اللون الأحمر الموجاتِ ذاتَ الطول الموجي الطويل(تردد منخفض)، في حين يمثل اللون الأزرق الموجاتِ ذاتَ الطول الموجيّ القصير(تردد عالٍ). وبما أن الموجات المرئيةَ (مصدر الضوء) عندما تبتعد عنا بحسب تأثير دوبلر، فإنها تميل نحو الطول الموجيّ الطويل، فهي تميل نحو اللون الأحمر.

✓ **أتحقّق:** أوضّح المقصود بتأثير دوبلر.



الشكل (11): تأثير دوبلر.

وكلما اقتربت منا الموجات المرئية (مصدر الضوء)، فإن عدد الموجات التي تصلنا منها يزداد، أي يزداد تَردُّدها، ويقِلُّ طولها الموجي، أي أن الموجات المرئيةَ القصيرةَ تميل نحو اللون الأزرق؛ لذلك؛ عندما تبتعد عنا المجـرات، فإن تردُّدَ موجات الطيف الكهرمغناطيسيِّ المرئيّ الذي سترصُده الأجهزة المختلفة الصادرُ منها سيكون أقلَّ، وسيكون طولـه الموجيّ أكبرَ، أي أنه ينزاح نحـو الأحمر، فنقول: إن المجـرات التي تبتعد عنا تنزاح أطيافها نحو الأحمر.

سرعة المجرات Galaxies Velocity

درَس العـالِم إدوين هابل الأطيـافَ الكهرمغناطيسية المرئيةَ المنبعثة عن العـديد من المـجرات التي تبعُد عن الأرض مسافاتٍ مختلفةً، وتبيّن له أن المـجرات تتحرك مبتعدةً عنا، ومبتعدًا بعضُها عن بعض وفقا لتأثير دوبلر، وتوصّل إلى عـلاقة بين بُعد المجرة عنا وسرعتها، عُرِفَتْ هذه العلاقةُ بقانون هابل الذي ينص على أن «سرعة تباعُدِ المجرات تتناسب تناسُبا طرديّا مع بُعدِها عن مجرتنا» أي أنه كلما كانت المجرة أبعدَ، زادت سرعةُ ابتعادها عنا، وتُكتَبُ هذه العلاقةُ رياضيّا وفق القانون:

$$v = H_o \times d$$

حيث إن:

v : سرعة تباعد المجرة بوحدة كم/ ث (km/s)

H_o : ثابت هابل ويقدّر متوسّط قيمتِه نحو(70 كم/ ث. مليون فرسخ فلكي) (70 km/s. Mpc)

d : بُعد المجرة عنا بوحدة مليون فرسخ فلكي *(Mpc)

* **الفرسخ الفلكي Parsec**: وحدة قياس المسافات الكبيرة بين النجوم والمجرات ويساوي $3.26\ ly = 3.1\times10^{13}\ km$

أبحثُ:

مستعينًا بمصـــادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحث عن أقســام الـطّيف الكهـرمغنـاطيسيِّ اعتمــادا على طوله الموجيّ وأصمّـم مخطّطا أنظّـم فيه هذه الأقسام وأمثلة على كل منها، ثم أعرضه أمام معلّمي، و زمــلائي فـي الصف.

مثال

مجرةٌ تبعُد عن الشمس مسافة (99×10^6 ly) ، أحسُب سرعة تباعدها، علما بأن ثابت هابل يُقدّر بنحو (70 km/s.Mpc)، أفترض أن الفرسخ الفلكي = 3.3 ly

الحل:

أوّلًا: أحوّل المسافة من وحدة السّنة الضوئية (ly) إلى وحدة الفرسخ الفلكي (pc).

$$1\ pc = 3.3\ ly$$

$$? = 99\times10^6\ ly$$

$$\frac{99\times10^6 \times 1}{3.3} = 30\times10^6\ pc$$

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

$$\frac{30\times10^6}{10^6} = 30\ Mpc$$

ثالثًا: أعوّض في قانون: $v = H_o \times d$

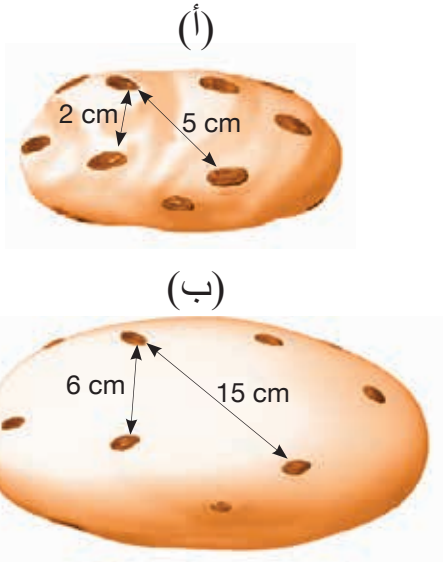
$$(70\ km/s.Mpc) \times 30\ Mpc = 2100\ km/s$$

تمرين

إذا علمتُ أن سرعة تباعُد إحدى المجرات 15400 km/s، أحسُب بُعْدَها عنا بالفرسخ الفلكي، إذا علمتُ أن ثابت هابل يساوي (70 km/s.Mpc) .

توسّع الكون Expansion of The Universe

استدلّ العلماء بوساطة حركة المجرات وتباعُدِ بعضِها عن بعض أن الكون يتوسع ، وقد يتبادر إلى أذهاننا أحيانا أن الأرض هي مركز الكون، وأن الكون يبتعد عنا، لكن هذا ليس صحيحًا، فلو وقف راصِدٌ في مكان آخرَ من الكون، أو في مجرة أخرى، فسوف يلاحظ الشيء نفسَه، وأن الكون يبتعد عنه، ولِفهم توسّع الكون، يمكن تخيّلُ عجينة تمثّل الفضاء، وحبّات من الزبيب متناثرة عليها تمثّل المجرات. أنظر الشكل (12/ أ). إن ما يحدث لحبّات الزبيب عند خَبْزِ العجينة يشبه تماما توسّعَ الكون، فحبّاتُ الزبيب يتباعد بعضُها عن بعض دون أن تتحرك فعليّا، وتمدُّدُ العجينة وزيادةُ حجمها عند خَبْزِها كان السبب في



الشكل (12) (أ/ ب): نمذجة توسع الكون.

أنمذج كيفيّة توسع الكون.

تباعُدِها. أنظر الشكل (12/ ب)، إذ تتباعد جميع الحبّات بنسبة ثابتة، وكذلك المجرات في الكون، يبتعد بعضُها عن بعض وحدةً واحدة؛ لأن مادة الكون (الفضاء) تتمدّد، وهذا يعني أن المجرات كان بعضُها يوما ما أقربَ إلى بعض، وهذا قاد العلماءَ لتفسير نشأة الكون بعدة فرضيات، سيتمّ التعرف عليها لاحقا.

✓ **أتحقّق:** كيف تتحرك المجرات في الكون؟

أبحثُ:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحث عن المستقبل الذي يتوقعه العلماء للكون، وأعرض نتائج بحثي أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

مراجعة الدرس

1. أرجِعُ إلى الشكل (10) ثم أصوغ المعلومات التي أستنتِجُها منه بجُمَلٍ علمية دقيقة.
2. أدرُس الجدول الآتي الذي يمثّل مجموعة المجرات (1، 2، 3، 4) وشدةَ انزياح أطيافها نحو الأحمر، إذ يشير طول السّهم إلى شدة الانزياح نحو الأحمر.

لون الطيف / رَقْمُ المجرة	بنفسجي أصفر أحمر
1	←
2	←
3	←
4	←

أ. أحدِّد رقم المجرة الأبعدَ.

ب. أرتِّب المجرات (1، 2، 3، 4) في الجدول تصاعديّا حسب سرعة تباعدِها عنا.

جـ. **أحسُب** بُعْدَ المجرة رقم (3) عنا، إذا علمت أن سرعة تباعُدِها يساوي 46200 km/s، علما بأن ثابت هابل (70 km/s.Mpc).

مجرة المرأة المسلسلة
Andromeda Galaxy

تُعَدّ مجرةُ المرأة المسلسلة المعروفة باسم مجرة أندروميدا أقربَ المجرات إلى مجرتنا درب التبانة، وتحمل الرمز (M 31)، وتبْعُدُ عنا 2.5 مليون سنة ضوئية، وهي مجرة حلزونية ضخمة مقارنَةً بمجرتنا درب التبانة، يبلغ طولها 260 ألفَ سنةٍ ضوئية، وقُطْرُها 220000 سنة ضوئية، وتكون بذلك أطولَ بمرتين ونصف تقريبا من مجرتنا. تضمّ مجرة أندروميدا ما يقارب ترليون نجم، وتتميز مجرة المرأة المسلسلة بنَواة صغيرة أكثرَ لمعانا من بقية أجزائها، حيث أظهرت الدراسات التي أُجرِيَتْ بين عامي 2006م و2014م، أن مجرّة المرأة المسلسلة تمتلئ بالنجوم الزرقاء الشابّة التي تتحرك حركةً عشوائية. يعتقد العلماء أن مجرة المرأة المسلسلة تشكلت نتيجة تصادُم مجرتين منفصلتين، يتحرك بعضُها نحو بعض قبل 1.8 إلى 3 مليار سنة، أي أنها أصغر من النظام الشمسي الذي تشكَّلَ قبل 4.6 مليار سنة تقريبا.

الكتابة في الجيولوجيا

أبحث في مصادر المعرفة المتوافرة لديّ، ومنها شبكةُ الانترنت؛ عن توقعات علماء الفلك حول أثر تقارُب مجرة أندروميدا من مجرتنا درب التبانة، ثم أكتب مقالة حول ذلك.

السؤال الأول: أضَع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

1. من خلال دراسة العلماء للأطياف الكهرمغناطيسية المنبعثةِ من المجرات، استنتج العلماءُ أن الكون مع مرور الزمن:
   أ) يتقلص.
   ب) يتمدّد.
   ج) يبقى ثابتا.
   د) يتمدّد ويتقلص بشكل ثابت.
2. الوحدة الأساسية في بناء الكون هي:
   أ) السُّدُم الكونية. ب) الكواكب.
   ج) النجوم. د) المجرات.
3. أيُّ الرموزِ الآتية تعبّر عن المجرات الإهليليجية الأكثرِ استطالة؟
   أ) E0. ب) E7.
   ج) E3. د) E1.
4. تمتاز مجرة درب التبانة بأنها:
   أ) حلزونيةُ الشكل، كرويةُ النّواة.
   ب) حلزونيةُ الشكل، خطّيةُ النّواة.
   ج) إهليليجيةُ الشكل، شديدةُ الاستطالة.
   د) إهليليجيةُ الشكل، قليلةُ الاستطالة.
5. أيُّ أذرعِ مجرة درب التبانة الآتية تقع عليه الشمس؟
   أ) القوس. ب) الجوزاء.
   ج) الجبّار. د) برشاوس.
6. أكبر المجرات عُمرًا هي المجرات:
   أ) غير المنتظَمة.
   ب) الحلزونية.
   ج) القزَمة.
   د) الإهليليجية.
7. تتميز المجرة E6 عن المجرة E1 بأنها:
   أ) أصغر عُمرا وأشدّ استطالة.
   ب) أكبر عُمرا وأقلّ استطالة .
   ج) أصغر عُمرا وأقلّ استطالة.
   د) أكبر عُمرا وأشدّ استطالة.
8. إحدى المجرات الآتيةِ تحوي كمية أكبرَ من الغازات والغبار الكوني وهي:
   أ) Sa . ب) E7.
   ج) SBc. د) E0.
9. إحدى العبارات الآتية تصف العلاقة بين بُعدِ المجرات عنا 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 توجَدُ علاقة لسرعة المجرات وبُعدِها عنّا.
10. تتحرك الأذرعُ الحلزونية في مجرة درب التبانة حول مركزها من:
    أ) الشرق نحو الغرب.
    ب) الغرب نحو الشرق.
    ج) الشمال نحو الجنوب.
    د) الجنوب نحو الشمال.

السؤال الثاني:

أملأُ الفراغَ في ما يأتي بما هو مناسبٌ من المصطلحاتِ:

1. تُسمّى المجرة التي تترتب نجومها في أذرُع حلزونية تدور حول نواتها.....
2. ..... كل ما هو موجود من طاقة ومادة وفضاء، وما يحويه من مكوّنات.
3. استدل العلماء على تباعُد المجرات وتوسّع الكون عن طريق ظاهرة.....

4. يُرمَـزُ للـمجرة غـيرِ منتظمَـة الشـكل بالرمز.....
5. تختلف المجرات بعضُها عن بعض في .....، و.....، و.....
6. لجـأ العـالِم إدوين هـابل إلـى ترتيب المـجرات وتصنيفها في مخطّط عُرِف باسم.....

السؤال الثالث:

أبيّن الأسـاس الـذي اعتمـده إدوين هابل في تقسيم المجرات الإهليليجيةِ إلى ثماني فئات.

السؤال الرابع:

أفسِّر: تُعَدّ المجرات الحلزونية من المجرات متوسّطة العمر.

السؤال الخامس:

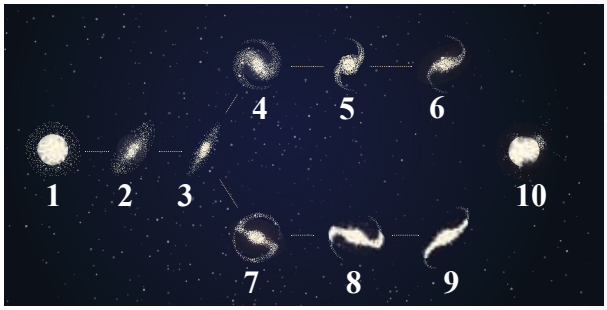
أناقش: كيف توصّل العلمـاء بوسـاطة دراسة سرعة تباعُدِ المجرات عنّا إلى كيفية نشأة الكون.

السؤال السادس:

أحسُب سرعة تباعُدِ مجرة عن الأرض، علما أنها تبعد مسافة 10^8 pc عنها وأن ثابت هابل يساوي (70 km/s.Mpc).

السؤال السابع:

أدرُس الشكل الآتيَ الذي يوضّح مخطّط هابل لتصنيف المجرات، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



أ) أرتّـب المجـرات (9، 10، 2) تنازليـا حسـب العمـر.

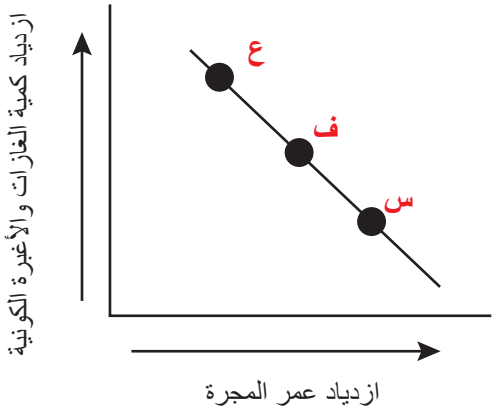
ب) أكتب رَقْمَ كلٍّ من المجرات الآتية:

- تُظهر أطيافها انزياحا أكثر نحو الأحمر.
- الحلزونية خطّية النّواة، أذرُعها الأقل انفتاحا.
- تحوي أقل كمية من الغازات بين نجومها.

ج) **أقـارِن** بيـن المجـرة رقـم (1)، والمجـرة رقـم (10)، مـن حيـثُ نوعُهـا، وكميـةُ الغـازات فيهـا.

السؤال الثامن:

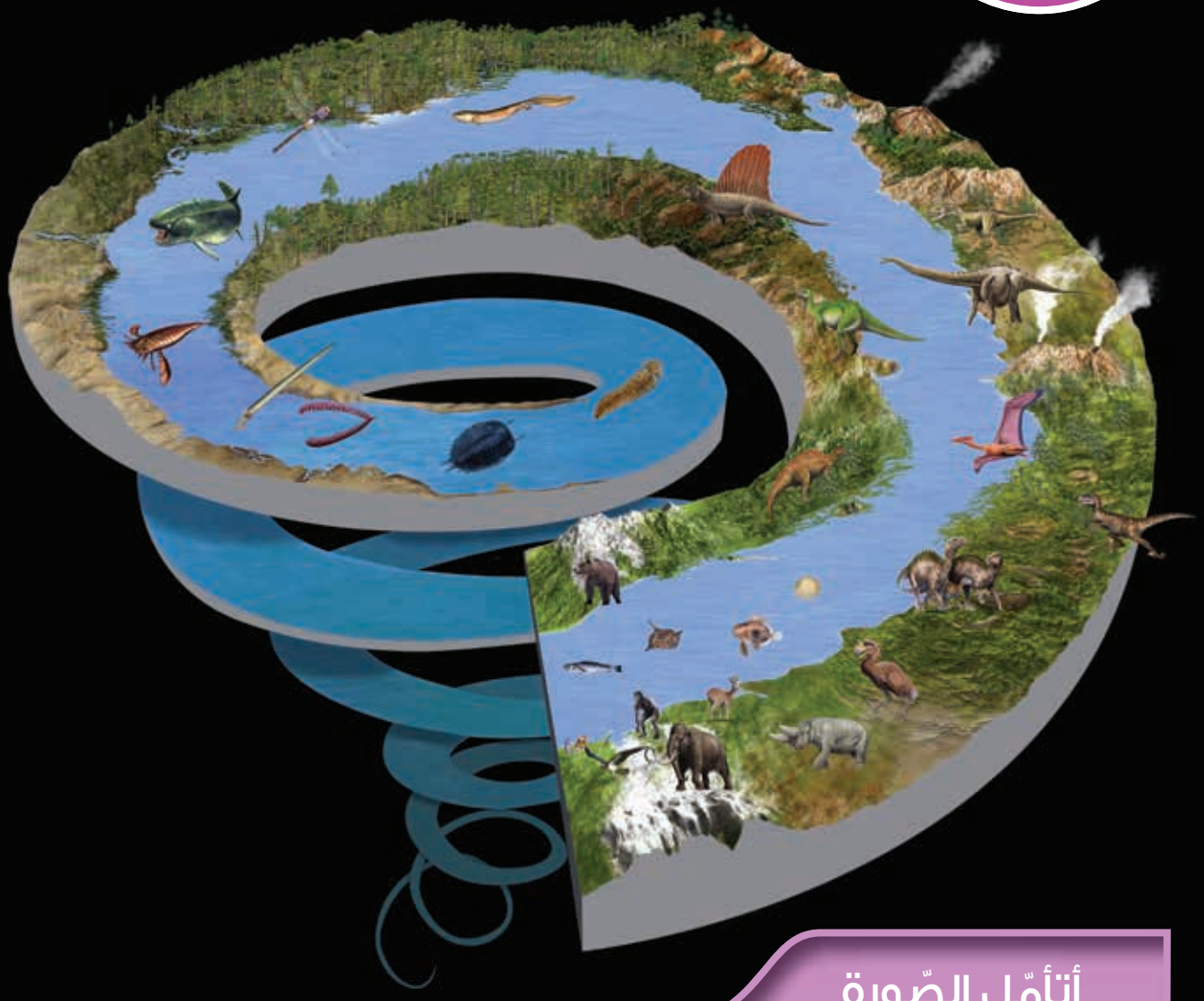
أدرُس الرّسْم البيـانيَّ الآتـيَ الذي يوضّح العلاقة بين كمية الغازات والأغبِرة الكـونية فـي المجـرات وعمرها، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه:



1. **أصِف** العلاقة بين عُمرِ المجرة وكمية الغازات والأغبِرة فيها.
2. أبيّن نوع كلٍّ من المجرات: (س، ف، ع).

الوحدة 5

تاريخ الأرض
The Earth's History



أتأمّل الصّورة

تم التعرّفُ على تاريخ الأرض، وفهم العمليات والأحداث الجيولوجية التي مرّت بها، باستخدام مجموعة من المبادئ، والطرائق التي اعتمدها العلماء في تاريخ الأرض. فما هذه المبادئُ والطرائق؟

الفكرة العامّة

تُشبِه الصخورُ بأنواعها المختلفة كتابًا يكشف لنا تاريخ الأرض عبر ملايين السنين، والأحداثَ الجيولوجية التي مرّت بها.

الدرس الأول: نشأة الأرض

الفكرة الرئيسة: نشأت الأرض والنظامُ الشمسي بالكيفية نفسِها بحسب الفرضيات العلمية المختلفة، ومع مرور الزمن تشكّلت وتمايزت أغلفتُها المختلفة.

الدرس الثاني: التأريخ النسبيّ للصخور

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

الدرس الثالث: التأريخ المطلَق للصخور

الفكرة الرئيسة: يُستخدَمُ التأريخُ المطلَق في تحديد أعمار الصخور بدقة (بالسنوات)، ومن ثم تحديد عمر الأرض.

الدرس الرابع: جيولوجية الأردنّ

الفكرة الرئيسة: يتميز الأردنّ بتكشف أنواع مختلفة من الصخور على سطحه منذ حِقبة ما قبل الكامبري، وحتى وقتنا الحاضر، ويحوي الأردنّ العديد من الموارد المعدِنية.

نمذجة تشكُّل كوكب الأرض

تختلف أنطقةُ الأرض في كثافاتها؛ ويُعَدّ اللبُّ أكثر هذه الأنطقة كثافةً، أما القشرة الأرضية، فهي الأقلُّ كثافةً، ويعتقد العلماء أن درجة الحرارة في بداية تشكُّل الأرض كانت مرتفعة، حيث جعلت الموادّ المكوّنة لأنطقتها تتصرف كالسوائل.

الموادّ والأدوات: كأس زجاجية سعة (250 mL)، ماء، زيت، حليب سائل، مِلعقة تحريك.

إرشادات السلامة:

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

خطوات العمل:

1. أضَع (50 mL) من الماء في الكأس الزجاجية.
2. أسكُب (50 mL) من الزيت في الكأس الزجاجية فوق الماء.
3. أسكُب (50 mL) من الحليب في الكأس الزجاجية، ثم أحرّك محتويات الكأس جيدًا.
4. أترُك الكأس الزجاجية لعدة دقائق.

التحليل والاستنتاج:

1. **أصِف:** ماذا حدث للسوائل بعد تحريكها، وتركِها لعدة دقائق؟
2. أحدِّد: أيُّ السوائل يمثّل القشرة الأرضية، وأيُّها يمثّل السّتار؟
3. **أستنتج** العلاقة بين كثافة مكوّنات الأرض وقتَ تشكُّلها وبين أماكن تواجدها في أنطقتها في الوقت الحاضر.

نشأة الأرض
The Genesis of the Earth

الدرس 1

الفكرة الرئيسة:

نشأت الأرض والنظامُ الشمسيُّ بالكيفية نفسِها بحسب الفرضيات العلمية المختلفة، ومع مرور الزمن تشكّلت وتمايزت أغلفتُها المختلفة.

نتاجات التعلّم:

- أربُط بين عُمْر الشمس وعُمْر الأرض.
- أصِف بدقة الأرض البدائية.
- أبيّن البداية التقريبية لتكوُّن المحيطات والقارات.

المفاهيم والمصطلحات:

الفرضية السديمية Nebular Hypothesis

التمايز Differentiation

سُلَّمُ الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale

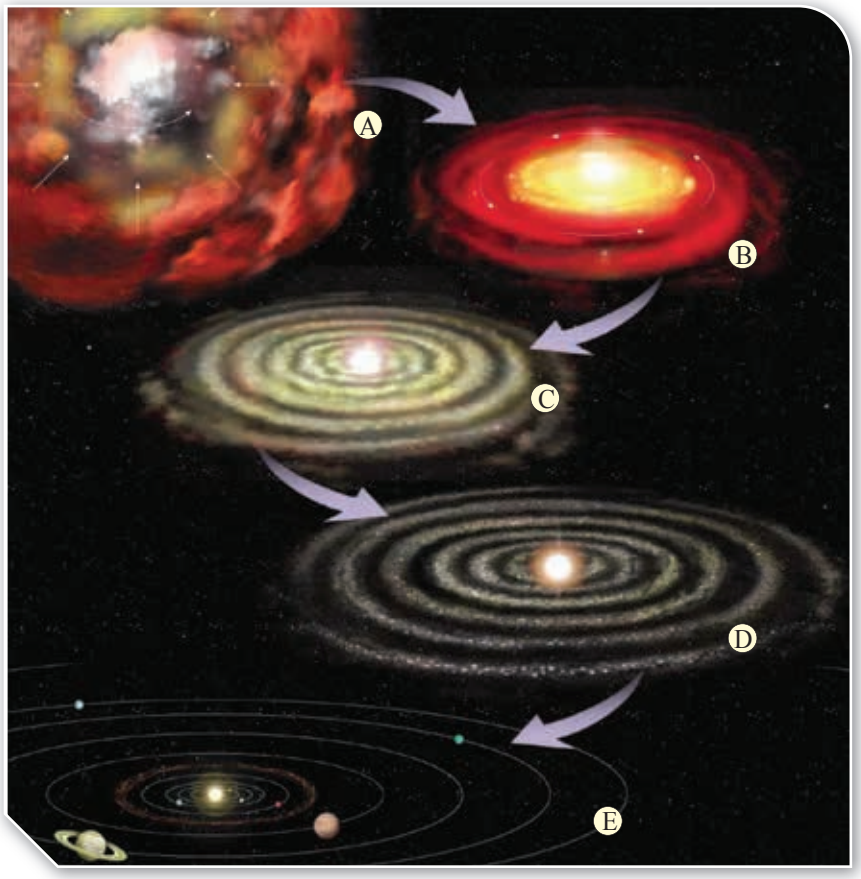
فرضيات نشأة النظام الشمسي
Hypotheses of the Genesis of the Solar System

اختلف العلماء منذ آلاف السنين حول كيفية نشأة الكون، وخاصّة نشأةَ النظام الشمسي، حيث وضع العلماء العديد من الفرضيات التي حاولوا بها تفسيرَ نشأة النظام الشمسي، منها فرضيةُ الكُوَيْكِبات Planetesimal Hypothesis وفرضيةُ المدِّ الغازي Gaseous Tidal Hypothesis والفرضيةُ السديمية Nebular Hypothesis. وتُعَدّ الفرضية السديمية أكثرَ الفرضيات قبولًا لدى العلماء. وقد تعلمتُ سابقا أنه قبل مليارات السنين تشكّلت السحابة السديمية، ثم تكاثفت هذه السحابة، وكونت النظامَ الشمسي، وبذلك تكون الشمس والكواكب التي تدور حولها ومنها الأرضُ ذاتَ أصلٍ واحدٍ. وسيتم هنا التعرُّفُ أكثرَ على هذه الفرضية، وتحديدُ كيفية نشأة الأرض. أنظر الشكل (1) الذي يمثّل النظام الشمسي في الوقت الحالي.

الشكل (1): يتكوّن النظام الشمسي من الشمس، وثمانية كواكب تدور حولها، وتُعَدّ الأرض أحدَ تلك الكواكب.

الفرضية السديمية Nebular Hypothesis

يُعَدّ عالِمُ الرياضيات الفرنسي بيير لابلاس Pierre-Simon, Laplace أوّلَ من وضع أسسَ هذه الفرضية عام 1796م، وتنصّ على أن «جميع الأجرام المكوِّنة للنظام الشمسيّ، نشأت من مادة أولية واحدة هي سحابةٌ ضخمةٌ تتكون في معظمها من عنصرَي الهيدروجين والهيليوم، وغبار كوني، ومركّبات هيدروجينية مثلِ: الميثان والأمونيا، وبخار الماء، انكمشت وتقلصت تحت تأثير الجاذبية، وكلّما ازداد انكماشُها وتقلّصُها زادت سرعتها حول محور دورانها؛ فبزيادة الكتلة نحو المركز تزداد سرعةُ دوران المادة السّديمية». وقد تكوّن النظام الشمسيّ عندما اتخذت السحابة شكلَ القرص المفلطَح. أنظر الشكل (2). ومع مرور الوقت تشكّلت حلقات غازية داخلَ القرص مشكِّلةً بذلك أنويةَ الكواكب المختلفة، وقد أدى انجذابُ القسم الأكبر من مادة القرص المفلطَح لمركزه إلى تكوّن الشمس البدائية، ثم بعد مرور فترة قصيرة من الزمن، وبانخفاض درجة الحرارة داخلَ السديم تشكّلت مع الزمن الكواكبُ.



الشكل (2): تكوّنُ النظامِ الشمسيّ بحسب الفرضية السّديمية وفق المراحل الآتية:

Ⓐ سحابة ضخمة.

Ⓑ قُرْصٌ مفلطَح.

Ⓒ حلقات غازية داخل القرص.

Ⓓ تكوّن الشمس البدائية.

Ⓔ تكوّن الكواكب.

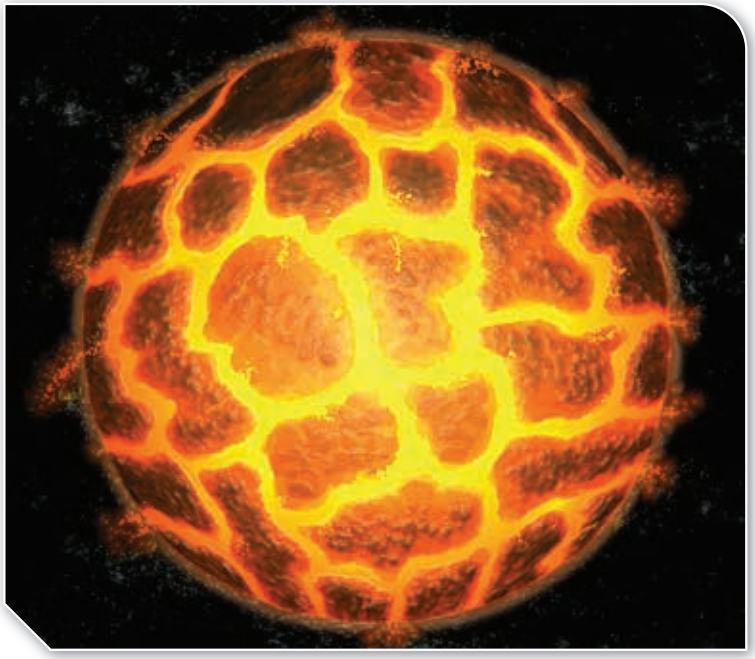
أبحثُ:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحث عن معلومات عن فرضيّة الكُوَيْكِبات، أو فرضية المدّ الغازي؛ وأصمّم عرضًا تقديميًا، وأعرضه أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

وقد تشكّلت كـواكب النظـام الشمسي على النحـو الآتي: الجزءُ الخارجيّ من السّديم كان الأكثرَ برودةً، فتصلّبت مكوّناتُه مثلُ الماءِ والأمونيا وأصبحت جليدياتٍ. أمـا الجزءُ الداخليُّ من السّديم فقد بقيت الموادُّ القريبةُ من الشمس على شكل بخار، ثم اتحدت عناصرُ السليكون والحديد والألمنيوم مع الأكسجين، وتبلورت عند درجات حرارة عالية مكوِّنةً موادَّ صخريةً ذاتَ كثافةٍ عالية. ثم تجمّعت مكوّناتُ السّديم بعضُها مع بعض، وكوّنت الكواكب البدائية. ونتيجةَ تحرّكِ الكواكب البدائية حول الشمس جذبت العديدَ من الأجسام القريبة منها وأصبحت كواكبَ حقيقية.

نشأة الأرض البدائية Early Earth Genesis

كانت الأرض في بداية تكوّنِها بحسب الفرضية السّديمية مكوّنَةً من تجمُّع من الغازات والأغبِرة والصخور والجليديات، تتحرك نحو المركز ما أدى إلى زيادة درجة الحرارة داخلَها، ويفسّر العلماء ارتفاع درجة حرارة الأرض الداخلية أيضا إلى عدة أسباب منها: تساقطُ الأجسام الصغيرة من سحابة السّديم على سطح الأرض، وارتطامُها بشدة، وتحلُّلُ العناصر المشعة في باطن الأرض وتحوّلها تلقائيّا إلى عناصرَ أخرى تُطلِق كمياتٍ كبيرةً من الطاقة الحرارية، بالإضافة إلى تكوُّنِ الأكاسيد والتفاعلات الكيميائية المختلفة داخل الأرض. أنظر الشكل (3).



الشكل (3): في بداية نشأة الأرض المبكّرة، ازدادت درجة الحرارة داخل الأرض بسبب تحرُّكِ مكوّناتها نحو المركز.

أبحثُ:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرةِ لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحثُ عما توصلت إليه الأبحاث العلمية الحديثة من معلومات تعزّز الفرضية السديمية؛ وأصمّمُ عرضًا تقديميّا وأعرضهُ أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

أتحقّق: أحدِّد المراحل الرئيسة لتشكُّلِ النظام الشمسيّ بحسب الفرضية السّديمية.

الرّبط بالفلك

تختلف الشمس بمُكوّناتها، عن جميع الكواكب، لكنها تتشابه مع بعض الكواكب ومنها الأرضُ، كونُها ذاتَ بنيةٍ داخلية طبقية، وغلافٍ جويّ طبقيّ.

تشكُّل القارات وقيعان المحيطات

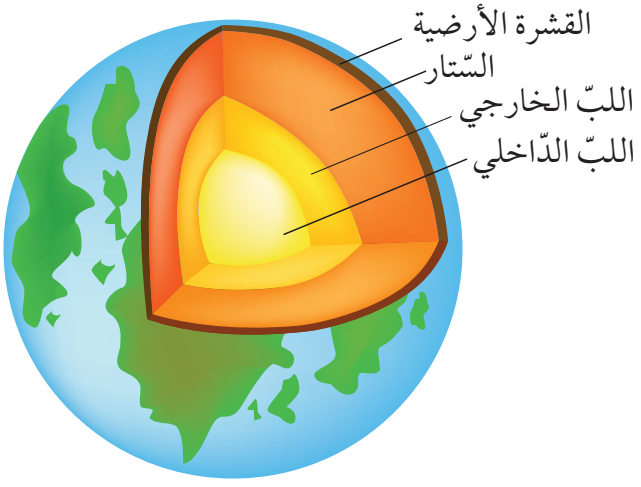
The Formation of Continents and Ocean Floors

كانت الأرض البـدائية على شكـل كُرة متجانسة من الصخور المصهورة والغازات، ومع مـرور الزمن واستمرار عمليات التبريد، بدأت بعمليـة التمايز Differentiation اعتمادًا على كثـافة الموادّ المكوِّنةِ لها، حيث صعدت الموادّ المنصهرة الأقلُّ كثافةً الغنيةُ بسليكات الألمنيوم، والصوديوم والبوتاسيوم إلى سطح الأرض؛ مشكّلةً في ما بعد القشرةَ الأرضية، في حينِ غطست الموادُّ المنصهرة الأكثرُ كثافةً مثلُ الحديد والنيكل المنصهر إلى مركز الأرض مكوّنةً اللبَّ، تفصل بينهما طبقةٌ متوسطة الكثافة هي طبقةُ السّتار، وكمحصّلة لذلك، تشكّلت ثلاثة نُطُقٍ رئيسة للأرض هي: اللبّ (الخارجي والداخلي) والسّتار والقشرة الأرضية. أنظر الشكل (4). ويفترِض العلماء بعد ذلك أنه حدث نشاط إشعاعي في مناطقَ مختلفة من السّتار أدى إلى زيادة درجات الحرارة في تلك المناطق، وتشكُّلِ تياراتِ الحمـل الـحراري التي رفعت الصهارة الناتجة قليلة الكثافة نحو القشرة الأرضية، ما أدى إلى تشقُّقها، وخروجِ الماغما إلى السطح على هيئة براكينَ عنيفةٍ. وتشكّلت نتيجة لذلك كتلٌ من الصخور النارية تجمعت بالقرب من سطح الأرض، أو على السطح، وبدت هذه الكتلُ وكأنها جُزُرٌ وسط محيط ضحل. ومع استمرار الأنشطة البركانية كَبُرَ حجمُ هذه الجزُر، والتحم بعضُها ببعض مكوّنا بدايةَ القارات. أما قيعانُ المحيطات، فقد تشكّلت نتيجةَ انقسام القارات وابتعاد بعضِها عن بعض، وقد فسّر العلماء الآلية التي تحركت بها القاراتُ في نظرية تكتونية الصفائح.

أُفكّرُ

كيف تحـدُث عمليـة التمايز الكوكبي؟

أصـمّمُ باستخـدام برنامـج السكـراتش (Scratch) عرضًا يبيّن نُطق الأرض الرئيسة، ثمّ أشاركه معلّمي، وزملائي في الصف.



الشكل (4) أنطقةُ الأرض الرئيسة كما تمايزت بعد تشكّل الأرض.

تشكُّلُ الغلاف الجوي والمحيطات

Formation of the Atmosphere and Oceans

تكوّنَ الغلافُ الجـوي الأولـي للأرض نتيجةَ ثوران البراكين وتصدّعات القشرة الأرضية، وما نجـم عنهمـا من انبعـاثات غازية مثلِ بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، والميثان. أنظر الشكل (5). وعندما برَدت الأرض تكاثف بخار الماء المتجمّع في الغلاف الجوي بكميـات كبيرة مكوّنًا السُّحُبَ التي بدأت بالهطول بغزارة، وتجمعت مياه الأمطار في المنـاطق المنخفضـة مكـوّنةً المحيـطاتِ الأوليةَ التي كانت مياهها عذبة، ثم بدأت ملوحتها تزداد بالتدريج بسبب إذابة المعادن القابلة للذوبان الموجودة في الصخور بفعل الجرَيان السطحي لمياه الأمطار، ووصولها إلى المحيطات. ويُعتقَدُ أن الحياة بدأت في المحيطات قبل 3.5 مليار سنةٍ تقريبا، حيث كانت الكائنات

أعِـدُّ فيلمًـا قصـيرًا باسـتخدامِ برنامـجِ صانـعِ الأفـلام (movie maker) يوضّـح تشـكّلَ القـارات، وأحـرص عـلى أن يشـمل الفيلـمُ صـورًا توضيحيـة، ثـمّ أشـاركه معلّمـي، وزملائـي في الصـف.

أبحثُ:

مستعينًا بمصـادر المعرفـة المتوافـرة لـديّ، أبحث عن فرضية توسّـع قـاع المحيط؛ وأصمّـم عرضًا تقـديميّا وأعرضـهُ أمـام معلّمـي، وزملائـي فـي الصف.

الشكل (5): بركان ينجم عنه انبعاثات غازية.

الحية الأولية بسيطة جدّا، وقبل نحو 2.4 مليار سنة ظهرت البكتيريا الخضراء المُزرَقّةُ التي امتصّت غاز ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي للقيام بعملية البناء الضوئي؛ لتُطلِق بدلاً منه غازَ الأكسجين، ثم ظهرت الطحالب الخضراء حقيقية النواة، فزادت كمية الأكسجين تدريجيّا في الغلاف الجوي، إلى أن وصل إلى نسبته الحالية. أنظر الشكل (6).

مرّت الأرض بمجموعة من التغيرات الحيوية والتطورات الجيولوجية منذ نشأتها حتى وقتنا الحاضر، وقد قام العلماء بوضع سجِلٍّ تاريخي يمثّل تطوّر هذه الأحداث الجيولوجية، والتغيرات الحيوية التي مرّت بها اعتمادًا على مجموعة من المبادئ سأتعرف عليها لاحقًا؛ سُمِّيَ سُلَّمَ الزمن الجيولوجي. فما هو سُلَّمُ الزمن الجيولوجي؟

✓ **أتحقّق:** أفسِّر أهميةَ ظهور البكتيريا الخضراء المُزرَقّةِ قبل نحو 2.4 مليار سنةٍ، وعلاقتَها بزيادة نسبة الأكسجين في الغلاف الجوي.

الشكل (6): زَوّدَت البكتيريا الخضراء المُزرَقّةِ الأرضَ بالأكسجين الناتج عن عملية البناء الضوئي.

أبحثُ:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحث عن تطوّرالغلاف الجوي للأرض بمرور الزمن؛ وأصمّم عرضًا تقديميّا وأعرضه أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

الرّبط بالعلوم الحياتية

بدأت الحياة بكائنات حيّة بدائية النَّواة (Prokaryote) وهي البكتيريا الخضراء المُزرَقّةُ، ثم ظهرت الكائنات حقيقة النّواة (Eukaryote) وهي طحالبُ خضراءُ بسيطةٌ، وكانت تقوم هذه الكائنات الحية بعملية البناء الضوئي. فأدى ذلك إلى زيادة نسبة الأكسجين في الغلاف الجوي.

سُلّمُ الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale

جمع العلماء معلوماتٍ كثيرةً عن أعمار صخور القشرة الأرضية في مناطقَ متنوعةٍ من الأرض، واستخدموا العديد من المبادئ لتشكيل عمود يمثّل تلك الصخور بحسب أعمارها، حيث يضم أسفلُه أقدمَ الصخور، وفي أعلاه أحدثَها سُمِّي بالعمود الجيولوجي Geologic Column. أنظر الشكل (7). ولِتعرُّفِ زمن الأحداث الجيولوجية التي مرّت على سطح الأرض ومواضع الصخور زمنيا في تاريخ الأرض؛ قسّموا تاريخ الأرض إلى وحدات زمنية مختلفة الأطوال؛ بناءً على تلك الأحداث، ووضعوها في جدول سُمِّيَ سُلّمَ الزمن الجيولوجي.

وقد تعلمتُ سابقًا أن سُلّمَ الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale هو ترتيب زمني من الأقدم إلى الأحدث، ينظِّمُ الأحداثَ الجيولوجية التي تعاقبت في تاريخ الأرض الطويل، ويقدِّمُ وصفا للتطور الجيولوجي والتغير الحيوي فيها، ويؤرخ سُلَّمُ الزمن الجيولوجي لتاريخ الأرض منذ نشأتها قبل 4600 m.y وحتى وقتنا الحاضر. وهو مقسَّم إلى وحدات زمنية أكبرُها هي الدهر Eon وتُقسَم وحدةُ الدهر إلى وحدات أصغرَ تُسَمّى الحِقَبَ Eras، وتتكون كل حِقبَةٍ من وحدات أصغرَ منها تُسَمّى عصورًا Periods ويتكون العصر من عهود Epochs، وتتكون 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 (7): جُزء من العمود الجيولوجي في الأردنّ يمثّل صخور حِقبة ما قبل الكامبري وحِقبة الحياة القديمة.

أبحثُ:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحث عن مراحل تطوّرِ سُلّمِ الزمن الجيولوجي؛ وأصمّم عرضًا تقديميّا وأعرضه أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

أفكّرُ

الهدف من إيجاد سُلّمِ الزمن الجيولوجي هو الحصول على تسلسُل هرميّ لوحدات طبقية زمنية على المستوى العالمي، حيث تُعَدّ قياسا مرجعيّا يربط بين أعمار الصخور في كل مكان من العالم. ما الشروط التي يجب أن تتوافر في سُلّمِ الزمن الجيولوجي؟

الجدول (1): سُلّمُ الزمن الجيولوجي

الدهر Eon	الحِقَب Eras	العصور Periods	العُمر (ملايين السنين) Age	التطور الجيولوجي والتغير الحيوي
دهر الحياة الظاهرة	حِقبة الحياة الحديثة	الرُّباعي	2.6	• ظهور الإنسان. • انتشار سلالات الثدييات. • ظهور النباتات الحديثة.
		الثُّلاثي	65.5	
	حِقبة الحياة المتوسطة	الكريتاسي	145.5	• انقراض الديناصورات، والأمونيتات. • ظهور الطيور الحديثة. • سيادة الديناصورات. • بداية ظهور النباتات الزهرية مُغطّاةِ البذور. • انقسام قارة بانغيا إلى كتلتين قارّيّتين، هما: غوندوانا ولوراسيا. • ظهور الطيور الأولى. • ظهور الثدييات.
		الجوراسي	199.6	
		الترياسي	251	
	حِقبة الحياة القديمة	البيرمي	299	• تكوّن قارة بانغيا. • ظهور الزواحف شراعية الظهر. • انتشار النباتات البذرية مُعرّاةِ البذور. • انتشار النباتات الوعائية اللازهرية. • انتشار الأسماك وتنوّعها.
		الكربوني	359	
		الديفوني	416	
		السيلوري	449	• بداية ظهور الأسماك. • انتشار واسع للحياة البحرية. • ظهور اللافقاريات ذوات الهياكل الصُّلبة (الترايلوبيت).
		الأوردوفيشي	488	
		الكامبري	540	
ما قبل الكامبري			4600	• ظهور كائنات حية وحيدة الخلية حقيقة النّواة مثل الطحالب الخضراء. • ظهور كائنات حية وحيدة الخلية بدائية النّواة مثلِ البكتيريا الحالية، والبكتيريا الخضراء المُزرَقّة. • نشأة الأرض، وتكوّن غُلُف الأرض.

* الجدول للمطالعة الذاتية.

مراجعة الدرس

1. أتتبّع تطوُّرَ الغلاف الجوي للأرض.
2. **أصِف**: كيف نشأت القشرة الأرضية؟
3. **أستنتج**: كيف يمكن أن تكون الأرض لو لم يتكوّن غاز الأكسجين في الغلاف الجوي؟
4. **أفسِّر** سبب زيادة الحرارة الداخلية للأرض بعد تكوّنها.
5. أشرَح كيف فسّرت الفرضية السّديمية نشأة النظام الشمسي؟
6. **أناقش** أهمية سُلّم الزمن الجيولوجي.
7. **أحسُب** نسبة زمن ما قبل الكامبري من تاريخ الأرض، مستعينا بالجدول (1): سُلّمِ الزمن الجيولوجي.

التأريخ النسبي للصخور
The Relative Dating of Rocks

الدرس 2

الفكرة الرئيسة :

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

نتاجات التعلّم :

- أستخدم مبادئ التأريخ النسبي في تحديد 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

يُعرَف التأريخُ النسبي Relative Dating بأنه ترتيب الصخور والأحداث الجيولوجية التي مرّت على سطح الأرض ترتيبا زمنيا من الأقدم إلى الأحدث نسبة إلى بعضها بعضا، وقد استخدم العلماء مبادئ عدة في تأريخ العمر النسبي، وتقديره للأحداث الجيولوجية بعضِها بعضا؛ وهي:

مبدأ التعاقب الطبقي Principle of Superposition

تتكوّن الصخور الرسوبية في بيئات ترسيبية متنوعة قد تكون بحريّة أو قاريّة، وتحكُمها ظروف ترسيبية تتحكّم في نوع الطبقة الناتجة ومكوّناتها، وبتغير هذه الظروف ينتهي ترسيبُ طبقة ويبدأ ترسيبُ طبقة أخرى تعقبُها دون انقطاع في عملية الترسيب. وباستمرار عملية الترسيب وبتغيّر الظروف الترسيبية مثل درجة الحموضة ودرجة الحرارة تتراكم العديد من الطبقات الرسوبية بعضُها فوق بعض مكوّنةً ما يُسمّى التعاقبَ الطبقيَّ، ويُقصدُ بالتعاقب الطبقي بأنه مجموعة الطبقات الصخرية التي ترسّب بعضُها فوق بعض بشكل متوازٍ؛ بسبب تغير ظروف الترسيب، لكن دون انقطاع في عملية الترسيب، ويمكن دراستها ميدانيا حيث تتكشف. أنظر الشكل (8) الذي يوضّح تعاقبا طبقيّا.

الشكل (8): طبقات رسوبية متعاقبة، توضّح صخورا قديمة في الأسفل والصخور الأحدث في الأعلى.

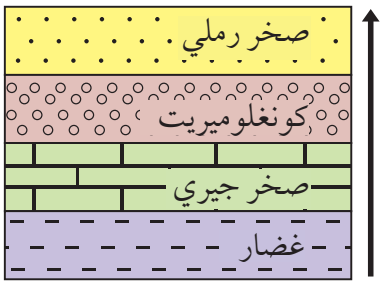
تتعاقب الصخور الرسوبية في أحواض الترسيب على هيئة طبقات أفقيّة وَفْقًا للمبدأ الذي وضعه العالِم الإيطالي ستينو (Steno) حيث ينصّ مبدأ التعاقب الطبقي Principle of Superposition على أنه «في مجموعة من الطبقات الصخرية المتعاقبة تكون الطبقة السفلى هي الأقدمَ، والطبقةُ العليا هي الأحدثَ».

ووفْقَ هذا المبدأ، يستطيع الجيولوجي في الميدان تأريخَ الصخور الرسوبية تأريخا نسبيا؛ وبهذا تكون كل طبقة أحدثَ من الطبقة التي تقع أسفلَها، وأقدمَ من الطبقة التي تعلوها؛ شريطةَ أن تكون هذه الطبقاتُ قد حافظت على وضعها الأفقي الأصلي، أو تعرّضت إلى تعديل بسيط في المَيل أو الاتجاه، كما هو الحال في الطبقات الصخرية ذاتِ التراكيب الجيولوجية البسيطة التي لم تتأثر بحركات تكتونية عنيفةٍ تسببت في تغيّر وضعها الأصلي. وينطبق ذلك أيضا على الطفوح البركانية. أنظر الشكل (9) الذي يوضّح طبقاتٍ رسوبيةً متعاقبةً.

أما إذا كانت الطبقات الصخرية قد تعرّضت لحركات تكتونيّة عنيفة أدت إلى طيِّها ثم انقلابِها؛ فلا يمكن تطبيق مبدأ التعاقب الطبقي عليها لترتيبها من الأقدم إلى الأحدث؛ بسبب تغيّر ترتيب تعاقبِها الأصلي؛ إذ تكون الطبقات الأقدمُ فوق الأحدث. أنظر الشكل (10) الذي يوضّح طبقاتٍ رسوبيةً مقلوبةً.

أبحثُ:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ، أبحث عن مفهوم الطبقية الأحفورية Biostratigraphy؛ وأصمّم عرضًا تقديميًا، وأعرضه أمام معلّمي، وزملائي في الصف.



الشكل (9): تعاقُبٌ طبقيّ.
أرتّب الطبقاتِ الصخريّةَ في التعاقب الطبقي من الأقدم إلى الأحدث.

أفكّر

كيف يمكن التعرّف على ترتيب الطبقات من الأقدم إلى الأحدث في حال تعرّض الطبقات الصخرية لحركات تكتونيّة عنيفة أدت إلى طيِّها، ثم انقلابها؟

الشكل (10): طبقاتٌ رسوبيةٌ تعرّضت لحركات تكتونيّة عنيفة أدت إلى طيِّها، ثم انقلابِها.

(أ)

(ب)

الشكل (11):
أ- صخور رسوبية تعرّضت لحركات تكتونيّة أدت إلى طيِّها.
ب- صخور رسوبية تعرّضت لحركات تكتونيّة أدت إلى ميلِها.
أصف ماذا يحدث للصخور الرسوبية المترسبة بشكل أفقي إذا تعرّضت لحركات تكتونيّة؟

مبدأ الترسيب الأفقي Principle of Original Horizontality

ينصّ مبدأ الترسيب الأفقي Principle of Original Horizontality على أن «الرسوبيات ومن ثم الصخور الرسوبية تترسّب أصلا على شكل طبقات أفقية؛ وذلك لأن الرسوبيات تتوضع غالبا على أرض منبسطة أو مستوية في قاع البحار، أو المحيطات. وإذا وجدت الطبقات مائلة أو مطويّة، فإن حدوث ذلك يكون نتيجة تأثير قُوى تكتونيّة حدثت بفعل حركة الصفائح الأرضية بعد عملية الترسيب الأفقي على هذه الطبقات». أنظر الشكل (11) الذي يوضّح صخورا رسوبية تعرّضت لحركات تكتونيّة.

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

تحتوي غالبية الصخور الرسوبية على أحافيرَ، عاشت في الفترة الزمنية التي ترسّبت فيها تلك الصخور. وقد وضع العالِم سميث (Smith) مبدأ تعاقب المجموعات الحيوانية والمجموعات النباتية Principle of Faunal and Floral Succession الذي ينصّ على أن «كل طبقة أو مجموعة طبقات من الصخور الرسوبية، تحوي أحافيرَ محدّدةً من الحيوانات والنباتات، تختلف عن تلك الموجودةِ في الطبقات الأقدم والطبقات الأحدث منها». وهذا يعني أن كل طبقة صخرية لها عُمْرٌ زمني محدّد اعتمادًا على الأحافير التي تحويها، وأن تتابع المجموعات الحيوانية والنباتية في التتابع الطبقي يبقى ثابتًا بغض النظر عن التغير في الخصائص الفيزيائية للصخور المكونة له.

وبذلك، نكون قد وضعنا مقياسا نقيس فيه العُمرَ النسبيَّ للطبقات حسب محتواها من الأحافير، ونستطيع أن نحدّد إذا كانت تلك الطبقات أحدثَ أو أقدمَ من طبقات أخرى أو لها العُمرُ نفسُه.

أبحثُ:
مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ، أبحث عن مفهوم عِلم الطبقات، وأعرض نتائج بحثي أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

(أ)

(ب)

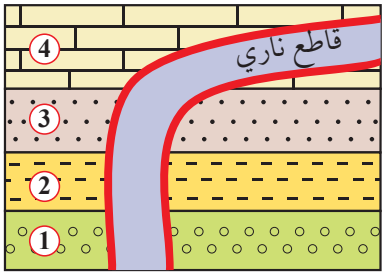
الشكل (12):
أ - صَدعـانِ يقطعـان مجموعـةً مـن طبقـات الصخـور الرسـوبية.
ب- قَواطِعُ ناريّـة تقطـع مجموعـةً مـن طبقـات الصخـور الرسـوبية.
أصف العلاقة بين القاطع والمقطوع.

مبدأ القاطع والمقطوع

Principle of Cross-Cutting Relationships

قد تجـدُ في الطبيعـة صَدْعًا يقطـع مجموعة من طبقات الصخور الرسوبية، أو صخرًا ناريًا يقطع صخورا أخرى، فأيٌّ من تلك التراكيب أو الصخور هو الأحدثُ وأيّها هو الأقدمُ؟

ينصّ مبدأ القاطع والمقطوع Principle of Cross-Cutting Relationships على أن «القاطع أحدثُ عمرًا من المقطوع سواءٌ أكان القاطع جسمًا ناريًا أم صدعًا تكتونيًا». فالتتابعُ الطبقيُّ من الصخور الرسوبية الذي يقطعه صدعٌ سيكون أقدمَ عمرًا منه، وفي النهاية يكون الصدعُ أحدثَ عمرًا من طبقات الصخور الرسوبية التي قطعها. أنظر الشكل (12) الذي يوضّح علاقة القاطع والمقطوع. ويكون القاطعُ الناريُّ أحدثَ عمرًا من الصخور الأخرى التي يقطعها، ويُستدَلُّ على ذلك من التحوّل التماسيّ أو الحراريّ Contact Metamorphism الذي يحدُث للصخور الموجودة على جانبي القاطع، إذ إن الماغما الساخنة تؤدي إلى التغيير في مكوّنات الصخور المعدِنية وخصائصها الفيزيائية. أنظر الشكل (13) الذي يوضّح اندفاعا لماغما ساخنةٍ داخلَ طبقات من الصخور الرسوبية، وقد أحدثت تحوّلا حراريًا تماسيًا.



الشكل (13): اندفاعُ لماغما ساخنةٍ داخلَ طبقات من الصخور الرسوبية.
أرتّب الأحداث الجيولوجية (1، 2، 3، 4)، والقاطع الناريّ، من الأقدم إلى الأحدث.

مبدأ الاستمرارية الجانبية Principle of Lateral Continuity

ينصّ مبدأ الاستمراريةِ الجانبية Principle of Lateral Continuity على أنّ «الصخور الرسوبيةَ تمتدّ جانبيا في جميع الاتجاهات على امتداد حوض الترسيب، وتقلُّ سماكاتُها تدريجيّا عند أطراف الحوض، وللطبقة الواحدة عمرٌ جيولوجيٌّ واحدٌ في أي مكان وُجِدتْ فيه ضمنَ الحوض الرسوبي»، ويُستخدَمُ هذا المبدأُ في التعرّف على امتداد الطبقات عند تعرّضها لعمليات حتٍّ وتعريةٍ، أو في عملية المضاهاةِ الصخرية وهي المطابقة بين التتابعات الصخرية في المناطق المختلفة اعتمادًا على تركيبها المعدني وخصائصها الفيزيائية. أنظر الشكل (14) الذي يوضّح مبدأ الاستمرارية الجانبية. وقد وجد الجيولوجيون صعوبة في تطبيق هذا المبدأ؛ لأنه من السهل تتبُّعُ طبقة صخرية متكشّفة لأمتار أو كيلومترات عدة، لكنَّ الأمرَ يختلف كثيرا في المناطق التي تغطيها سماكات كبيرة من التربة.

أبحثُ:

مستعينا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ، أبحث عن أهمية مبدأ تعاقبِ المجموعات الحيوانية، والمجموعات النباتية من الناحية العلمية، ومن الناحية التطبيقية؛ وأعرض نتائج بحثي أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

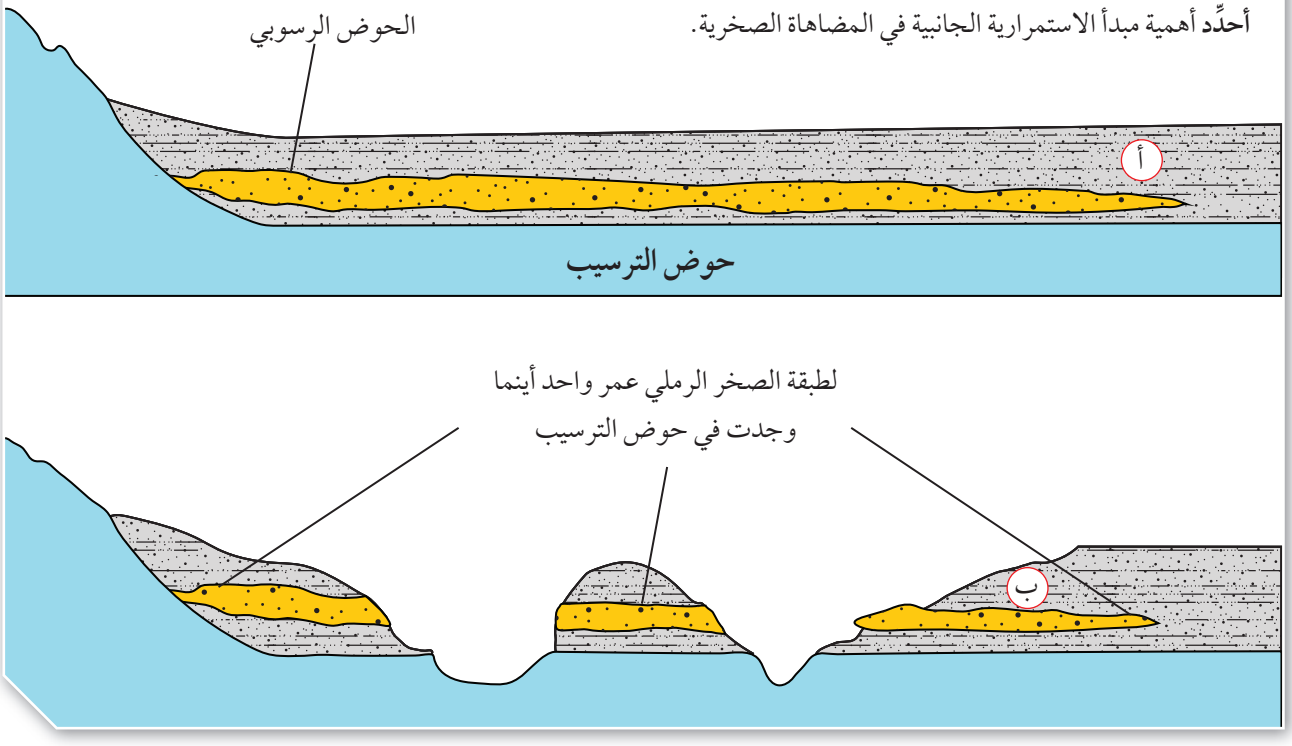
أتحقّق: أوضّح المقصود بمبدأ القاطع والمقطوع.

الشكل (14): مبدأ الاستمرارية الجانبية

أ- طبقة من الصخر الرملي قبلَ تعرُّضِها لعمليات الحتِّ والتعرية.

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

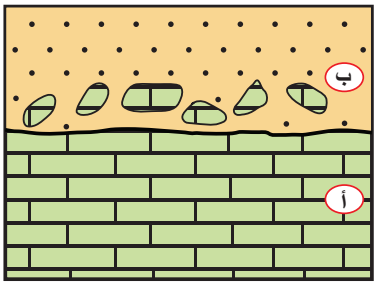
أحدِّد أهمية مبدأ الاستمرارية الجانبية في المضاهاة الصخرية.



مبدأ الاحتواء Principle of Inclusion

ينصّ مبدأ الاحتواء Principle of Inclusion على أن «الجسمَ الصخريّ الذي يحوي قِطَعًا صخرية من جسم صخري آخرَ يكون أحدثَ من القطع الصخرية التي يحويها». أنظر الشكل (15) الذي يوضّح أن الجسم الصخري (ب) يحوي قِطَعًا صخرية من الجسم الصخري (أ)، فيكون (ب) أحدث من (أ). وقد يحدث الاحتواء بين صخور نارية وصخور رسوبية، أو بين صخور رسوبية وصخور رسوبية أخرى، أو بين صخور نارية وصخور نارية أخرى.

ولتعرّف الاحتواء بين أنواع الصخور المختلفة أنفِّذُ النشاط الآتي:



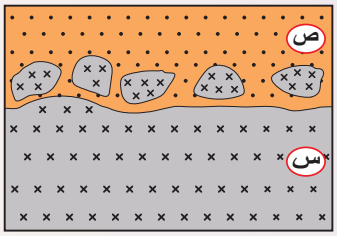
الشكل (15): احتواء الجسم الصخري (ب) قطعا صخرية من الجسم الصخري (أ) .

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

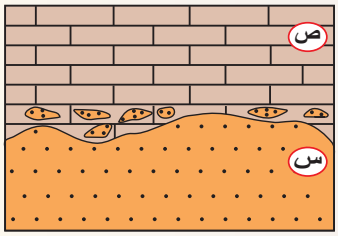
نشاط

مبدأ الاحتواء

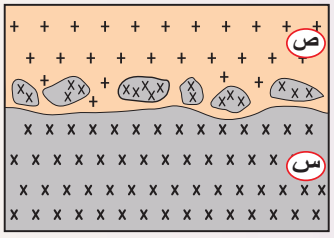
أدرسُ الأشكال الآتية التي توضّح الاحتواء بين أنواع الصخور المختلفة، ثم أجيب عن الأسئلة التي تليها:



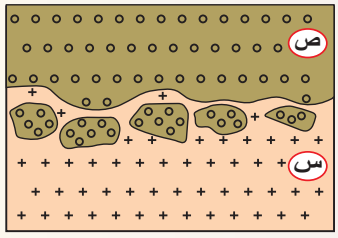
(أ): قطع من الصخر الناري (س) داخل الصخر الرسوبي (ص)



(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- أحدِّدُ الصخر الأقدمَ، والصخر الأحدثَ في الشكلين (أ، ج).

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

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

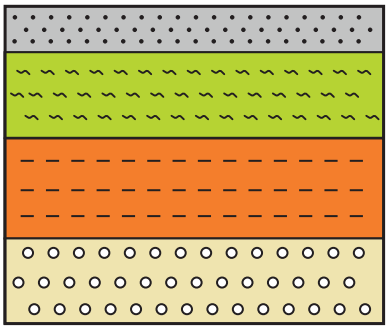
التوافق وعدم التوافق في الطبقات الصخرية
Conformity and Unconformity in Rock Layers

تعلّمتُ سابقا مفهوم التعاقبِ الطبقي، وأنه لا يوجَدُ فاصلٌ زمني بين انتهاء ترسيب طبقة، وبداية ترسيب طبقة أخرى في التعاقب الواحد. فالطبقاتُ الصخرية الرسوبية تكون فيه متوازيةً ومتتالية زمنيّا؛ أي متوافقةً، إلا أننا لا نجد هذا في الطبيعة دائمًا، عندئذٍ تصبح العلاقة بين الطبقات الرسوبية علاقةَ عدمِ توافق. فما المقصود بالتوافق؟ وما أنواع عدمِ التوافق؟ وكيف نشأت؟

أعِـــدُّ فيلـمًا قصـيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلام (movie maker) يوضّح مبادئ التأريخ النسبي، وأحرصُ على أن يشملَ الفيلمُ صورًا توضيحيةً، ثمّ أشاركه معلّمي، وزملائي في الصف.

التوافق Conformity

يُعرَفُ التوافقُ على أنه ترتيب الطبقات الصخرية بعضُها فوق بعض بشكل متوازٍ، ومتتالٍ زمنيا دون حدوث انقطاع في عملية الترسيب. أنظر الشكل (16) الذي يوضّح طبقات صخرية متوافقة، إلا أن الطبقات الصخرية لا توجَدُ دائما في الطبيعة بشكل متوافق، فماذا تُسمّى الطبقاتُ الصخريةُ غيرُ المتوازيةِ، أو التي حدث فيها انقطاع في الترسيب؟



الشكل (16): طبقات صخرية رسوبية متوازية ومتتالية زمنيّا.

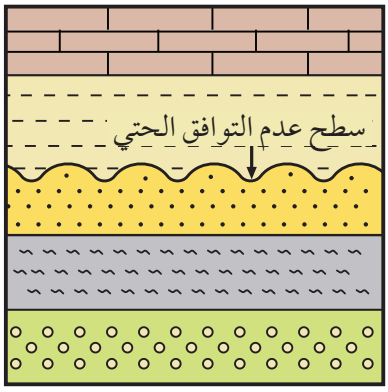
عدم التوافق Unconformity

تكون العلاقات بين الطبقات الصخرية الرسوبية غيرَ متوافقة؛ عندما تكون الطبقات الصخرية غيرَ متوازية، أو تفصل بينها أسطُحُ تعرية، أو أسطُحٌ تشير إلى انقطاع في الترسيب. وتُسمّى هذه الأسطُحُ أسطُحَ عدم التوافق؛ حيث تدل هذه الأسطح على أن الطبقات الواقعةَ أسفلَ سطح عدم التوافق قد تكشّفت وظهرت على سطح الأرض لفترة زمنية طويلة، ثم تعرضت لعمليات حَتٍّ وتعرية أزالت جزءا من التعاقب الطبقي، أو تعرضت لفترات زمنية طويلة انقطع فيها الترسيب، ثم غُمِرَت لاحقا بالبحر، وحدث الترسيب فوقها من جديد مشكّلاً تعاقبًا طبقيّا جديدًا. ويُقسَمُ عدمُ التوافق إلى أنواع عِدّةٍ، هي:

عدم التوافق الحَتّيّ Disconformity

عــدم التوافق الحَتّيّ هو سطــح متعرّجٌ يفصل بين مجموعتين متوازيتين مـن الصخور الرســوبية، التي غالبا ما تكون أفقية. أنظر الشكل (17) الذي يوضح طبقات متوازيةً يفصل بينها سطحُ عدمِ التوافق الحَتّيّ.

ويحــدث عدم التوافق الحَتّيّ عندما تؤدي عمليات الرفع إلى انحسار مياه البحر عن التعاقب الطبقي المترسّب في قاعه، ثم تعرّضه إلى عمليات حَتٍّ وتعرية تعمل على إزالة جزء منه، ثمّ ظهورِ تعرّجات في سطحه، وبحدوث عمليات خَفْضٍ للتعاقب الطبقي وغَمْرِه بمياه البحر، وعَودَة الترسيب فوقه مرة أخرى، يتكون تعاقب طبقي جديد يفصل بينهما سطحُ عدم توافق حَتّيٍّ.

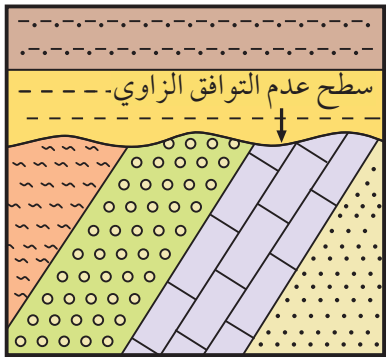


الشكل (17): طبقات متوازية يفصل بينها سطح عدم التوافق الحَتّيّ.

أعِــدُّ فيلـمًا قصـيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلام (movie maker) يوضحُ التوافق، وعــدم التوافــق في الطبقــات الصخريــة، وأحــرصُ عــلى أن يشـملَ الفيلـمُ صـورًا توضيحيةً، ثـمّ أشـاركه معلّمـي، وزملائـي في الصــف.

عدم التوافق الزاوي Angular Unconformity

يُسمّى السطحُ الذي يفصل بين طبقات رسوبية مائلة في أسفل طبقات رسوبية أفقية بسطح عدمِ التوافق الزاوي. أنظر الشكل (18) الذي يوضّح عدم التوافق الزاوي. حيث الطبقات الرسوبية السّفليةُ المائلةُ قد ترسّبت أولا بشكل أفقي في قاع البحر، ثم تعرّضت لحركات تكتونيّة أدّت إلى مَيلِها ورفعها، ثم انحسر البحر عنها، ما أدى إلى تعرّضها لعمليات الحَتٍّ والتعرية التي أزالت جزءا من التعاقب الطبقي، ثم حدث لها خفض وغُمِرت بمياه البحر فترسبت طبقاتٌ أفقيةٌ جديدة، وتشكّل سطحُ عدم التوافق الزاوي الذي يفصل بين تعاقُبَين رسوبيّين.

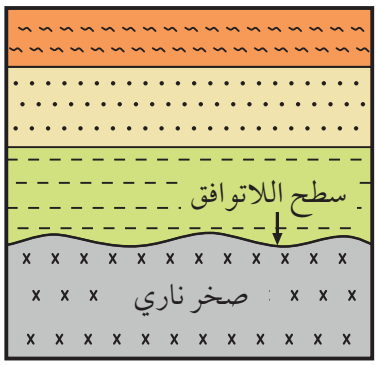


الشكل (18): عدم التوافق الزاوي.

اللاتوافُقُ Nonconformity

اللاتوافُقُ هو السطح الذي يفصل بين صخور رسوبية حديثة ترسّبت فوق صخور نارية، أو صخور متحولة قديمة. أنظر الشكل (19) الذي يوضح اللاتوافُقَ. فمثلا صخرُ الغرانيت كما هو معلوم يتكوّن من تبريد وتبلور الماغما في باطن الأرض، لكنه قد يُرفعُ إلى سطح الأرض بفعل الحركات التكتونيّة؛ عندها يتعرض إلى عمليات حَتٍّ وتعرية، وعندما يتعرض لعمليات خفض ويُغمَرُ بالمياه تترسّب طبقاتٌ رسوبيةٌ جديدةٌ فوقه يفصل بينهما سطحُ عدم توافق، يسمى اللاتوافُقَ.

ولتعرّف كيفية تطبيق المبادئ التي اعتُمِدت في التأريخ النسبي للأحداث الجيولوجية أنفّذُ النشاط الآتي:

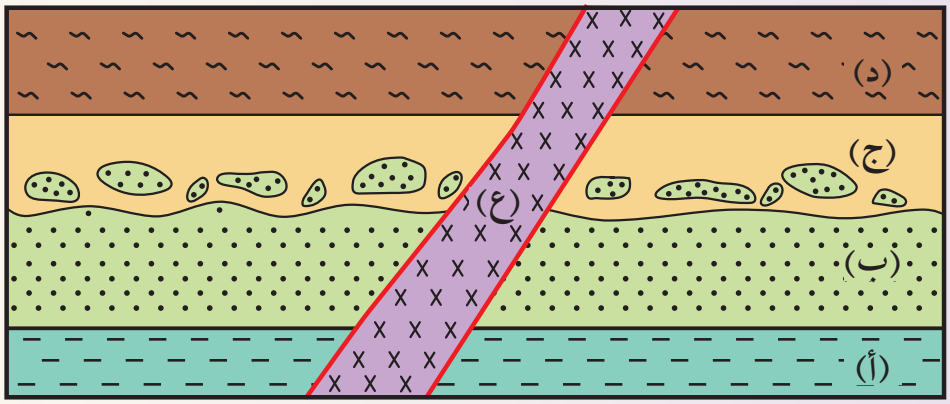


الشكل (19): يُسمّى السّطحُ الذي يفصل بين صخور رسوبية حديثة ترسبت فوق صخور نارية أو صخور متحوّلة قديمة سطحَ اللاتوافُقِ.

نشاط

مبادئ التأريخ النسبي

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



التحليل والاستنتاج:

1- أستنتِج عدد التعاقبات الرسوبية.

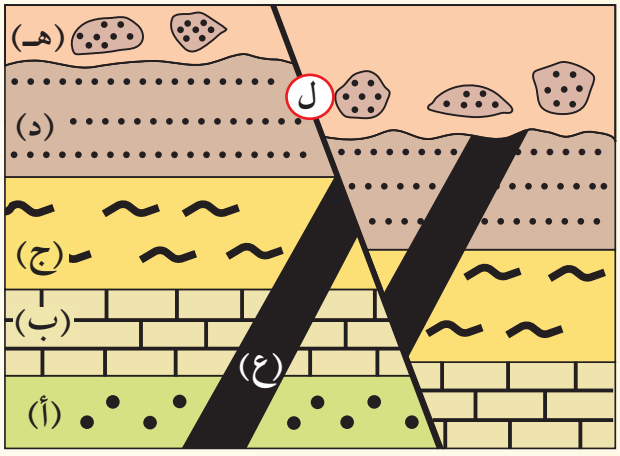
2- أحدِّد عدد سطوح عدم التوافق، وأنواعَها.

3- أرتِّب الأحداث الجيولوجية (أ، ب، ج، د، ع) من الأقدم إلى الأحدث، ذاكرا المبادئ التي اعتمدت عليها.

4- أوضِّح تأثير القاطع الناري في الطبقات الرسوبية (أ، ب، ج، د).

مراجعة الدرس

1. أوضِّح: كيف يمكن استخدام مبدأ تعاقب الطبقات في تحديد الأعمار النسبية للصخور؟
2. **أقارِن** بين التوافق، وعدم التوافق من حيث ظروفُ التكوّن.
3. **أفسِّر** وجود سطحٍ غيرِ مستوٍ بين مجموعتين من الطبقات الصخرية الرسوبية.
4. أدرُس الشكل الآتيَ الذي يوضح تعاقباتٍ لصخور رسوبية (أ، ب، ج، د، هـ)، والقاطع الناري (ع)، والصَّدع (ل)، ثم أجيب عمّا يليه من أسئلة.



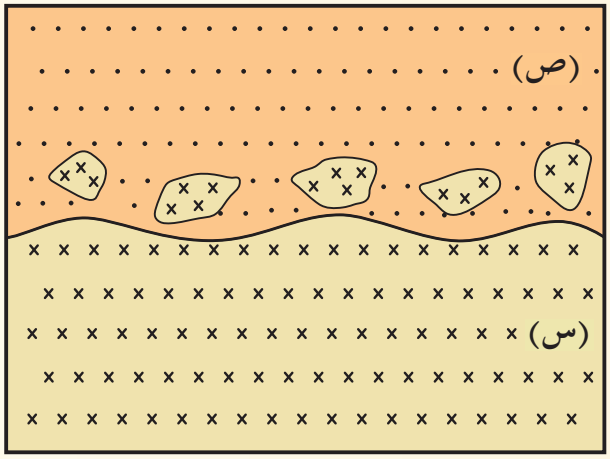
أ. **أرتِّب** الأحداث الجيولوجية من الأقدم إلى الأحدث.

ب. أحدِّد عدد التعاقبات الرسوبية.

ج. أحدِّد عدد سطوح عدم التوافق.

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

5. **أتوقّع** كيف تم احتواء القِطَع الصخرية من الصخر الناري (س) في أسفل طبقة الصخر الرسوبي (ص)؛ في الشكل الآتي:



الدرس 3 التأريخ المطلَق للصخور

Absolute Dating of Rocks

الفكرة الرئيسة:

يستخدَمُ التأريخُ المطلَق في تحديد أعمار الصخور بدقة (بالسنوات)، ومن ثم تحديد عمر الأرض.

نتاجات التعلّم:

- أتعرّف على عمر الصخور باستخدام التأريخ المطلَق.
- أربط بين العمر المطلَق للنيازك وبين عمر الأرض والشمس.

المفاهيم والمصطلحات:

الاضمِحلال الإشعاعي Radioactive decay

عُمْرُ النِّصف Half-life

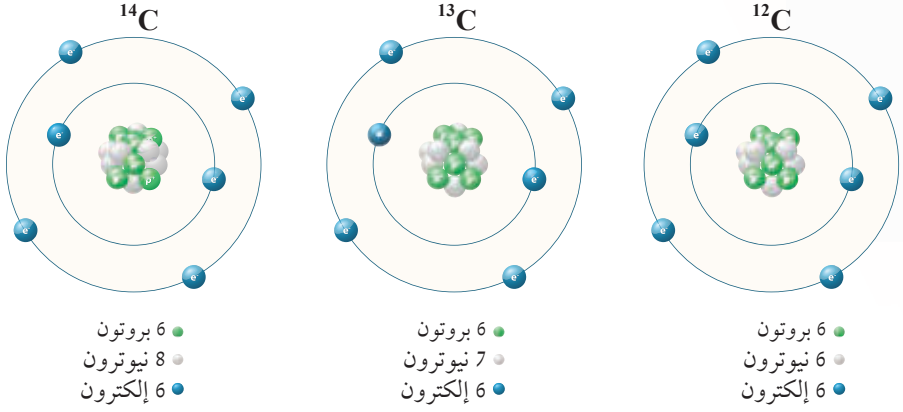
التأريخ المطلَق Absolute Dating

التأريخ باستخدام النشاط الإشعاعي
Dating with Radioactivity

درست سابقًا أن التأريخ النسبيَّ يرتّبُ الأحداث الجيولوجية التي مرّت على سطح الأرض وفقَ حدوثها، ولكنه لا يحدّد زمن تلك الأحداث أو أعمار الصخور بدقة (بالسنوات)؛ لذلك لجأ العلماء إلى استخدام طرُق أخرى تعتمد على النشاط الإشعاعي للعناصر المشِعّة الموجودة في الصخور لإعطائها أعمارا محدَّدة. فما هو النشاط الإشعاعي؟ وكيف يحدث؟

النشاط الإشعاعي Radioactivity

يتكوّن العنصر من النوع نفسِه من الذرات، ويتم تحديد نوع العنصر بعدد البروتونات الموجودة في نَواته. وهو ما يُعرف بالعدد الذري للعنصر. وقد يختلف عدد النيوترونات في نَواة ذرة العنصر الواحد ما يسبب اختلاف العدد الكُتليِّ له. وتُعرف ذراتُ العنصر الواحد التي لها العدد الذري نفسُه، ولكنها تختلف في العدد الكتلي بالنظائر Isotopes. أنظر الشكل (20) الذي يمثل بعض نظائر الكربون.



الشكل (20): بعض نظائر الكربون التي تختلف في عدد النيوترونات في أنوية ذراتها.

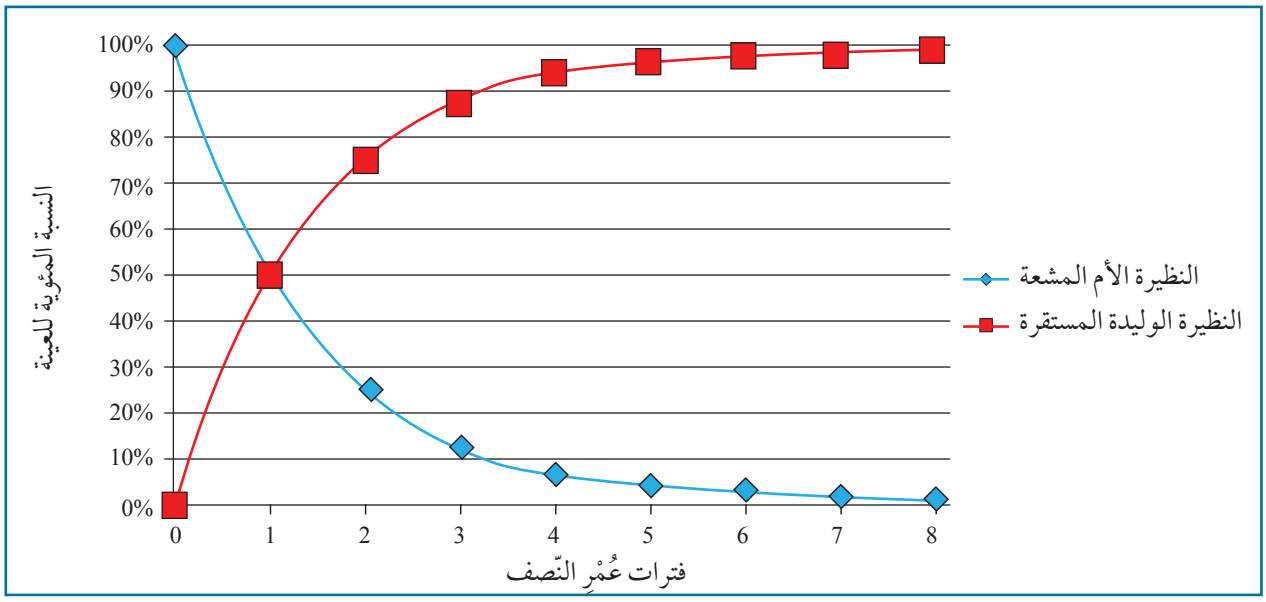
فمثلًا العددُ الذري لعنصر الكربون (C) هو 6؛ لأنه يحتوي على ستة بروتونات في نَواته، بينما تحتوي بعضُ عناصره على أعداد مختلفة من النيوترونات منها: 6، 7، 8؛ لذلك توجد للكربون نظائرُ مختلفةٌ منها ^{12}C، ^{13}C، ^{14}C.

ترتبط البروتونات والنيوترونات معًا في معظم ذرات النظائر بقُوى ترابطٍ نووية قوية، ولذلك تكون معظم النظائر مستقرة. إلا أن بعض النظائر تكون غير مستقرة أي مشعة؛ فتتحلّل ذراتها تلقائيًا بإطلاق جُسَيْمات ألفا (α) وبيتا (β) وأشعة غاما (γ) منتجة نظائر أكثرَ استقرارًا، وقد يستمرّ التحلّل الإشعاعي لبعض الذرات بعدد من المراحل حتى يتكونَ نظيرٌ مستقرّ، أي غيرُ مشعّ. فمثلًا، يتحلّل اليورانيوم (^{238}U) مع الزمن مكوّنًا نظيرَ الرصاص (^{206}Pb) المستقر. ويُسمّى نظيرُ العنصر غيرِ المستقرّ، أو المشعّ بالنظيرة الأم المشعّة. بينما تسمّى النظيرةُ الناتجة عن اضمِحلال النظيرة الأم المشعّة بالنظيرة الوليدة، وتُسمّى العمليةُ التي تتحلّل فيها ذراتُ العناصر المشعّة إلى ذرات عناصرَ مستقرّة بالنشاط الإشعاعي، أو الاضمِحلال الإشعاعي Radioactive Decay.

عُمْرُ النِّصف Half-Life يحدث تحلّلُ نظائر العناصر المشعّة إلى النظائر المستقرة في زمن محدّد ثابت يُسمّى عُمْرَ النِّصف. ويُعرَفُ عُمْرُ النِّصف Half-Life بأنه الزمنُ اللازم لاضمِحلال نصف عدد ذرات النظيرة الأم المشعّة في العينة إلى ذرات نظيرة وليدة أكثرَ استقرارًا، أو مستقرّة. أنظر الشكل (21) الذي يوضّح العلاقة بين فترات عُمرِ النّصف والنسبة المئوية لكلٍّ من النظيرة الأم المشعّة والنظيرة الوليدة المستقرة.

أبحثُ:

يحدث الاضمِحلالُ الإشعاعي بشكل تلقائي، حيث يتحول في تلك العمليةِ العنصرُ المشعُّ إلى عنصر آخرَ أكثرَ استقرارًا أو مستقرّا؛ نتيجة فقدِه جُسَيماتِ ألفا (α)، أو جُسَيمات بيتا (β) وإطلاقَ أشعة غاما (γ). أبحث: كيف تحدث الأنواع الثلاثة للاضمِحلال الإشعاعي، وأذكر أمثلة على العناصر التي تحدُث فيها.



الشكل (21): تتحول النظيرة الأم المشعة عن طريق الاضمحلال الإشعاعي إلى نظيرة وليدة مستقرة.

أقارن بين منحَنى كل من النظيرة الأم المشعة المتبقية، والنظيرة الوليدة المستقرة في فترة عُمْرِ النّصف الثانية.

يبيّن الشكل (21) أن فترة عُمْرِ النّصف في البداية تساوي صفرا، وهذا يدل على أن الاضمِحلال الإشعاعيَّ لم يبدأ بعد، حيث تحتوي العينة في البداية (عند فترة عُمْرِ النّصف صفر) على النظيرة الأم المشعة بنسبة 100%، كما يظهر بالمنحَنى الأزرق؛ وتكون عندها نسبةُ النظيرة الوليدة المستقرة تساوي صفرا أيضًا، كما يظهر بالمنحَنى الأحمر، وبزيادة عدد فترات عُمْرِ النّصف يبدأ النقصانُ في النسبة المئوية لذرات النظيرة الأم المشعّة المتبقية يقابله زيادة في النسبة المئوية لذرات النظيرة الوليدة المستقرة؛ حتى تقترب النسبة المئوية لذرات الأم المشعّة المتبقية من الصفر.

أتحقّق: أوضِّح العلاقة بين النظيرة الأم المشعّة والنظيرة الوليدة المستقرة.

ولتوضيح العلاقة بين النظيرة الأم المشعّة المتبقية والنظيرة الوليدة المستقرة أنفّذُ التجربة الآتية:

أبحثُ:

باستخدام مصادر المعرفة المختلفة أبحث عن جهاز مطياف الكتلة Mass Spectrometry الذي يستخدم لقياس كميات النظائر المختلفة، من حيث تركيبه وأهميّته في تحديد الأعمار المطلقة للصخور، ثم أعد عرضًا تقديميًا وأعرضه على معلّمي، وزملائي في الصف.

التّجربة 1

نمذجة أعمار النِّصف

الموادّ والأدوات: مِقصّ، شريط ورقي، مِسطرة مترية، لوْح من الكرتون، أقلام مختلفة الألوان.

إرشادات السلامة:

– الحذر عند استخدام المِقصّ في قصّ الشريط الورقي.

خطوات العمل:

1. أحضِر لوحًا من الكرتون لتمثيل منحَنى الاضمِحلال الإشعاعي، وأرسُم عليه محورين (سينيّ وصاديّ)، حيث يمثل المحور السينيُّ عدد فترات عُمْرِ النّصف، ويمثل المحور الصاديُّ عدد الذرات.
2. أستخدِم الشريط الورقيّ، وأقيس طوله وأمثل قيمتَه على الرسم البياني، حيث يمثل عدد ذرات الأم المشعّة الأصلية عند فترة عُمْرِ النّصف (صفر).
3. أقصّ الشريط من المنتصَف وأكوّن جزأين متساويين، حيث يمثل أحدُهما النظيرةَ الأمَّ االمشعة المتبقية، والآخرُ يمثّل النظيرة الوليدة المستقرة، وأقيس طولهما، ثم أمثل قيمتهما على الرسم البياني لفترة عُمْرِ النّصف الأولى.
4. أقصّ الشريط الناتجَ الذي يمثل النظيرةَ الأمّ المشعة المتبقية إلى جزأين متساويين حيث يمثل أحدُهما النظيرةَ الأمّ المشعة المتبقية، وأقيس طوله، ثم أمثل قيمته على الرسم البياني لفترة عُمْرِ النّصف الثانية.
5. أجمَع طول الشريط الآخرِ الناتجِ في الخطوة 4 والذي يمثل النظيرةَ الوليدةَ المستقرة مع الطول الناتج لها في الخطوة 3، ثم أمثل قيمة المجموع على الرسم البياني في فترة عُمْرِ النّصف الثانية.
6. أكرّر الخطوة 4 لتمثيل ذرات النظيرةِ الأمّ المشعة المتبقية لفترة عُمْرِ النّصف الثالثة.
7. أجمَع طول الشريط الناتجِ في خطوة 6 مع الطول الناتج في الخطوة 5؛ لتمثيل عدد ذرات النظيرة الوليدة المستقرة في فترة عُمْرِ النّصف الثالثة.
8. أمثل البياناتِ لفترة عُمْرٍ رابعة بقصّ الشريط الناتج، وقياسِ طوله ليمثل النظيرةَ الأمّ المشعة المتبقية. وأجمع طول الشريط الآخرِ الذي يمثل النظيرةَ الوليدةَ المستقرة مع الطول الناتج في الخطوة 7 وأمثل قيمتَهما على الرسم البياني.
9. أرسم المنحَنى الذي يمثل النظيرةَ الأمّ المشعة المتبقيةَ، والمنحَنى الذي يمثل النظيرةَ الوليدة المستقرة.

التحليل والاستنتاج

1- أحدِّد: ماذا تسمى النظيرةُ عند فترة عُمْرِ النّصف صفر.

2- **أحسُب** النسبة بين النظيرة الأمّ االمشعة المتبقية، والنظيرة الوليدةِ المستقرة عند فترة عُمْرِ النّصف الثالثة.

3- **أقارِن** بين منحَنى النظيرة الأمّ المشعة المتبقيةِ، ومنحَنى النظيرة الوليدةِ المستقرة.

4- **أستنتِج** قيمة النظيرة الوليدةِ المستقرة بعد فترة عُمْرِ النّصف الخامسة.

التأريخ الإشعاعي للصخور Radiometric Dating of Rocks

يتم تحديد الأعمارِ المطلقة للصخور وكذلك الأحداثِ الجيولوجية التي مرّت على سطح الأرض باستخدام عملية الاضمِحلال الإشعاعي لبعض ذرات نظائر العناصر التي تتحلل بشكل طبيعي في الصخور، وتسمّى طريقةُ حساب عمرِ الصخور والمعادن التي تحتوي على نظائرَ مشعّةٍ بشكل دقيق ومحدد بالتأريخ المطلَق Absolute Dating. يمثل العمر المطلَق عدَد السنوات التي انقضت منذ تشكُّلِ المعدِن وانحباس النظيرة الأمِّ المشعة في داخلِه حتى وقتنا الحاضر، ويقيس العلماء في التأريخ المطلَق باستخدام جهاز مطياف الكتلةِ النسبةَ بين النظيرة الأم المشعة المتبقية إلى النظيرة الوليدة المستقرة في عينة المعدِن، ثم يتم حسابُ الأم الأصلية لتحديد فترات عمرِ النّصفِ التي انقضت منذ بداية الاضمِحلال الإشعاعي، وكلما كانت العينة المأخوذة من الصخر المرادِ قياسُه أقدمَ احتوت على كمية أكبرَ من النظيرة الوليدة المستقرة.

ويُشترَطُ لاستخدام طرائق الاضمِحلال الإشعاعي في التأريخ المطلَق أن تكون كميات النظيرة الأم المشعةُ المتبقية والنظيرة الوليدة المستقرة قابلةً للقياس، وأن يكون عمرُ النّصفِ للعنصر المرادِ تحليلُه محدّدًا بدقة، وأن تبقى بلورات المعدِن المرادِ استخدامُها مغلقةً، حيث لا تسمح في دخول أو خروج أيٍّ من ذرات النظيرة الأمِّ المشعة المتبقية، أو ذرات النظيرة الوليدة المستقرة الناتجة من الاضمِحلال الإشعاعي. ومن المعادن المستخدمة في تحديد العمر المطلَق للصخور معدِنُ الزركون الذي يحوي وقتَ تبلوره عنصرَ اليورانيوم المشع، ولكنه لا يحوي عنصرَ الرصاص. أنظر الشكل (22).

أعِدُّ فيلمًا قصيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلام (movie maker) يوضّح كيفيةَ تحوّل النظيرة الأم المشعّة الأصلية، إلى نظيرة وليدة مستقرة.

الشكل (22): تُستخدَم بلورات الزركون في عمليات الاضمِحلال الإشعاعي؛ لأنها تحتوي على عنصر اليورانيوم المشع عند تبلورها ولا تحتوي على عنصر الرصاص المستقر.

أفكّرُ

ما تأثيرُ كلٍّ من الظروف الفيزيائية والكيميائية على معدل الاضمِحلال الإشعاعي للعناصر المشعة.

النظائر المستخدمة في التأريخ المطلق
Isotopes Used in Absolute Dating

توجَدُ العديدُ من النظائر المشعة في الطبيعة، وكما ذُكِرَ سابقًا، فإن معدلَ اضمحلال تلك النظائر وتحوُّلَها إلى نظائرَ وليدة مستقرة دائما ثابتٌ. كما أن مقدار أعمار النّصفِ لتلك النظائر مختلفةٌ؛ فبعضُها يحتاج إلى فترات زمنية قصيرة جدّا لا تتعدى الثانية الواحدة ليتحول إلى نظيرة وليدة مستقرة مثل الليثيوم (^{8}Li)، وبعضُها يحتاج تحوُّلُه إلى فترة زمنية طويلة تقدَّرُ بمليارات السنين مثل البوتاسيوم (^{40}K). كذلك فإن العديد من تلك النظائر تحتاج إلى سلسلة من التحوّلات حتى تصلَ إلى نظيرة وليدة مستقرة مثلِ نظائرِ اليورانيوم. ويَستخدِمُ العلماءُ خمسةَ نظائرَ بشكل خاص في تحديد الأعمار المطلَقة للصخور وهي: يورانيوم (^{238}U)، يورانيوم (^{235}U)، بوتاسيوم (^{40}K)، روبيديوم (^{87}Rb)، كربون (^{14}C)؛ وذلك لأن عمرَ النّصف لمعظمها يوازي الأحداث الجيولوجية. أنظر الجدول (2).

الجدول (2): أعمار النّصفِ للنظائر الإشعاعية المستخدَمة في تأريخ الصخور

النظيرة الأم المشعة الأصلية	النظيرة الوليدة المستقرة	عُمْرُ النّصف
يورانيوم (^{238}U)	رصاص (^{206}Pb)	4.47 مليار سنة
يورانيوم (^{235}U)	رصاص (^{207}Pb)	710 مليون سنة
بوتاسيوم (^{40}K)	آرغون (^{40}Ar)	1.25 مليار سنة
روبيديوم (^{87}Rb)	سترنشيوم (^{87}Sr)	50 مليار سنة
كربون (^{14}C)	نيتروجين (^{14}N)	5730 سنة

* الجدول للمطالعة الذاتية.

حساب أعمار الصخور Calculating Ages of Rocks

يتم حساب العمر المطلَق للصخور التي تحتوي على نظائرَ مشعةٍ عن طريق الخطوات الآتية:

- تحديد عـــدد ذرات النظيرة الأمّ المشعة المتبقية، والنظيرة الوليـــدة المستقرة، حيث يتم حسابُ النظيرة الأم المشعة الأصلية والتي تمثل ذرات العنصر المشع لحظةَ تبلور المعدِن، وبدء عملية الاضمِحلال الإشعاعي كالآتي:

$$N_0 = N_p + N_d$$

حيث إن:

N_0: عدد ذرات النظيرة الأم المشعة الأصلية.

N_p: عدد ذرات النظيرة الأم المشعة المتبقية.

N_d: عدد ذرات النظيرة الوليدة المستقرة.

- تحديد عدد فترات عمرِ النّصف (n)، عن طريق إيجاد النسبة بين عدد الذرات النظيرة الأم المشعة المتبقية إلى عدد ذرات النظيرة الأم المشعة الأصلية.

أوعن طريق العلاقة:

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

n: عدد فترات عمرِ النّصف.

- إيجادُ العمر المطلَق للمعدِن، أو الصخر عن طريق ضربِ عدد فترات عمرِ النّصف التي مرت على العينة بقيمة عمرِ النّصف للعنصر المشع المستخدَم كما في المعادلة الآتية:

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

حيث إن:

T: العمر المطلَق.

$T_{\frac{1}{2}}$: عمر النّصف.

أبحثُ:

باستخدام مصـــادر المعرفة المختلفة، أبحث عن نظائرِ عنصرِ اليورانيوم، وأحدّد: أيُّها يتكـــون بشكل طبيعي، وأيُّها يتكون بالمفاعلات النووية، وأحدّد أعمارَ النّصـــف لبيان أيٍّ منها يُستخدَمُ في تحديد الأعمـــار المطلقة للصخور. ثم أرسم باستخدام برمجية إكسل رسوما بيانية توضح ذلك وأعرضه على معلّمي، وزملائي في الصف.

مثال

تم تحليل عينة لبلورة أحد المعادن بجهاز مطياف الكتلة، فوُجِدَ أنها تحتوي على 11915 ذرةً من العنصر المشع، و 35745 ذرةً من العنصر الوليد المستقر، فإذا كان عمرُ النّصف للعنصر المشع يساوي 2.7 m.y فكم عمرُ عينة المعدِن؟

الحل:

أولا: نجد قيمة النظيرة الأم الأصلية (N_0):

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

ثانيا: نجد عدد فترات عمرِ النّصف (n)

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

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

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

ويمكن إيجادُ n أيضًا عن طريق:

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

$n = 2$

ثالثا: نجد عمرَ العينة:

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

$T = 2.7 \times 2 = 5.4$ m.y

تمرين

عثر العلماء على أحد أحافير الثدييات المفترسة المنقرضة التي كانت تعيش في الماضي، وتم تحليل عينة من عظام هذه الأحفورة، فوُجِدَ أنها تحتوي على كمية من النيتروجين (^{14}N) تساوي 31 ضعفًا مما فيها من الكربون (^{14}C)، فكم عمرُ الأحفورة، علمًا بأن عمرَ النّصف للكربون 5730 سنة.

التأريخ الإشعاعي وأنواع الصخور

Radiometric Dating and Rocks Types

تعلّمت سابقًا أن العلماء والمؤرخين يستخدمون التأريخ الإشعاعيَّ لتحديد أعمار الصخور، والأحداث الجيولوجية التي مرت على سطح الأرض، فهل يمكن تأريخُ أعمار جميع أنواع الصخور؟ وما هي أفضلُ أنواع الصخور التي يمكن تأريخها بالنشاط الإشعاعي؟

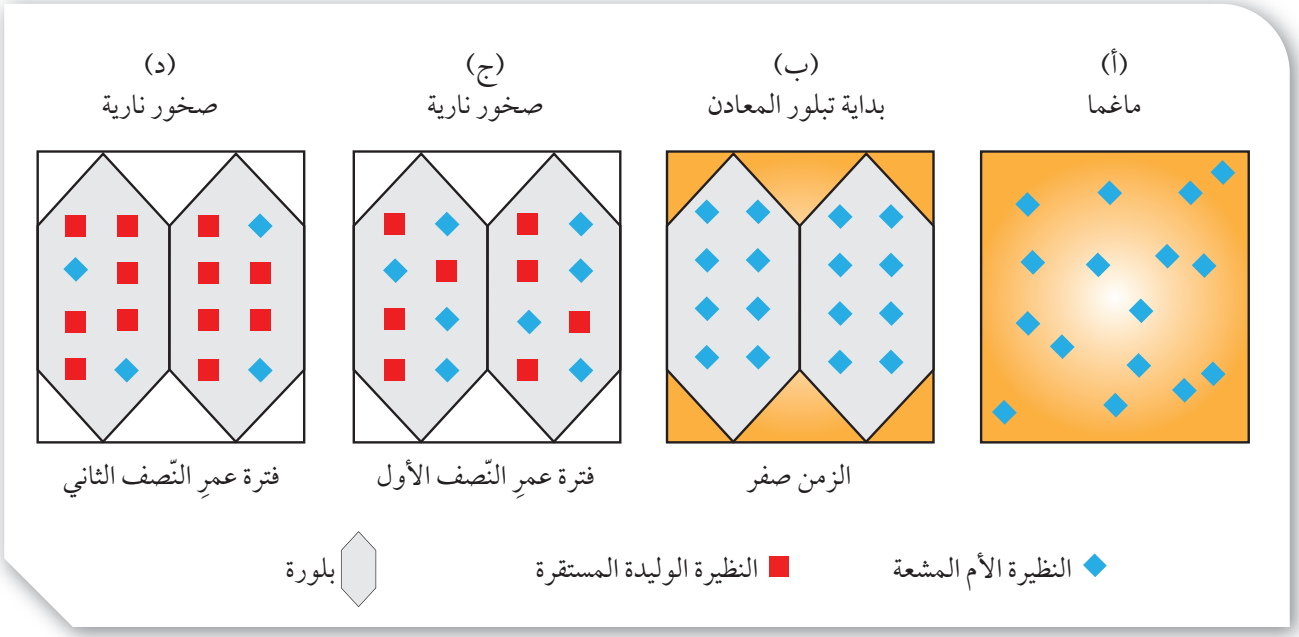
أفكّرُ

في الاضمحلال الإشعاعي؛ هل يمكن أن تتحول جميع ذرات النظيرة الأم المشعة إلى نظيرة وليدة مستقرة؟ لماذا؟

تأريخ الصخور النارية Igneous Rocks Dating تُعَدّ الصخورُ النارية أفضلَ الصخور استخدامًا في التأريخ الإشعاعي؛ وذلك لأن معادنها التي تستخدم في التأريخ الإشعاعي عندما تتبلور من الماغما تحتوي على النظيرة الأم المشعة فقط، ومع الزمن تتحول إلى نظيرة وليدة مستقرة، وتحتفظ البلورات بكلا النظيرين دون كسبٍ أو فقدان؛ لذلك يكون عمرُ الصخر الناري الذي يُقاسُ بطرُق التأريخ الإشعاعي يسجّل عمرَ الصخر منذ تبلور المعادن المكوّنة له من الماغما، وانحباس النظيرة الأم المشعة في البلورة لا نشأة الماغما. ويمثل الشكل (23) تحلُّلَ ذرات النظيرة الأم المشعة الأصلية إلى ذرات نظيرة وليدة في بلورات أحد المعادن في الصخور النارية، إذ يمثل الشكل (23/أ) توزُّعَ ذرات النظيرة الأم المشعة الأصلية في الماغما، وعندما تبرد

الشكل (23): تتحوّل النظيرة الأم المشعة الأصلية إلى نظيرة وليدة داخلَ بلورة المعدِن.

أحسب كم نسبة الذرات الأم المشعة المتبقية إلى ذرات النظيرة الوليدة المستقرة إذا مرت فترتان من عمرِ النّصف؟



الماغما، تبدأ المعادن المختلفة في التبلور فيها، وتحبِس النظيرة الأم المشعةَ الأصلية في التركيب البلوري للمعدِن. أنظر الشكل (23/ ب) حيث يكون عمرُ الصخر عندها يساوي صفرا، وعددُ فترات عمرِ النّصف المنقضية يساوي أيضا صفرا وبعد مرور فترة عمرِ النّصف الأولى، أنظر الشكل (23/ ج) تتحول نصفُ الذرات الأم المشعة الأصلية في كل بلورة معدِنية إلى ذرات نظيرة وليدة، والنّصفُ الآخرُ يبقى كما هو، ويمثل الشكل (23/ د) عددَ ذرات الأم المشعة المتبقية في كل بلورة، وعددَ ذرات النظيرة الوليدة المستقرة بعد مرور فترة عمرِ النّصف الثانية.

تأريخ الصخور المتحولة Metamorphic Rocks Dating عندما تتعرض الصخور بأنواعها المختلفة إلى عواملِ التحول من حرارة وضغط، ويحدث لها إعادة تبلور، فإنه قد يحدث كسْبٌ أو فقْدٌ للنظيرة الأم المشعة أو النظيرة الوليدة المستقرة من البلورة، وهذا يؤدي إلى تغيير نسبتهما فيها. وعند توقف عملية التحول تصبح البلورات الجديدة مرة أخرى نظامًا مغلقا ويبدأ العنصر المشع بالتحول إلى عنصر مستقر؛ لذلك فإن التأريخ باستخدام الاضمِحلال الإشعاعي للصخور المتحولة يؤرخ عملية التحول، وليس نشأة الصخر الأصلي. فمثلًا إذا احتوى صخرٌ ما على معدِن البيوتيت فيه نظيرة البوتاسيوم ^{40}K (الأم المشعة المتبقية) ونظيرة الآرغون ^{40}Ar (الوليدة المستقرة)، وتعرّض هذا الصخرُ إلى عوامل التحوّل، فإن غاز الآرغون المتكون يخرج من الصخر؛ لأن الحرارة تجعل بلورة البيوتيت نظامًا مفتوحًا؛ فتصبح نسبة النظيرةِ الأم المشعة المتبقية إلى النظيرة الوليدة المستقرة مختلفةً، وستكون عند حساب النظيرة الأم المشعة الأصلية أقلَّ مما لو كان النظام مغلقا.

وهذا يؤدي إلى اختلاف عمرِ الصخر، ولهذا فإن استخدام طرائق الاضمِحلال الإشعاعي في الصخور المتحولة يعطي دائما عمرا أحدث للصخر؛ لأنه يسجل حادثة التحول لا نشأة الصخر الأصلي.

أبحثُ:

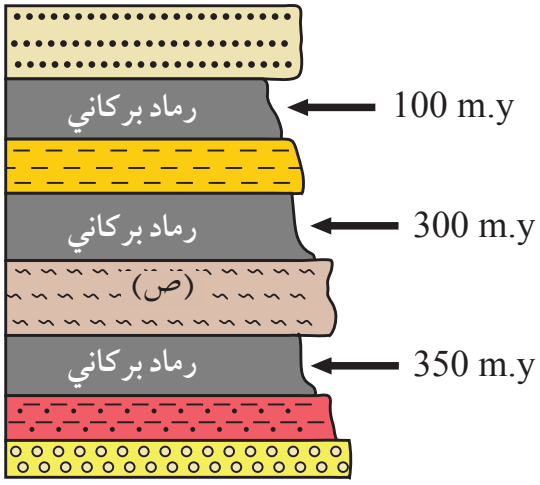
مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحث عن سلسلة الاضمِحلال الإشعاعي لليورانيوم (^{238}U) إلى رصاص (^{206}Pb)، وسلسلة اضمحلال اليورانيوم (^{235}U) إلى رصاص (^{207}Pb)، ثم أكتب تقريرا موضحًا فيه العناصر وأعمار النّصف لكل منها.

الرّبط بالعلوم الحياتية

تُستخدَمُ حلقاتُ الشجر السنوية في تحديد أعمارها، حيث تحوي الأشجار سجلّا زمنيّا لعمرها، وتنمو الشجرة تحت ظروف معينة في كل سنة حيث يكون سُمْكُ الحلقات عريضًا عند توافر أمطار غزيرة، في حين يكون سُمْكُ الحلقات قليلا في مواسم الجفاف، وأول من استخدم التأريخ بالحلقات أندريو دوغلاس لتأريخ بيوت مصنوعة من الخشب، ويستطيع العلماء بوساطة استخدام حلقات الأشجار التأريخَ لفترات تصل حتى 10 آلاف سنة.

تأريخ الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks Dating تُستَخدَمُ طرائقُ الاضمِحلال الإشعاعي في الصخور الرسوبية الكيميائية التي تترسّب نتيجة زيادة تركيز المواد الذائبة في المحاليل المائية مثلِ الصخور الجيرية، إذ يغلق النظام الإشعاعي فيها لحظة حدوث الترسيب وبذلك يعطي تأريخُ الصخور الرسوبية الكيميائية عمر الرسوبيات التي يتكون منها الصخر الرسوبي الكيميائي، أي أنه يؤرخ لحظة الترسيب. أما الصخورُ الرسوبية الفتاتية فلا تُستخدَم طرائقُ الاضمِحلال الإشعاعي لإيجاد أعمارها؛ وذلك لأن حُبيبات المعادن المكوِّنة لها قد تشكلت في صخور قديمة حدث لها عمليات حتٍّ وتعرية، ثم ترسيبٌ دون أن يُحدِثَ أيَّ تغيير في بلوراتها الداخلية، ما يعني بقاءَ النظام الإشعاعي فيها مُغلَقًا؛ فتحتفظ بالنظيرة المشعة المتبقية، والنظيرة الوليدة المستقرة كما هي، وعند تقدير عمرها سوف تعطينا عمرا قريبا من عمر الصخر الأصلي الذي أخِذت منه المعادن وليس عمرَ الصخر الرسوبي. ويستخدَم الكربون (^{14}C) في تأريخ بعض أنواع الصخور الرسوبية الكيميائية والصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية مثل تأريخ طبقات الفحم الحجري. ولتحديد أعمار الصخور الرسوبية يقوم الجيولوجيون باستخدام طرق غيرِ مباشرة وذلك بمقارنة عمر الصخور الرسوبية بأعمار مطلَقة لأجسام من صخور نارية محيطة بها باستخدام التأريخ النسبي، حيث يحدّد الجيولوجيون جسمين من الصخور النارية، يكون أحدُهما أقدمَ نسبيًا من الصخور الرسوبية. بينما يكون الآخر أحدثَ من الصخور الرسوبية. أنظر الشكل (24).

✓ **أتحقّق: أفسّر**: لماذا لا تُستخدَم طرائق الاضمِحلال الإشعاعي في تأريخ الصخور الرسوبية الفتاتية.



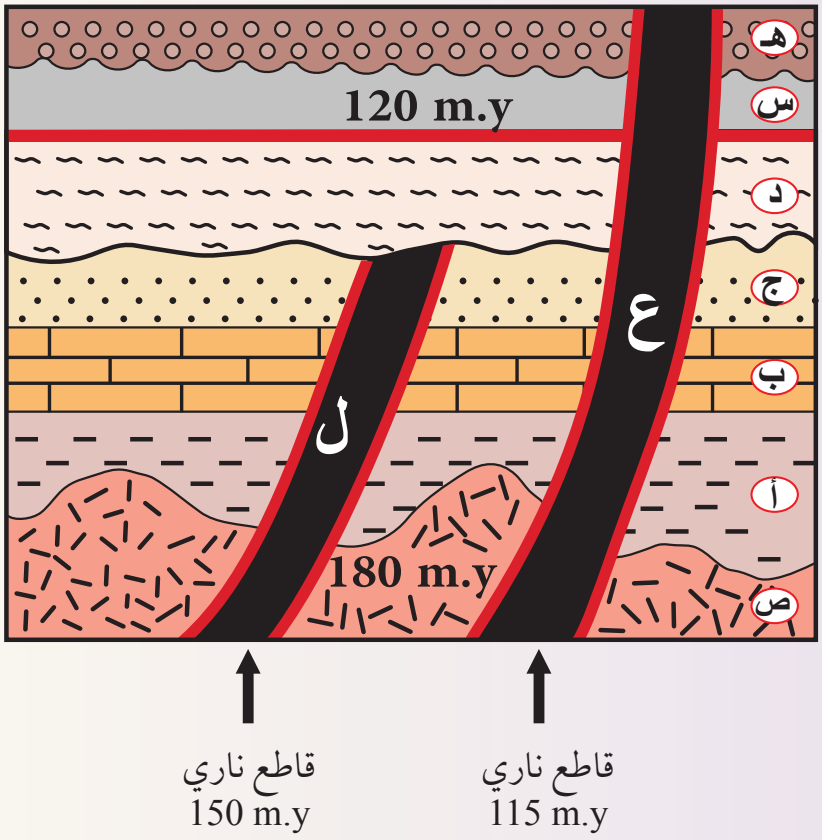
الشكل (24): تُستخدَم طبقاتُ الرماد البركاني في تحديد عُمْرِ الصخور الرسوبية.
أستنتج عُمْرَ الطبقة الرسوبية (ص)؟

ولتعرّف كيفية تحديد أعمار الصخور الرسوبية أنفِّذُ النشاط الآتي:

نشاط

إعطاء الصخور الرسوبية أعمارًا مطلقة

تُستخدَم الصخورُ النارية بشكل غير مباشر لتحديد أعمار الصخور الرسوبية، ويمثل الشكل الآتي تتابعاتٍ من صخور رسوبية (أ، ب، ج، د، هـ)، والصخر الناري (ص)، والقواطع النارية (ع، ل) والطفح البركاني (س) وجميع أعمارها المطلقة بملايين السنين (m.y) مقيسة كما في الشكل، أدرس الشكل ثم أجيب عن الأسئلة التي تليه.



التحليل والاستنتاج:

1- أحدِّد مبدأين للتأريخ النسبي يمكن استخدامُهما في الشكل لترتيب الطبقات، والأحداث الجيولوجية من الأقدم إلى الأحدث.

2- **أستنتِج** عُمْرَ التعاقب الطبقي (أ، ب، ج).

3- **أستنتِج** عُمْرَ الطبقة هـ.

عمرُ الأرض Age of the Earth

قاس العلماء عمرَ صخور القشرة الأرضية باستخدام طرائق التأريخ الإشعاعي، ولكنهم لم يستطيعوا أن يحدّدوا عمر الأرض بشكل دقيق؛ بسبب العمليات التي تحدُث للصخور في أثناء دورة الصخور في الطبيعة، إذ يمكن أن تتحول الصخور من نوع إلى آخرَ، أو تنصهر داخلَ الستار، أو تتعرض لعمليات التجوية والتعرية ما يؤدي إلى إزالة صخور، أو إنتاج صخور جديدة وبأعمار حديثة؛ لذلك، لجأ العلماء إلى استخدام طرائقَ أخرى غيرِ مباشرة، وهي تحديدُ عمر النظام الشمسي، وأيٍّ من مكوّناته على افتراض أن مكوّنات النظام الشمسي ومنها الأرضُ قد تشكلت في الوقت نفسه. فقد درس العلماء عيناتٍ صخريةً متنوعةً أُخِذت من القمر أو من النيازك. وتم استخدامُ طرائقِ التأريخ الإشعاعي لتحديد أعمارها. حيث استُخدِمت في ذلك طرقُ الاضمِحلال الإشعاعي ذاتُ عُمْرِ النّصف الكبير لقياس عمر الأرض وخاصة طريقتَيْ بوتاسيوم - آرغون، ويورانيوم - رصاص.

صخور القشرة الأرضية Earth's Crust Rocks تُعَدّ صخورُ النايس في شمال غرب كندا أقدمَ الصخور التي تم العثور عليها على الأرض، وقد قُدِّرَ عمرُها بـ (4.03 مليار سنة) يليها صخورُ حزام الحجر الأخضر ايسوا Isua Greenstone Belt في غرب غرينلاند قُدِّرَت أعمارُها بحوالي (3.7 إلى 3.8 مليار سنة) ، وقد تم العثور في غرب استراليا على بلورات من الزركونِ قُدِّرَت أعمارُها بحوالي 4.4 مليار سنة، في صخور رسوبية أحدثَ منها.

وقد استخدم العلماء عدة طرق إشعاعية لتأريخ هذه الصخور، حيث أعطت توافقا وتقاربا بين الأعمار ما زاد ثقة العلماء بالنتائج. أنظر الشكل (25) الذي يمثل صخورا قديمة من حِزام الحجر الأخضر في جنوب أفريقيا.

أبحثُ:

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت، أبحث عن طرائق التأريخ الإشعاعي، وأصمّم عرضا تقديميّا وأعرضه أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

الشكل (25): عينةٌ تمثل صخور الصوّان وأكاسيدَ الحديد من حِزام الحجر الأخضر التي تقع في جنوب أفريقيا، وتتبع دهر الأرشيان قبل حوالي 3 مليارات سنة.

✓ **أتحقّق:** لماذا لا تعطي صخورُ القشرة الأرضية عمرًا حقيقيّا للأرض؟

صخور القمر Moon Rocks تم الحصول على عينات صخرية من القمر والتي تمثل صخورا بدائية تراوحت أقدمُ أعمارها بين (4.4–4.5) مليار سنة.

النيازك Meteorites تم العثور على آلاف النيازك التي سقطت على سطح الأرض، والتي تمثل قطعًا من كُوَيكِبات تشكلت مع تشكّل النظام الشمسي وتشكّل الأرض. وقد تم قياس أعمار أكثرَ من 70 نيزكًا باستخدام طرق الاضمِحلال الإشعاعي فوجد أن أعمارها تتراوح بين (4.53–4.58) مليار سنة. منها نيزك (كانيون ديابلو) Canyon Diablo وهو من النيازك الحديدية، حيث قُدِّرَ عمرُه (4.54 مليار سنة). أنظر الشكل (26) الذي يمثل إحدى عينات ذلك النيزك.

واعتمادًا على تحديد أعمار صخور القشرة الأرضية وصخور القمر والنيازك، فقد قَدّرَ العلماء عمرَ الأرض بحوالي 4.6 مليار سنة.

الشكل (26): عينةٌ من نيزك كانيون ديابلو، وهو أحدُ النيازك الحديدية الذي قُدِّرَ عمرُه بحوالي 4.54 مليار سنة.

مراجعة الدرس

1. أوضِّح المقصود بالنظير.
2. **أقارِن** بين نظير الكربون ^{14}C ونظير اليورانيوم ^{235}U من حيث عـــمرُ النّصف واستخـــدامات كل منهما.
3. **أحسُب**: صـخرُ غرانيت يحتـــوي على 5g من نظير اليورانيوم ^{235}U و 15g من نظير الرصاص ^{207}Pb الناتجِ عن تحلّله، فكم عمرُ صخر الغرانيت، علما بأن عمرَ النّصف لليورانيوم (^{235}U) يساوي 710 ملايين سنة.
4. **أستنتِج**: ماذا يحصل لعُمْرِ عينة من المايكا تحتوي على نظير البوتاسيوم ^{40}K ونظير الآرغون ^{40}Ar إذا حصل لها تسخين على درجات حرارة عالية.
5. **أفسِّر**: لماذا تستخدَم النيازكُ في تحديد العمر المطلَق للأرض.
6. **أقوِّم** العبارة الآتية (وجود صخور نارية بين تتابعات من صخور رسوبية، له أهمية كبيرة في تحديد أعمار تلك الصخور الرسوبية).

الفكرة الرئيسة:

يتميز الأردنّ بتكشف أنواع مختلفة من الصخور على سطح الأرض منذ حِقبة ما قبل الكامبري وحتى وقتنا الحاضر. ويحوي الأردنّ العديد من الموارد المعدِنية.

نتاجات التعلّم:

- أتتبع سُلّمَ الزمن الجيولوجي للأردنّ على مستوى الحِقَبِ.
- أضع بعض الموارد المعدِنية على خريطة جيولوجية حسب الحِقَبِ الجيولوجية التي تشكلت فيها.

المفاهيم والمصطلحات:

صخور الركيزة	Basement Rocks
سطح التسوية	Peneplanation

أعمار الصخور في الأردنّ
Ages of Rocks in Jordan

قام العلماء والجيولوجيون منذ بدايات القرن الماضي بدراسة الصخور المتكشّفة في الأردنّ، والعينات الصخرية المستخرَجة عند حفر آبار النفط في العديد من المناطق، مستخدمين مبادئَ التأريخ النسبي، وطرائقَ التأريخ المطلَق، حيث استطاعوا ترتيب الصخور وفقَ أعمارها، والتعرّفَ على خصائصها وأنواعها والعلاقات المختلفة بينها، وعمَلَ تصوّرٍ للأحداث الجيولوجية التي مرت على المنطقة وعلاقتها بالمناطق المجاورة. فما ترتيبُ الصخور الموجودة في الأردنّ؟ وأين تقع تكشفاتُها؟

صخور حِقبة ما قبل الكامبري
Precambrian Rocks

تمتد أعمار صخور حِقبة ما قبل الكامبري بين (540–800) مليون سنة، وتُسمّى أقدمُ الصخور الموجودة في الأردنّ التي تتبع حِقبة ما قبل الكامبري بصخور الركيزة Basement Rocks، التي تتكشّف حول مدينة العقبة، وعلى امتداد الجانب الشرقي لوادي عربة، وجنوب شرق البحر الميت، وتميل صخور الركيزة بمقدار 5 درجات نحو الشمال والشرق والجنوب الشرقي؛ لذلك توجد تلك الصخورُ تحت صخور أخرى أحدثَ منها في جميع المناطق في الأردنّ.

الشكل (27): عينةٌ من صخر الشيست تحتوي على بلورات من معدِن الغارنت تتكشف في وادي (أبو بُرقة).

قدّر العلماء أن عمرَ أقدمِ الصخور في الأردنّ حوالي 800 مليون سنة، وهي صخور متحوّلةٌ من النايس والشيست، وقد وُجدَت في وادي (أبو بُرقة) شرقَ وادي عربة. وتتميز صخور شيست (أبو بُرقة) بوجود بلورات معدِنية جميلة من معادن الغارنت. أنظر الشكل (27) الذي يمثل عينة من تلك الصخور.

تُقسَمُ صخورُ الركيزة في الأردنّ بحسب أعمارها إلى قسمين رئيسين يُسمّى كلٌّ منهما مَعقِدًا، يفصل بينهما سطحُ عدمِ توافق قُدِّرَ عمرُه بـ 600 مليون سنة، وهما معقِدُ العقبة Aqaba Complex الذي تتراوح أعمار صخوره بين 800 إلى 600 مليون سنة، وتتكشّف صخوره المكوَّنةُ في معظمها من صخور نارية جوفيّة ذاتِ تركيب غرانيتي، وصخور متحوّلة حول العقبة وفي جنوب ووسط وادي عربة. ومعقِدُ العرَبة Araba Complex الذي يمتد من 600 إلى 540 مليون سنة، وتتكشّف صخوره التي تتكون من صخور الكونغلوميريت ومن

✓ **أتحقّق:** ما نوعُ أقدم الصخور في الأردنّ وعمرُها.

الشكل(28): صخور كونغلوميريت السّرموج التي تمثل الحدَّ السفليَّ لمعقِد العَربة.

صخور غرانيتية وريولايتية في شمال وادي عربة وغور الصافي. أنظر الشكل (28) الذي يمثل صخور كونغلوميريت السّرموج. في نهاية هذه الفترة توقف النشاط التكتوني والماغماتي، وتم رفعُ المنطقة، ثم حدثت عمليات حتٍّ وتعرية أدت إلى تسوية الصخور في الكثير من المناطق وتشكُّلِ سطحِ التسوية Peneplanation، أنظر الشكل (29).

الشكل (29): سطح التسوية الذي يفصِل بين صخور الركيزة النارية، وصخور حِقبة الحياة القديمة الرمليّة.

صخور حِقبة الحياة القديمة Paleozoic Rocks

تمتد أعمارُ صخور حِقبة الحياة القديمة بين 540–225 مليونَ سنةٍ، وتتكشّف صخور حِقبة الحياة القديمة فوق صخور الركيزة، ويفصِل بينهما سطحُ التسوية، تتكون صخور العصر الكامبري والعصر الأوردوفيشي الأسفل في المجمَل من صخور رملية ملوّنة، وصخور رملية بيضاء، من أشهرها صخورُ البترا الوردية. أنظر الشكل (30) الذي يمثل صخورا رملية تتبع العصر الكامبري. أما صخور نهاية العصر الأوردوفيشي والعصر السيلوري فهي مكوَّنةٌ في معظمها من صخور الغَضار.

أما عصرا الديفوني والكربوني، فلا توجد في الأردنّ أيُّ صخور تتبع لهما، ويُعتقَد أن صخورهما قد حدث لها حَتٌّ وتعرية بسبب عمليات الرفع الناتجة عن الحركة الهرسينية البانية للجبال، وأزيلت من المنطقة في العصر الكربوني. أما العصر البيرمي فتتكوّن صخوره في مجملها من الصخر الرملي التي تتكشف في العديد من الأماكن منها شمالُ مصبِّ وادي الموجب، وجَنوبُ مصبِّ وادي زرقاء ماعين في البحر الميت.

أبحثُ:

يرَجِّحُ العلماء عدم وجود صخور تتبعُ العصرين الديفوني والكربوني يعود إلى الحركات الأرضية الهرسينية البانية للجبال Hercynian Orogeny التي حدثت على سطح الأرض. أبحث مستعينا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ عن تلك الحركات، وزمنِ حدوثها والمظاهرِ التي نتجت عنها وخاصة في الأردنّ. وأصمّم عرضًا تقديميّا وأعرضه أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

الشكل (30): صخور رملية عديدة الألوان تتكشّف في جنوب الأردنّ في البترا، تتبع للعصر الكامبري.

استنتج العلماءُ أن بيئة الترسيب في العصرين الكامبري والأوردوفيشي كانت بيئة نهرية متشعّبة، تخلّلها طغيانُ محيط التيثس في بعض الفترات، ما أدى إلى ترسيب الصخور الجيرية والدولوميتية كما هو موجود في صخور تكوين البرج في العصر الكامبري، وفي نهاية العصر الأوردوفيشي ساد الترسيب البحري في المنطقة. ولكن عاد مرة أخرى الترسيب القاري الذي يستدل عليه في صخور العصر البيرمي.

صخور حِقبة الحياة المتوسطة Mesozoic Rocks

تمتدّ أعمار صخور حِقبة الحياة المتوسطة بين 225 – 65 مليونَ سنةٍ، وتتكشّف صخور هذه الحِقبةِ في أجزاءٍ واسعةٍ من سطح الأردنّ، وخاصة الصخورَ التابعة للعصر الكريتاسي، ففي العصر الترياسي تتكشّف الصخور الرملية والغرينية والطينية التابعة له في عدد من المناطق، منها شمالُ شرق البحر الميت، ووادي الموجب، وتكشّفات لصخور الجبس في منطقة نهر الزرقاء. أنظر الشكل (31). أما صخور العصر الجوراسي فتغلِبُ عليها الصخورُ الجيرية والدولوميتية، وتتكشّف في مناطقَ منها شمالُ العارضةِ، وغربُها، وجنوبُ غرب البقعة.

أبحثُ:

دلّت الدراسات التي قام بها العديد من الجيولوجيين على وجود رسوبيات جليدية في جنوب الأردنّ تتبع الحِقبة القديمة. أبحث عن مفهوم الرسوبيات الجليدية وأين تقع والعصر الذي تشكلت فيه وأعرض نتائج بحثي أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

الشكل (31): تكشُّفٌ لصخورٍ تابعةٍ للعصر الترياسي في وادي مخيرس بالقُرب من البحر الميت.

تقسَمُ صخورُ العصر الكريتاسي إلى قسمين: صخورُ العصر الكريتاسي السُّفلي التي تُسمّى رمالَ الكرنب (Kurnub Sandstone)، وتتكون من صخور رملية يتداخل بينها في شمال الأردنّ صخورٌ جيرية ودولوميتية. وصخورُ العصر الكريتاسي العُلْوي التي تتكون من الصخور الجيرية والدولوميتية تعلوها طبقاتٌ من الصوّان، والفوسفات، والصخر الزيتي.

تنوّعت بيئات الترسيب في حِقبة الحياة المتوسطة بين طغيان محيط التيثس من شمال الأردنّ نحوَ الجنوب، وسيادةِ البيئة البحرية فيه، وانحسارِ محيط التيثس وسيادة البيئة النهرية، ولكن تميّز العصر الكريتاسي العُلوي بطغيان محيط التيثس في معظم مناطق الأردنّ، ما عدا بعضَ أجزائه في أقصى الجنوب؛ لذلك توجد صخورُ الكريتاسي العُلوي في معظم أجزاء الأردنّ. أنظر الشكل (32) الذي يمثل صخورًا جيرية من العصر الكريتاسي.

أبحثُ:

يمثل محيط التيثس محيطًا قديما كان يفصل بين القارات في العصور الجيولوجية المختلفة، ومنها الحِقبةُ المتوسطة.

مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ، أبحث عن محيط التيثس من حيث موقِعُه وامتدادُه وخواصُّه، وأكتب تقريرا حوله وأعرضه أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

أفكّرُ

ما أسباب تكوّن صخور الفوسفات في العصر الكريتاسي العُلويّ من التاريخ الجيولوجي للأردنّ؟

الشكل (32): صخور جيرية من العصر الكريتاسي.
أحدّد البيئة التي تشكلت فيها الصخور.

صخور حِقبة الحياة الحديثة Rocks Cenozoic

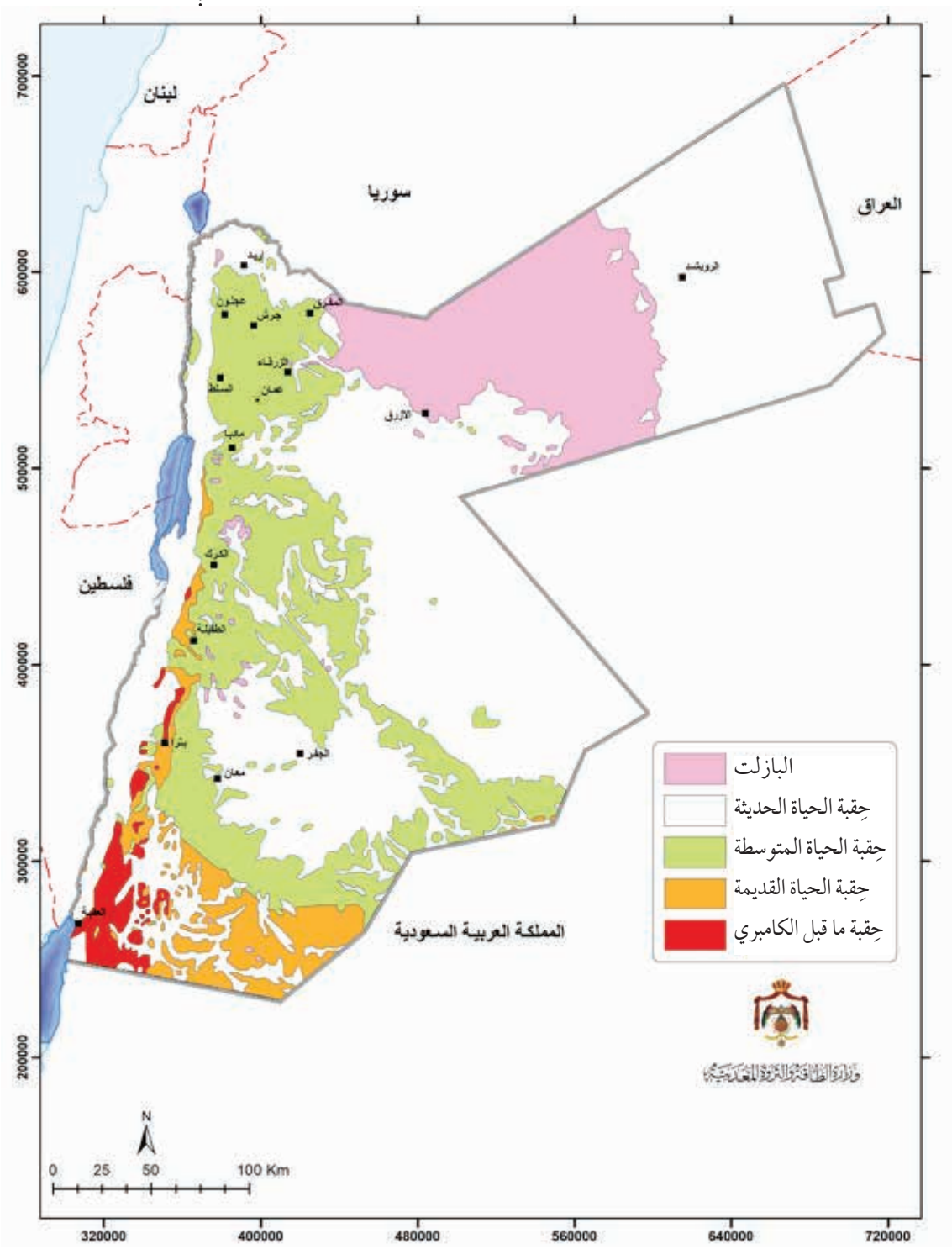
تمتدّ حِقبةُ الحياة الحديثة منذ 65 مليونَ سنةٍ وحتى وقتنا الحاضر، وتتكشّف صخور هذه الحِقبة على مِساحات واسعة في مناطق الأردنّ، حيث تتكشّف صخورُ الصوّان والصخور الجيرية التابعة للعهدين الباليوسين والإيوسين في أنحاءَ مختلفةٍ من الأردنّ بسبب طغيان محيط التيثس وغمْرِه معظمَ سطح الأردنّ. تبع ذلك في نهاية عهد الإيوسين تراجعُ محيط التيثس، وتكشّفُ سطحِ الأرض بسبب عمليات الرفع التي بدأت مع بداية تكوّن صدع البحر الميت التحويلي، حتى وقتنا الحاضر. لذلك، بدأت عملياتُ الترسيب القاري منذ ذلك الوقت تشمل رسوبياتِ حِقبة الحياة الحديثة التي تشكّلت بعد عهد الإيوسين حتى وقتنا الحاضر ورسوبياتٍ قاريّة نهريّة وبحيريّة، ومن صخورها الكونغلوميريت والصخورُ الرملية الجيرية، والصخورُ المِلحية، وتنتشر تكشّفاتُ هذه الحِقبة على امتداد البحر الميت، وفي العديد من المناطق الأخرى في الأردنّ.

تتميز هذه الحِقبةُ بوجود صخور البازلت على شكل طفوح بركانية تقع في شمال شرق الأردنّ، وتمتد على مساحة $11\times10^3\ km^2$، وهي جزء من حَرَّةِ الشام. أنظر الشكل (33)، وتتكشّف صخور البازلت أيضا في العديد من الأماكن الأخرى، منها وادي الكرك، ووادي العرب، وعيونُ زارةَ، وشيحانُ، ووادي الحسا.

✓ **أتحقّق: أحدِّد:** في أيِّ عهود حِقبة الحياة الحديثة غمَر محيط التيثس سطحَ الأردنّ؟

الشكل (33): تتميز البادية الشرقية في الأردنّ بوجود الصخور البازلتية.

وقد قامت وزارة الطاقة والثروة المعدنية الأردنية برسم خريطة جيولوجية تُظهِرُ تكشفاتِ أنواعِ الصخور المختلفة في الأردنّ بحسب أعمارها. أنظر الشكل (34).



الشكل (34): خريطة الأردنّ تُظهِرُ توزُّعَ الصخور بحسب الحِقب التي تتبع لها.

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

ولتعرّف سُلَّمِ الزمن الجيولوجي الذي يمثل صخور الأردنّ أنفِّذُ النشاط الآتيَ:

نشاطٌ

بناء سُلّمِ زمن جيولوجي في الأردنّ

يمثل سُلّمُ الزمنِ الجيولوجي سجِلّا للصخور والأحداث التي مرّت على سطح الأرض منذ نشأتها إلى وقتنا الحاضر، وتمثل الصخور والأحداث التي مرّت على الأردنّ جزءًا من تلك الأحداث.

خطوات العملِ:

1. أرسُم جدولًا على لوْح من الكرتون مكوَّنا من أعمدة تمثل العناوينَ الآتية: (الحِقبة، العصر، أنواع الصخور، الأحداث الجيولوجية).

الحِقبة	العصر	أنواع الصخور	الأحداث الجيولوجية
حِقبة الحياة الحديثة	الرُّباعي		
	الثُّلاثي		
.....			

2. أقسّم الجدولَ إلى صفوف بحسب الفترة الزمنية من الأقدم في الأسفل، إلى الأحدث في الأعلى.
3. أملأ الجدولَ بالمعلومات المتوافرة في الدرس حول الصخور، والأحداث التي مرّت على الأردنّ.

ملاحظة: يمكن الاستعانةُ بشبكة الانترنت، أو المراجع العلمية في الحصول على معلومات إضافية.

التحليل والاستنتاج:

1. أحدِّد أقدم الأعمار التي تم تقديرها لصخور الأردنّ.
2. **أقارِن** بين أنواع صخور حِقبة ما قبل الكامبري، وحِقبة الحياة المتوسّطة.
3. **أفسِّر** سبب اختلاف أنواع الصخور في العصر الكريتاسي السفلي، والكريتاسي العلوي.

الموارد المعدِنية في الأردنّ

Mineral Resources in Jordan

يزخَرُ الأردنّ بالعديد من الموارد الطبيعية، منها المعادنُ والصخور الصناعية والتي تتوزع على امتداد أراضيه، وقد تكوّنت تلك الموارد على امتداد الزمن الجيولوجي فبعضُها يتبع حِقبة ما قبل الكامبري، وبعضُها يتبع حِقبةَ الحياة المتوسّطة، وبعضُها يتبع حِقبةَ الحياة الحديثة، وقد تعرفت على بعض تلك الموارد، وأماكن انتشارها في الأردنّ، ومنها الصخرُ الزيتيّ، فما أعمار تلك الموارد؟ وما أنواعها؟ وما أماكن انتشارها في الأردنّ؟

معادن وصخور حِقبة ما قبل الكامبري

Precambrian Minerals and Rocks

تحتوي صخور الركيزة العديدَ من المعادن، والصخور التي يمكن استغلالُها والاستفادة منها في الصناعات المتنوعة منها:

الصخور الغرانيتية Granitoid Rocks توجَدُ الصخورُ الغرانيتية حول العقبة وعلى امتداد وادي عربة، وتتبع لمعقِدي العقبة والعربة، أنظر الشكل (35). ويمكن استخدام تلك الصخور في البناء، وخاصة في عمل الديكورات ورصف الشوارع.

أبحثُ:

يرِدُ استخدامُ مصطلحي (المعادن والصخور الصناعية) و(الموارد المعدِنية) في الكتب الجيولوجية. مستعينًا بمصادر المعرفة المتوافرة لديّ، أبحث عن الفرق بين المفهومين، وأذكر أمثلة على كل منهما في الأردنّ، ثم أعِدّ عرضا تقديميّا مُدَعّمًا بالصور، ثم أعرضه أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

الشكل (35): صخور غرانيت متكشّفة في جنوب الأردنّ.

الفلسبار Feldspar يُستخرَجُ الفلسبارُ من الصخور الغرانيتية، ويستخدَمُ الفلسبار في صناعة الزجاج والسيراميك.

الذّهب Gold يوجدُ الذّهب في صخور نسَق أحيمر البركانية في وادي (أبو خشيبة)، ووادي الحور، مصاحبًا لعروق مكوَّنةٍ من الكوارتزبورفيري، ويستخدَمُ الذّهب في الصناعات الإلكترونية، وصناعة المجوهرات.

معادن وصخور حِقبة الحياة القديمة
Paleozoic Minerals and Rocks

الزركون Zircon يوجَدُ معدِن الزركون في صخور رملية تتبع العصر الأوردوفيشي، وتتكشّف تلك الصخورُ في جنوب عمّان على بعد 350 km، وفي شمال شرق العقبة. يُستخدَمُ الزركون في صناعة قوالبِ الصبِّ لزيادة مقاومته، وفي تلميع العدسات الطبية، وفي أجهزة الاستشعار عن بُعْد.

رمل السّليكا Silica Sand يُستخرَجُ رملُ السّليكا من الصخر الرملي أبيضِ اللون الذي يتكون في الأساس من الكوارتز النقي، ويتبع جزء من الصخر الرملي أبيض اللون العصرَ الأوردوفيشي، أو يستخرَجُ من صخور رمل الكرنب التابعة للكريتاسي السفلي. وتتكشّف تلك الصخورُ في عدة مناطقَ منها: منطقتا قاع الديسي ورأسِ النقب. أنظر الشكل (36). ويستخدَمُ رملُ السّليكا في مجالات عدة منها: صناعةُ السيراميك، وصناعةُ الزجاج، والصناعاتُ الإلكترونية.

أبحثُ:

أستعين بمصادر المعرفة المختلفة للتعرف على مفهوم العروق، وكيفية تكوّنها وأهميتها في تشكّل المعادن الاقتصادية. ثم أعِدُّ عرضًا تقديميًّا، وأعرضه أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

الشكل (36): صخور الديسي الرملية البيضاء التي تتبع العصر الأوردوفيشي في جنوب الأردنّ.

أحدِّد المعدِن الرئيسَ الذي تتكون منه صخور الديسي الرملية.

النّحاس Copper توجَـدُ خـامـاتُ النّحـاس مصـاحبةً للصـخور الرملية الدولوميتية التابعة للعصر الكامبري، وتوجَدُ خامات النّحاس في خربة النّحاس الواقعة في الجزء الشمالي من منطقة فينان، وفي وادي خالد، وفي ضانا، ومنطقة (أبو خشيبة) جنوب وادي عربة. أنظر الشكل (37). ويستخدَمُ النّحاسُ في العديد من الصناعات الكهربائية منها: صناعةُ الأسلاك، والأدوات الكهربائية مثل أجهزة التلفاز والمحوّلات، وفي مجال البناء في صناعة مقابض الأبواب، وغيرها.

الكاؤولين Kaolin تتكشّف رسوبيات الكاؤولين في أربع مناطقَ رئيسةٍ في جنوب الأردنّ، وهي بطنُ الغول، والمدوّرة، وشرق مدينة القويرة في حسوة، وأمّ سَحم، وتتبع صخوره العصر الأوردوفيشي. أنظر الشكل (38). ويستخدَمُ الكاؤولين في صناعة السيراميك وفي صناعة الدّهانات، والبلاستيك، والمطاط.

الشـكل (37): أحـد خامـات النّحـاس التـي يُسـتخلَصُ منهـا عنصـرُ النّحـاس والموجـودة فـي ضانـا.

✓ **أتحقّق:** أحـدِّد ثلاثة من استخدامات الكاؤولين.

معادن وصخور حِقبة الحياة المتوسّطة

Mesozoic Minerals and Rocks

الجير النقيّ Pure Limestone يوجَـدُ الـجيرُ النـقيّ في صـخور الكوكينا التابعة لعصر الكريتاسي العلوي في مناطقَ منها: القطرانةُ، والسلطاني، وجُرفُ الدراويش. ويستخدَمُ الجيرُ النقيُّ في العديد من الصناعات، منها: إنتاجُ كربونات الكالسيوم، والإسمنتُ الأبيض، وصناعةُ الصّلب، والورق، والزجاج.

الشـكل (38): تكشّـفات لمعـدن الكاؤوليـن، حيث يتمّ اسـتخراجه والاسـتفادة منه.

الدولوميت Dolomite يوجَدُ الدولوميت مصاحبًا الصخورَ الجيرية في أعمار مختلفةٍ منها العصرُ الكامبري، والعصرُ الكريتاسي. ويتكشّف في عدة مناطق: منها وادي غور حديثة غرب الكرك، ورأسُ النقب شمال العقبة. ويستخدَمُ الدولوميت في العديد من المجالات منها: الزراعةُ، والخلطاتُ الإسمنتيّةُ.

معادن وصخور حِقبة الحياة الحديثة

Cenozoic Minerals and Rocks

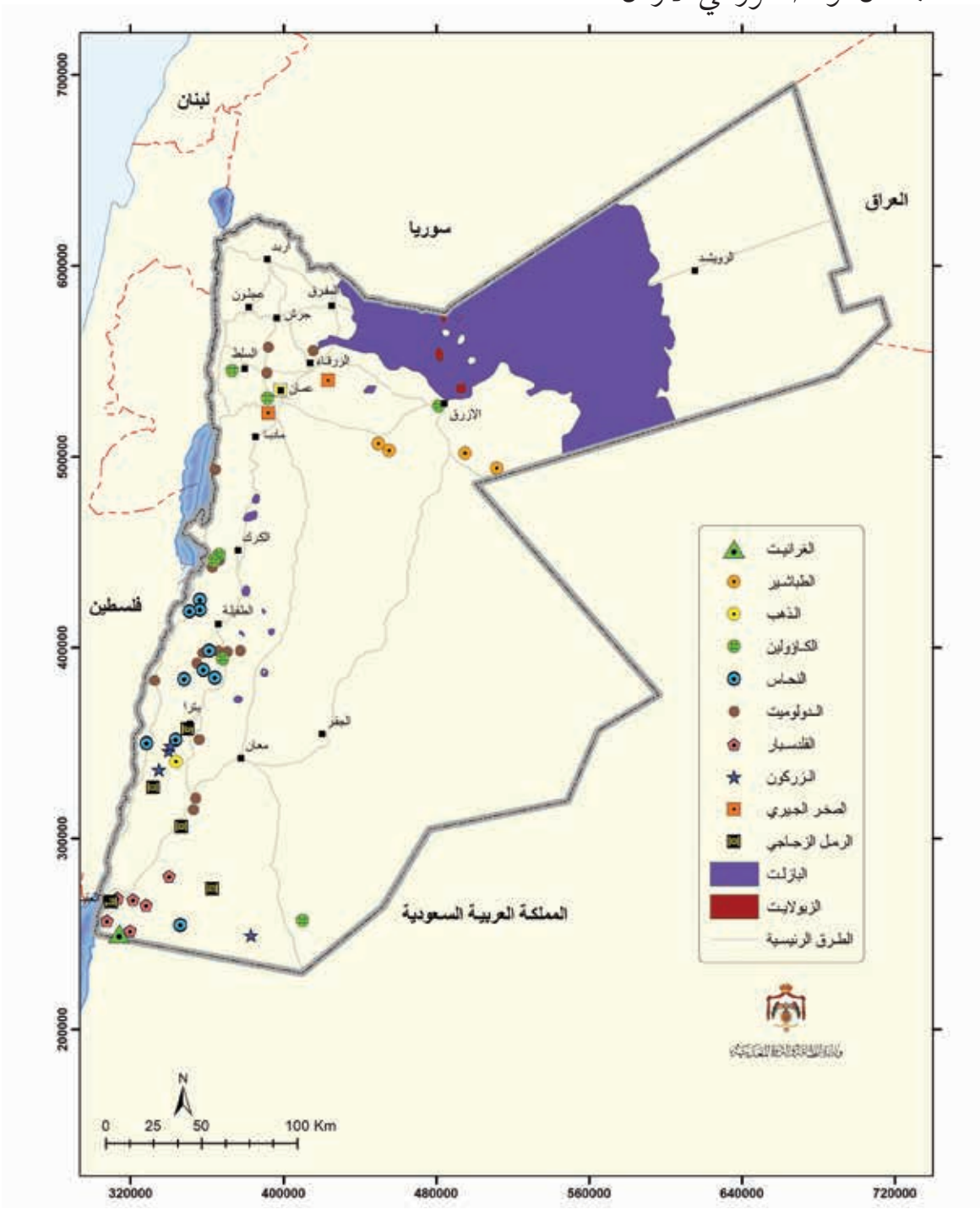
الطباشير Chalk يوجَدُ صخرُ الطباشير في العديد من التكوينات الجيولوجية الطبقية التابعة للكريتاسي العلوي، وكذلك في صخور تابعةٍ لحِقبة الحياة الحديثة ومنها: منطقةُ العمري – الضاحكية جنوب شرق الأزرق، وفي منطقة قصر الحرّانة شرق عمان. أنظر الشكل (39). ويستخدَمُ الطباشيرُ في صناعات عدة منها: الدّهاناتُ، والإسمنتُ، والزراعةُ.

الزيوليت Zeolite يُنتَجُ معدِنُ الزيوليتِ من التجوية الكيميائية للطَّفِّ البركاني المتكشّف في وسط شرق الأردنّ وشماله، مثل جبل الآرتين شمال شرق الأزرق. ويستخدَمُ الزيوليتُ في الزراعة سمادا ومحسّنا للتربة، وفي تنقية المياه العادمة، وصناعة الإسمنت.

أعِدُّ فيلمًا قصيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلام (movie maker) يوضّح أهمّ المعادن والصخور في الأردنّ ومواقعها، وأحرص على أن يشمل الفيلمُ صوَرًا توضيحية، ثمّ أشاركه معلّمي، وزملائي في الصف.

الشكل (39): طبقات من الطباشير في منطقة العمري_ الضاحكية التي تتبع حِقبة الحياة الحديثة.

البازلت Basalt يتكشّف البازلت الذي يتبع حِقبةَ الحياة الحديثة في شمال شرق الأردنّ، وفي وسط الأردنّ مثل جبل شيحان، وفي جنوبها على شكل قواطع. ويستخدَمُ البازلتُ في صناعة الصوف الصخري، وفي البناء. أنظر الشكل (40) الذي يمثل مواقعَ بعض المعادن، والصخور في الأردنّ.



الشكل (40): أماكن توزع بعض الموارد المعدنية في الأردنّ.

أربط بين مواقع الموارد المعدِنية في حقبة الحياة القديمة، وأماكن توزُّعِها.

مراجعة الدرس

1. **أقارِن** بين معقِد العقبة ومعقِد العربة من حيث: عمرُ الصخورِ، وأماكنُ تكشُّفِها.
2. **أفسِّر** سبب تكوّن سطح التسوية بين صخور الركيزة، وصخور حِقبة الحياة القديمة.
3. **أستنتِج**: تتكوّن صخور العصر السيلوري من الغَضار، ما بيئة الترسيب المكوِّنةُ لتلك الصخور؟
4. أحدِّد أماكن تكشّفِ صخر الجبس في الأردنّ التابعة للعصر الترياسي.
5. **أناقِش** سببَ انتشار الصخور الجيرية في معظم أجزاء سطح الأردنّ.
6. أذكُر فائدتين لرمل السليكا.
7. أحدِّد أماكن وجود الذهب في الأردنّ، والفترةَ الزمنية التابعة لها.

السياحة الجيولوجية في الأردنّ
Geotourism in Jordan

تُعرَفُ السياحةُ الجيولوجية بأنها أحدُ أنواعِ السياحة التي تُعْنى بالترويج للمظاهر، والتراكيب الجيولوجية والمورفولوجية للسيّاح، حيث يتمّ بها استخدامُ تلك المواقع الجيولوجية دون تعريضِها للتلف أو الدمار. وتشمَل السياحةُ الجيولوجية التضاريس، والتراكيب الجيولوجية، والصخور، والمعادن، والأحافير، والمناظر الطبيعية. كما تشمل المتاحف الجيولوجية.

ولتفعيل السياحة الجيولوجية في الأردنّ فوائدُ كثيرةٌ منها: التعريف بالتكشفات الجيولوجية الفريدة من نوعها في الأردنّ، و زيادةُ الدخل السياحي، وخلقُ فرصِ عملٍ للشباب، وتطويرُ المجتمعات المحلية المحيطة بتلك المواقع، كما أنها قد تسهم في حفظ تلك المواقعِ من التلف بسبب العناية المستمرة بها.

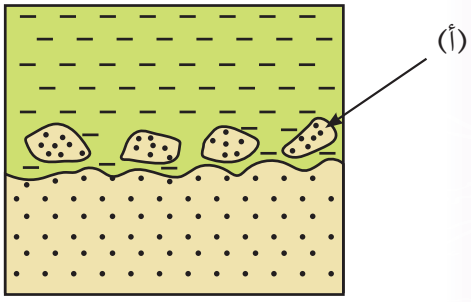
ومن المناطق الجيولوجية التي يمكن استغلالُها من ناحية سياحية: منطقةُ رَم، ومنطقةُ البحر الميت، وامتدادُ حَرة الشام في شمال شرق الأردنّ، ومغارة برقَش، وصخورُ ووديانُ وادي عربةَ.

الكتابةُ في الجيولوجيا

أبحث في مصادر المعرفة المتوافرة لديّ ومنها شبكةُ الانترنت؛ للحصول على معلومات تتعلق بأحد المواقع الجيولوجية التي يمكن استغلالُها سياحيّا، ثم أكتب بحثًا باستخدام العرض التقديمي متضمنًا صوَرًا، ثم أعرضه أمام معلّمي، وزملائي في الصف.

السؤال الأوّل: أضَع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

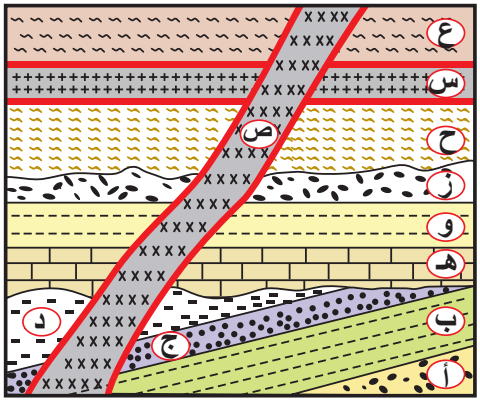
1. تتكوّن معظمُ غازات السّديم من:
   أ) الهيليوم والأكسجين.
   ب) الهيدروجين والأكسجين.
   ج) الهيدروجين والهيليوم.
   د) الهيدروجين والنيتروجين.
2. مبدأٌ ينصّ على أنه «في مجموعة من الطبقات الصخرية المتعاقبة، تكون الطبقة السفلى هي الأقدمَ، والطبقة العليا هي الأحدثَ» هو:
   أ) الاحتواء.
   ب) الترسيب الأفقي.
   ج) القاطع والمقطوع.
   د) التعاقب الطبقي.
3. ما المبدأ الذي يمكن استخدامُه والاستفادة من الصخور التي يشير إليها الرمز (أ) لتحديد الأعمار النسبية للصخور في الشكل؟



   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 المتوسطة.
   د) الحياة الحديثة.
5. أيٌّ من الآتية تمثل امتداد أعمار صخور الركيزة في الأردنّ؟
   أ) m.y (540- 800).
   ب) m.y (225- 540).
   ج) m.y (65- 225).
   د) m.y 65 - للآن.
6. أيٌّ من العصور الجيولوجية الآتية لا توجد تكشّفات صخرية تابعةٌ لها في الأردنّ؟
   أ) الكامبري. ب) الكريتاسي.
   ج) الثلاثي. د) الديفوني.
7. أيٌّ من المعادن الآتية ينتج من تجوية الطَّفّ البركاني، ويُستخدَمُ في تنقية المياه العادمة؟
   أ) الجبس. ب) الفلسبار.
   ج- الدولوميت. د) الزيوليت.
8. أيٌّ من العناصر المشعة الآتية تُستخدَمُ في تحديد الأعمار المطلَقة للصخور؟
   أ) ليثيوم (^{8}Li). ب) يود (^{131}I).
   ج) كوبلت (^{60}Co). د) روبيديوم (^{87}Rb).

السؤال الثاني:

يُوضّح الشكل الآتي تعاقباتٍ لصخور رسوبية (أ، ب، ج، د، هـ، و، ز، ح، ع) وقاطعًا ناريّا (ص) و مندسّة نارية (س) إذا علمت أن عُمْرَ المندسّة النارية (س) 35 مليون سنة. وعُمْرَ القاطع الناري (ص) 30 مليون سنة. أدرسه، ثم أجيب عما يليه من أسئلة.



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

ب) أحدِّد المبادئَ التي اعتمدتُ عليها في ترتيب الأحداث الجيولوجية؟

ج) أحدِّد سطوحَ عدم التوافق الواردةَ في الشكل.

د) أحدِّد العُمْرَ المطلَق للطبقة (ع).

السؤال الثالث: أملأُ الفراغَ في ما يأتي بما هو مناسبٌ من المصطلحاتِ:

أ) مبدأٌ ينصّ على أن «كل طبقة أو مجموعة طبقات من الصخور الرسوبية، تحتوي على أحافيرَ محدّدةٍ من الحيوانات والنباتات، تختلف عن تلك الموجودة في الطبقات الأقدم والأحدث» هو: .....

ب) سطحٌ يفصِل بين صخور رسوبية حديثة ترسبت فوق صخور نارية، أو صخور متحولة قديمة هو: .....

ج) يُسَمّى السطحُ الذي يفصِل بين طبقات رسوبية مائلة في الأسفل تقع فوقها طبقاتٌ رسوبية أفقية بـ: .....

د) مبدأٌ يستخدَمُ في تعرُّفِ امتدادِ الطبقات عند تعرّضِها لعمليات حَتٍّ وتعرية، أو في عملية المضاهاة الصخرية هو: .....

هـ) سطحٌ يفصِل بين صخور الركيزة المكوَّنة من الصخور النارية، والصخور الرملية التابعة لحِقبة الحياة القديمة .....

و) عمليةٌ تلقائيةٌ يتم فيها تحلُّلُ ذراتِ العناصر المشعّة، وتحوّلها إلى ذرات عناصرَ مستقرةٍ، أو أكثرَ استقرارا وإنتاج طاقة هي: .....

ز) يُسَمّى الزمنُ اللازم لاضمِحلال نصف ذرات النظيرة الأم المشعة في العينة، إلى نظيرة وليدة أكثرَ استقرارا أو مستقرة. .....

السؤال الرابع:

أُفسِّرُ كلًّا ممّا يأتي تفسيرا علميّا دقيقا:

أ) يُشترَطُ لاستخدام طرائقِ الاضمِحلال الإشعاعي في التأريخ المطلَق أن يكون النظام الإشعاعي مغلقًا.

ب) تُستخْدَمُ طرائقُ الاضمِحلال الإشعاعي في الصخور النارية.

ج) يتمّ قياسُ الأعمار المطلَقة لصخور القمر لتحديد عمر الأرض.

السؤال الخامس:

أقارِن بين التأريخ النّسبي، والتأريخ المطلَق من حيثُ تحديدُ أعمار الصخور.

السؤال السادس:

أستنتِج الفائدةَ من وجود سُلَّمِ زمنٍ جيولوجي في الأردنّ.

السؤال السابع:

أحسُب عُمْرَ صخرٍ غرانيتيٍّ يحتوي معدِنُ البيوتيت فيه 12.5% بوتاسيوم (^{40}K)، و87.5% أرغون (^{40}Ar)، علمًا بأن عمرَ النّصف للبوتاسيوم (^{40}K) يساوي 1.25 مليار سنة.

السؤال الثامن:

أستنتِج: هل يمكن استخدامُ الكربون (^{14}C) في تحديد عمرِ أحفورةِ ديناصور؟ ولماذا؟

السؤال التاسع:

أفسِّرُ: تُعَدُّ صخورُ العصر الكريتاسي العلوي أكثرَ الصخور انتشارًا في الأردنّ.

السؤال العاشر:

أقوِّمُ العبارة الآتية: يعتمد تطبيقُ مبادئِ تحديدِ العمرِ النّسبي واستخدامُه على التفكير المنطقي في تشكّلِ الصخور، والأحداث الجيولوجية.

(أ)

اضمِحلال إشعاعي Radioactive Decay: عملية تلقائية يتم فيها تحلُّلُ ذراتِ العناصر المشعّة، وتحوُّلُها إلى ذرات عناصرَ مستقرةٍ، أو أكثرَ استقرارا، وإنتاج طاقة.

(ت)

تأثير دوبلر Doppler Effect: ظاهرةٌ سُمِّيت باسم العالِم دوبلر، يظهر فيها تغيُّرُ تردُّدِ الصوتِ لجسم متحرك وطوله الموجي، اعتمادا على اتجاه حركته مبتعدا عنا، أو مقتربا منا.

تأريخ مطلَق Absolute Dating: طريقةٌ يتمّ فيها حسابُ عمرِ الصخور والمعادن التي تحوي نظائرَ مشعّةً بشكل دقيق ومحدَّد. وهو يمثل عدد السنوات التي انقضت منذ تشكُّل المعدِن أو الصخر، وانحباس النظيرة الأم المشعة داخلَه حتى وقتنا الحاضر.

تأريخ نسبي Relative Dating: ترتيبُ الأحداث الجيولوجية التي مرّت على سطح الأرض ترتيبا زمنيا من الأقدم إلى الأحدث.

التمايز Differentiation: عمليةُ فصلِ المكوّنات المختلفة لجسم ما؛ حيث إن الموادّ الأكثرَ كثافةً تترسّب في الأسفل، والموادَّ الأقلَّ كثافة ترتفع إلى السطح.

(س)

سطح التسوية Peneplanation: سطحٌ يفصل بين صخور الركيزة المكوَّنةِ من الصخور النارية، والصخور الرملية التابعة لحِقبة الحياة القديمة، نتج عن عمليات حَتٍّ وتعرية، أدت إلى تسوية صخور الركيزة في الكثير من المناطق في الأردنّ.

سُلَّمُ الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale: ترتيبٌ زمني، ينظِّم الأحداثَ الجيولوجية التي تعاقبت في تاريخ الأرض الطويل من الأقدم إلى الأحدث ، ويقدّم وصفا للتطور الجيولوجي والتغيّر الحيوي فيها.

سنة ضوئية Light Year: هي وحدةُ قياس فلكيةٌ تستخدَم لوصف المسافات البعيدة بين الأجرام السماوية، وتُعرَف بأنها المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة وتعادل 9.4×10^{12} km .

(ص)

صخور الركيزة Basement Rocks: أقدَم الصخور الموجودة في الأردنّ، التي تتبع حِقبة ما قبل الكامبري، حيث تتكشّف حول مدينة العقبة، على امتداد الجانب الشرقي لوادي عربة، وجنوب شرق البحر الميت، وتتكون في معظمها من صخور نارية ذاتِ تركيب غرانيتي.

(ع)

عُمْرُ النّصف Half-Life: الزمن اللازم لاضمِحلال نصف عدد ذرات النظيرة الأم المشعّة في العينة، إلى نظيرة وليدة أكثرَ استقرارًا أو مستقرّة.

(ف)

الفرضية السديمية Nebular Hypothesis: إحدى الفرضيات التي تفسّر نشأةَ النظام الشمسي، تنصّ على أن «جميع الأجرام المكوّنة للنظام الشمسي، نشأت من مادة أولية واحدة هي سحابة ضخمة تتكون في معظمها من عنصري الهيدروجين والهيليوم، وغبار كوني، ومركّبات هيدروجينية».

الفرسخ الفلكي Parsec: وحدةُ قياس المسافات الكبيرة بين النجوم، والمجرات ويساوي $1\ pc = 3.1\times10^{13}\ km = 3.26\ ly$.

(م)

مبدأ الاستمرارية الجانبية Principle of Lateral Continuity: أحَدُ مبادئ التأريخ النسبيّ للصخور ينصّ على أن «الصخور الرسوبية تمتد جانبيا في جميع الاتجاهات على امتداد حوض الترسيب، وتقلّ سماكاتها تدريجيّا عند أطراف الحوض، وللطبقة الواحدة عمرٌ جيولوجي واحد في أي مكان وُجِدت فيه ضمن الحوض الرسوبي».

مبدأ الترسيب الأفقي Principle of Original Horizontality: أحَدُ مبادئ التأريخ النسبي للصخور ينصّ على أن «الرسوبيات ومن ثم الصخور الرسوبية تترسّب أصلا على شكل طبقات أفقية؛ ذلك لأن الرسوبيات تتوضع غالبا على أرض منبسطة أو مستوية في قاع البحار، أو المحيطات، وإذا وُجدت الطبقاتُ مائلة أو مطويّة، فإن هذا حدث نتيجة تأثير قوى تكتونية حدثت بعد عملية الترسيب الأفقي لهذه الطبقات».

مبدأ القاطع والمقطوع Principle of Cross-Cutting Relationships: أَحَدُ مبادئ التأريخ النسبي للصخور ينصّ على أن «القاطع أحدثُ عمرا من المقطوع، سواءٌ أكان القاطع جسما ناريّا، أم صَدْعا تكتونيّا».

مبدأ تعاقب المجموعات الحيوانية والمجموعات النباتية Principle of Faunal and Floral Succession: أَحَدُ مبادئ التأريخ النسبيّ للصخور ينصّ على أن «كل طبقة أو مجموعة الطبقات من الصخور الرسوبية، تحوي أحافيرَ محدّدة من الحيوانات والنباتات، تختلف عن تلك الموجودة في الطبقات الأقدم والطبقات الأحدث منها».

مجرات إهليليجية Elliptical Galaxies: أَحَدُ أنواع المجرات، التي تتميز بشكلها الإهليليجي، الذي يختلف في شدة استطالته فقد يكون شديدَ الاستطالة، أو يكون قليل الاستطالة أقرب للشكل الكروي، وتُعدُّ أقدمَ المجرات وأكبرَها عمرًا.

مجرات حلزونية Spiral Galaxies: أَحَدُ أنواع المجرات التي تترتب فيها النجوم في أذرُعٍ حلزونية حول نواتها، وتُعَدُّ من المجرات متوسّطةِ العمر.

مجرات عملاقة Giant Galaxies: مجرات تتميز بعدد هائل من النجوم، قد يصل إلى مليارات من النجوم بغض النظر عن شكلها.

مجرات غير منتظَمة Irregular Galaxies: أَحَدُ أنواع المجرات التي تتميز بعدم انتظام شكلها واحتوائها على كميات كبيرة جدّا من الغازات بين نجومها، وهي أحدث المجرات وأقلّها عمرا.

مجرات قزَمة Dwarf Galaxies: مجرات تتميز بعدد نجومها القليل الذي يتراوح بين 1000 نجم إلى عدة ملايين من النجوم، بغض النظر عن شكلها.

أوّلًا- المراجع العربية

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

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

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

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

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

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

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

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, Kathleen. & Fronk Robert H, (2007): **Earth Science**, Harcourt Education Company.
2. Brooks, Barbara. & Jenner Jan (2009): **Earth Science**, Pearson Education, Lake Street New jersey.
3. Heithaus,Michael &Ogle, Donna (2021): **Space Science,** Houghton Mifflin Harcourt Education Company.
4. Jarrar, G. Ghanem, H. (2021): **Neoproterozoic Crustal Evolution of the Northernmost 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.