Manara university
Faculty of engineering
Department of civil engineering

جامعة المنارة
كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية

مقرر جيولوجيا هندسية

لطلاب الهندسة المدنية – السنة الأولى

مدرس المقرر
د.م. مهند سليم مهنا

المواضيع الأساسية في المقرر

مدخل إلى الجيولوجيا الهندسية، نشأة الأرض وبنيتها والحقب الجيولوجية

المنيرالات: (الروابط الداخلية الذرية للمنيرالات – وحدات البناء الأساسية للمنيرالات)

(أهم المنيرالات وتصنيفها واستخداماتها الهندسية)

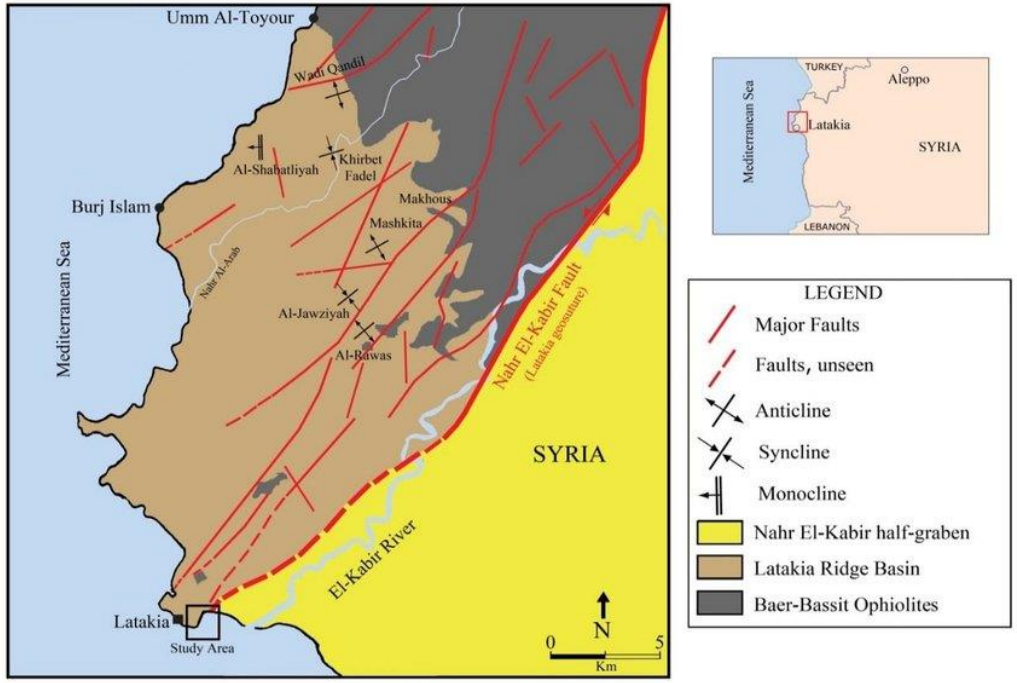
الصخور (أهم الصخور الرئيسية وتصنيفها واستخداماتها الهندسية)

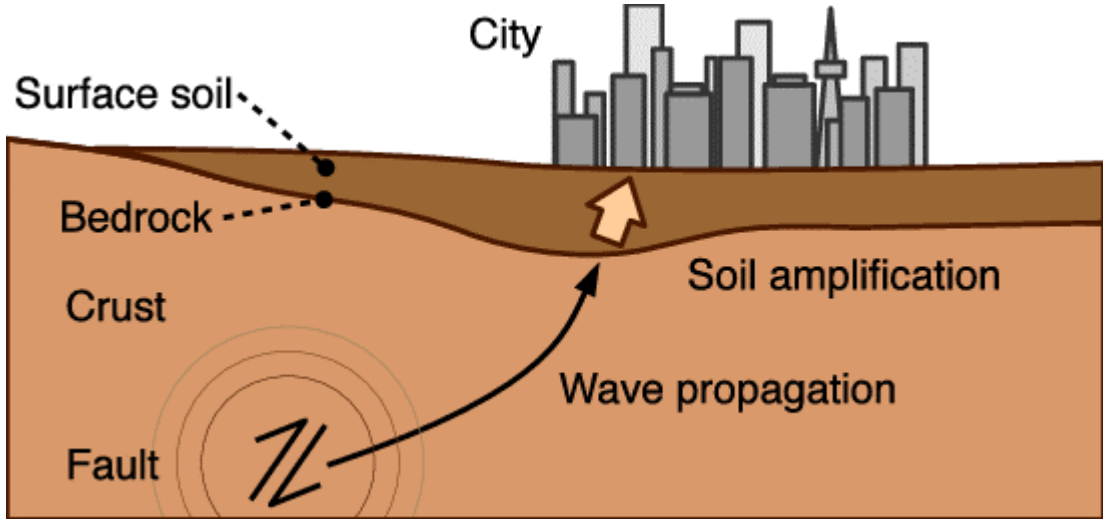
الصخور النارية الصخور الرسوبية الصخور المتحولة

الخواص الفيزيائية والميكانيكية للصخور

الستراتيغرافيا، التراكيب الجيولوجية الأولية والثانوية وأشكال توضع الصخور

المبادئ الستراتيغرافية وتحديد العمر النسبي للصخور الرسوبية





الخرائط الجيولوجية: مكوناتها ورسم المقاطع العرضية

جيوديناميك الأرض –نظرية الصفائح التكتونية، الحدود التكتونية وأهم الظواهر الجيولوجية المرتبطة بها

الزلازل شداتها وقياسها، أنواع الأمواج الزلزالية وانتشارها في القشرة الأرضية

الخطر الزلزالي، الخرائط الزلزالية وتأثير الموقع.

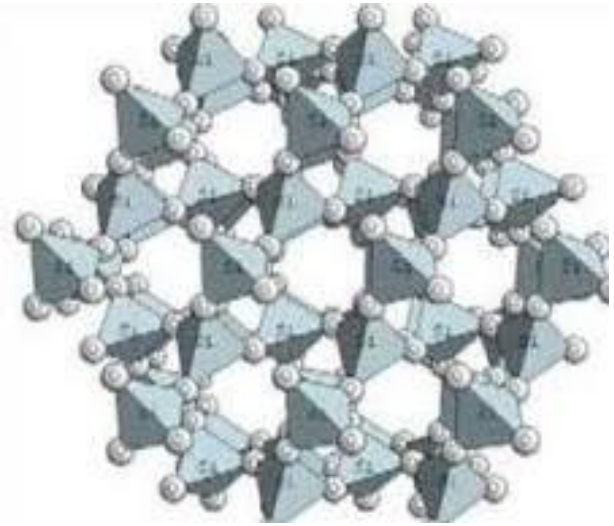
مصطلح جيولوجيا (Geology) ذو أصل اغريقي ويعني (علم الأرض) ومشتق من كلمتين:

(أرض=Geo) + (علم أو دراسة= logos)،

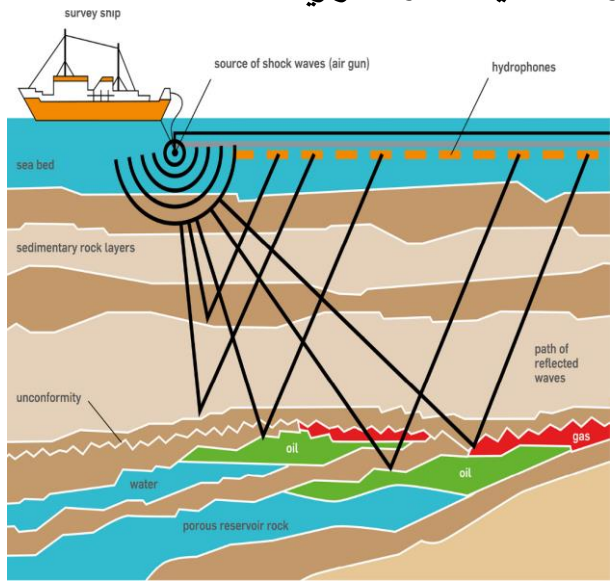
علم يهتم بدراسة الأرض وكل ما يتعلق بها وحولها من ظواهر طبيعية (نشأة الأرض ، بنيتها، تركيبها والعوامل المؤدية إلى تغير حالتها الداخلية والخارجية وعمرها،.)...

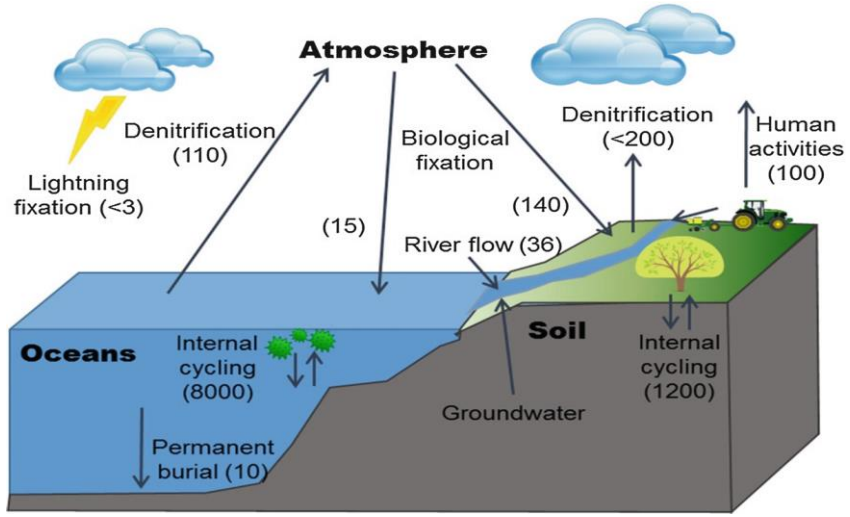
العلوم الجيولوجية الفرعية المتخصصة منها:

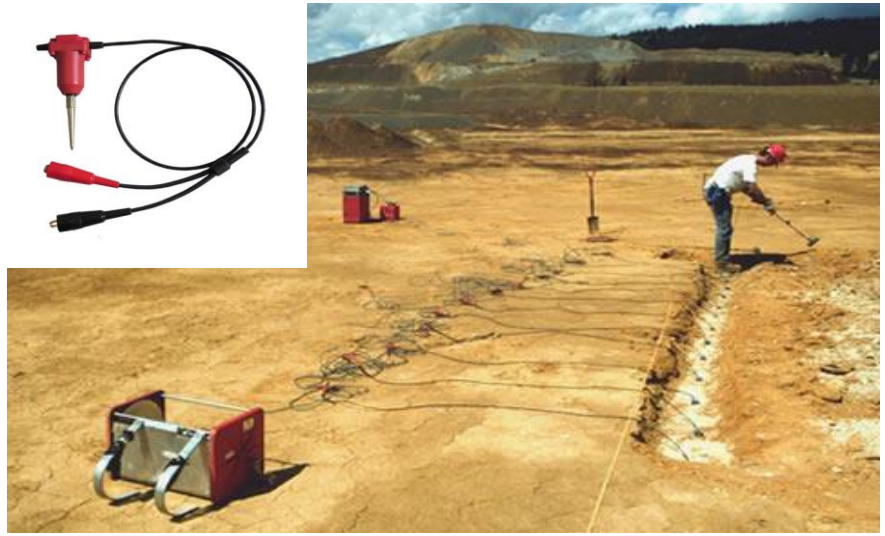
- **البتروغرافيا** (Petrography): علم يهتم بدراسة وتصنيف الصخور.
- **المنيرالوجيا** (Mineralogy) :علم يهتم بدراسة المنيرالات.
- **الكريستالوغرافيا** (Crystallography): علم يهتم بدراسة البلورات.
- **الستراتيغرافيا** (Stratigraphy): علم يهتم بدراسة تتابع الطبقات الصخرية وعمرها.
- **التكتونيك أو الجيوتكتونيك** (Geotectonic) :علم يهتم بدراسة الحركات التكتونية والظواهر التي تنشأ عن القوى الداخلية للأرض ومنها الزلازل والبراكين والطيات والفوالق،...



- **علم المستحاثات /الأحفوريات** (Paleontology) :علم يهتم بدراسة الكائنات الحية التي تواجدت على كوكب الأرض خلال أزمنة وعصور جيولوجية مختلفة.
- **الجيولوجيا البنيوية** (Structural Geology) :علم يدرس تراكيب وتوزع الصخور بشكل ثلاثي الأبعاد ويهدف لفهم التطور البنيوي لمنطقة معينة عن طريق دراسة التشوهات الحاصلة (الطيات والفوالق والفواصل..)
- **الجيوفيزياء** (Geophysics) :علم يهتم بدراسة خواص الطبقات الأرضية عن طريق دراسة التباين في الخصائص الفيزيائية بين طبقات الصخور (الناقلية الكهربائية والمغناطيسية والحرارية...)



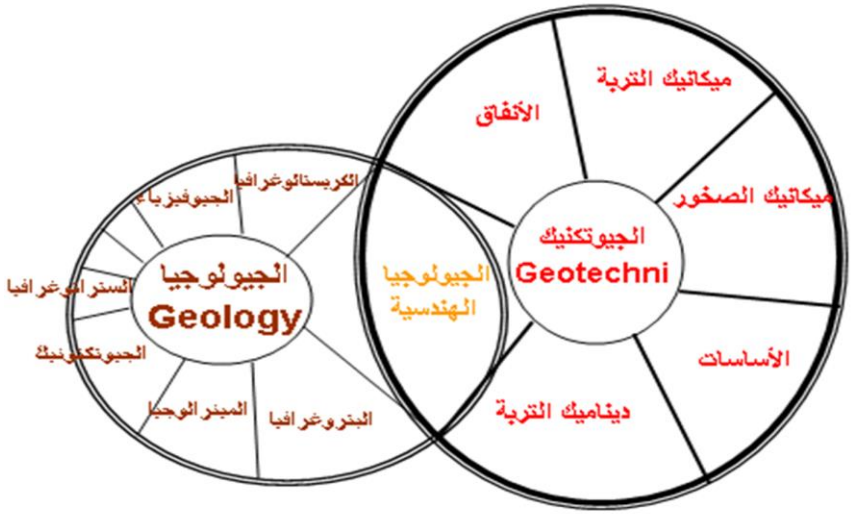




- **الجيوكيمياء** (Geochemistry) :علم يهتم بدراسة الخواص الكيميائية لطبقات الأرض (التربة والصخور والمنيرالات)
- **السيسمولوجيا** (Seismology): علم يهتم بدراسة انتشار الأمواج الزلزالية وتأثيراتها.
- **الجيولوجيا التاريخية** (Historical Geology): وهي علم يهتم بدراسة تاريخ الأرض والعصور والأحقاب المختلفة التي مرت بها الأرض منذ نشأتها.
- **الجيولوجيا الاقتصادية** (Economical Geology): وهي علم يهتم بدراسة النواحي الاقتصادية للمواد والخامات الطبيعية.

الجيولوجيا الهندسية (Engineering Geology): علم يهتم بدراسة الطبقات العليا من القشرة الأرضية المتأثرة بالنشاط الهندسي، حيث يدرس طبقات التربة والصخور كطبقات تأسيس ويهتم باستكشافها وتحديد خواصها وسماكاتها وتصنيفها الهندسي وتغيراتها تحت تأثير القوى الجيوديناميكية الداخلية والخارجية ودراسات توازن المنحدرات والتأثيرات السيسمية على المنشآت .

وتعتبر الجيولوجيا الهندسية هي مجال تقاطع علم الجيولوجيا مع علم الهندسة الجيوتكنيكية .وفي هذا المقرر سيتم تناول أجزاء من معظم العلوم الجيولوجية المذكورة أعلاه بدرجات متفاوتة ومنها: (البتروغرافيا /المنيرالوجيا /الستراتيغرافيا /الجيولوجيا البنيوية/ السيسمولوجيا/ الجيوفيزياء) والعلوم الجيولوجية الأخرى بشكل سريع وأقل تفصيلاً.



أهمية دراسة الجيولوجيا الهندسية:

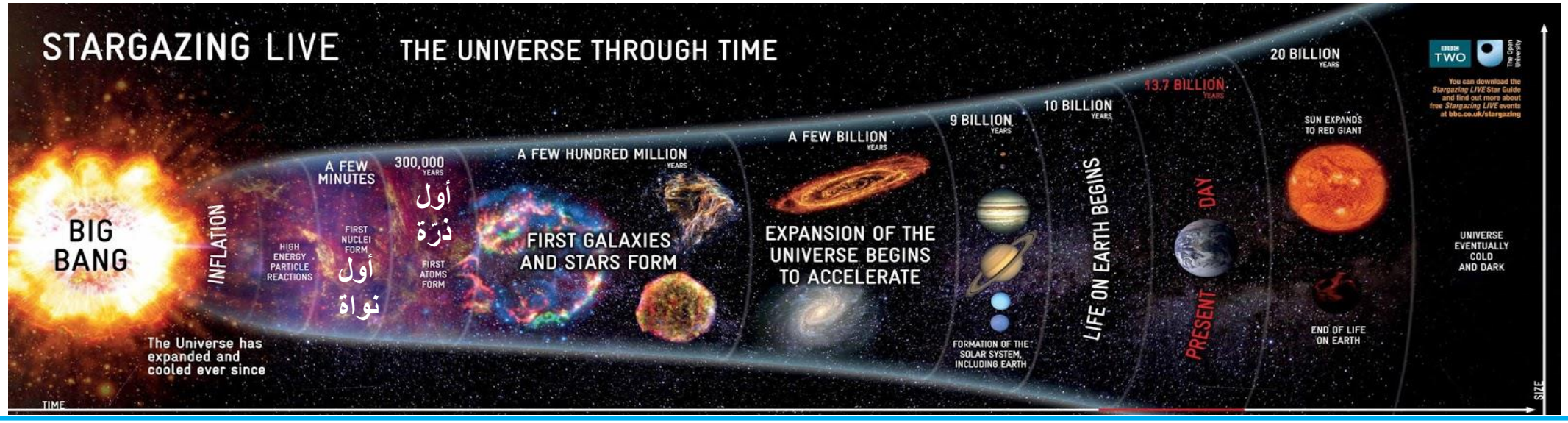
- تساعد دراسة الجيولوجيا على تخطيط المدن واختيار المواقع الأفضل للمنشآت (طرق، أنفاق، سدود، ...) من خلال دراسة التوضع الطبقي وخواص طبقات التربة والصخور المختلفة.
- فهم الظواهر الطبيعية المختلفة التي أثرت سابقاً وحالياً على شكل سطح الأرض والظواهر التي تؤثر بقوى مختلفة على المنشآت الهندسية.
- تساعد دراسة الجيولوجيا في تلافي المخاطر المحدقة بالمنشآت الهندسية المختلفة وبالتالي التوصل إلى دراسات وتصاميم أمينة واقتصادية، كما تساعد على إنقاذ حياة عدد كبير من البشر.
- إن دراسة الجيولوجيا الهندسية تساعد على فهم العلوم الهندسية الأخرى .

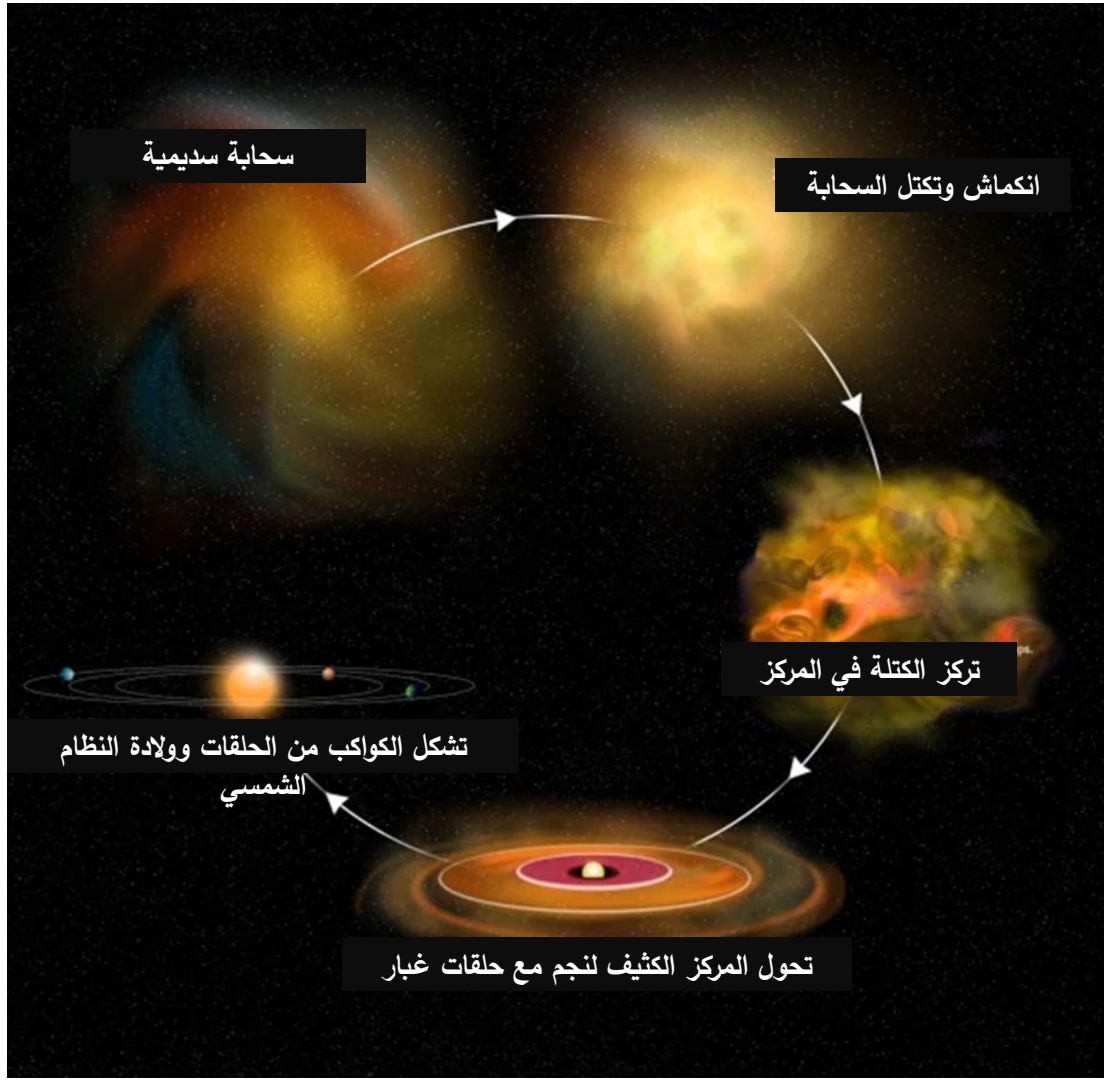
نشأة الكون ونظرية الانفجار العظيم Big Bang Theory

ولد الكون من خلال الانفجار العظيم لنقطة شديدة الكثافة والحرارة لا يمكن تصورها (Singularity)، نقطة بلا أبعاد مجرد طاقة صافية.

شهدت اللحظة الأولى من الانفجار (أجزاء صغيرة من الثانية) توسع و تضخم للكون أكثر من 90 مرة منتقلاً من حجم دون ذري إلى حجم كرة غولف بشكل فوري، واستمر توسع الكون وتمدده وبذلك أصبح أكثر برودة وتشكلت المادة .

بعد مرور ثانية واحدة على الانفجار الكبير أصبح الكون مملوءً بالنيوترونات و البروتونات و الالكترونات و الفوتونات...التي ساهمت بتشكيل أول نواة بعد بضعة دقائق فقط ولتتشكل أول ذرة بعد 300 ألف سنة. وتشكلت مجموعتنا الشمسية بعد 9 مليارات عام من الانفجار العظيم.





إن النظام الشمسي وفق **الفرضية السديمية**، تشكل من سحابة سديمية (Solar Nebula) بشكل قرص يدور بسرعة كبيرة مكونة من ذرات الهيدروجين والهليوم الذي نشأ من الانفجار الكبير، إضافةً لجزئيات دقيقة من الغبار وبقايا حطام النجوم الميتة.

ومنذ حوالي 5 مليار سنة بدأت هذه السحابة من الغاز والغبار بالانكماش تحت تأثير الجاذبية المتبادل بين الجزئيات وأصبحت تدور بسرعة كبيرة وتركز جزء كبير من المادة في المركز والذي تحول لنجم (الشمس) مع حلقات غبار. ولاحقا تشكلت الكواكب التي تدور حول الشمس ومنها كوكب الأرض من خلال تبرد السحابة الغبارية وتقلصها وتحول الجزئيات إلى منيرالات وصخور من تصادم الجزئيات وتجمعها.

ولكوكب الأرض عدة حركات: حركة حول محوره عكس عقارب الساعة ينتج عنها اليوم الشمسي وحركة حول الشمس عكس عقارب الساعة وينتج عنها السنة الشمسية.

نشأة الأرض وعمرها

تشكل كوكب الأرض من كرة ملتهبة منذ حوالي (4.7 Milliard Years) من المعادن المنصهرة نتيجة الحرارة الداخلية العالية غير المعروفة تماماً حيث يتوقع أن تكون نتيجة النشاطات النووية أو من حرارة تصادم الجزيئات والأجسام وبدأت عمليات **التمايز الثقلي** بين مكونات الصهارة (المعادن الأقل كثافة تصعد إلى السطح والأكثر كثافة تهبط للأسفل نحو داخل الأرض)

خلال مرحلة مبكرة من عملية التمايز الثقلي خرجت كميات كبيرة من الغازات إلى سطح الأرض وشكلت الغلاف الجوي البدائي للأرض، ثم بدأت بعدها درجات الحرارة الخارجية بالانخفاض وبالتالي بدأ الغلاف الخارجي للأرض بالتبريد تدريجياً حتى تشكلت القشرة الأرضية الصلبة، وهنا وضعت الساعة الجيولوجية على المؤشر (00:00).

أمكن تحديد عمر الأرض اعتماداً على الطريقة الإشعاعية (الراديومترية) :

تعتمد على الخواص الاشعاعية لبعض العناصر مثل اليورانيوم (U238) أو البوتاسيوم المشع (K40) أو الكربون المشع (C14) و غيرها. على سبيل المثال ، المعروف بأن اليورانيوم (U238) يتفكك مع الزمن حسب التالي :

يورانيوم (U238) ← رصاص Pb206 + هيليوم(He) .

فترة نصف العمر للعنصر المشع: هو الزمن اللازم لتحلل نصف عدد نوى العنصر المشع في أي عينة منه إلى نوى مستقرة، أي بعد مرور فترة نصف العمر لعنصر ما يكون قد تحول نصف عدد الأنوية الكلية للعنصر المشع إلى أنوية مستقرة.

إن 1gr من اليورانيوم يعطي في السنة $127x10^{-9}gr$ من الرصاص و $0.09*10^{-9}cm^3$ من الهيليوم، ولكي يتحول اليورانيوم إلى نصف كتلته فإنه يحتاج إلى زمن قدره $4.5x10^{+9}$سنة، و بتحديد كمية اليورانيوم U238 و كمية الرصاص Pb206 تمكن العلماء من تحديد عمر الكرة الأرضية الذي يزيد قليلا عن 4 مليار سنة، من خلال حجر الزيركون (Zircon)المكتشف في كندا و غرين لاند و استراليا،...، وكذلك المدة الزمنية التي استغرقها كل عصر من العصور الجيولوجية.

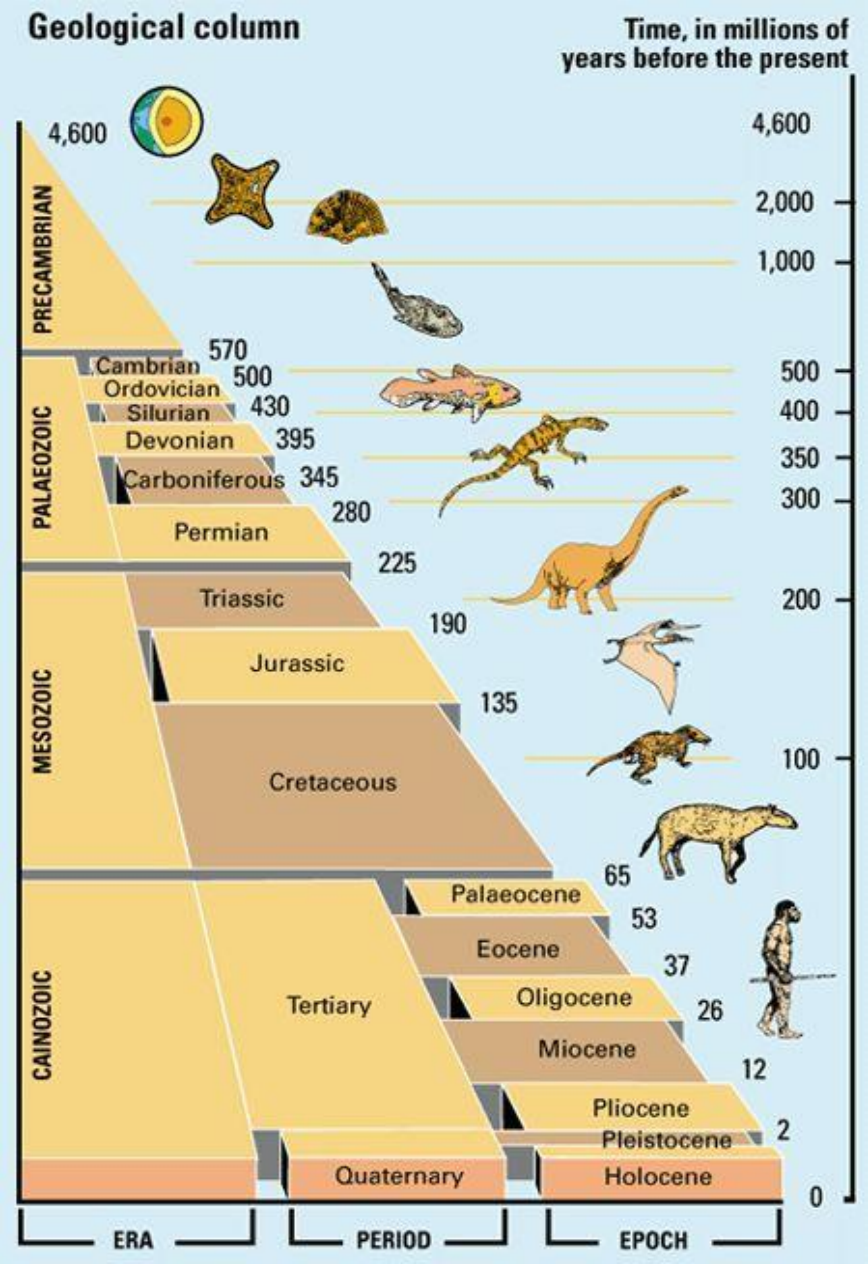
الأحقاب والعصور الجيولوجية

مصطلح الحقبة الجيولوجية يشير إلى جزء معين من تقسيمات الزمن الذي مَرَّ على كوكب الأرض، وتلك الحقب تنقسم إلى عصور جيولوجية عديدة، حيث تمتد العصور الجيولوجية بين 10 مليون سنة إلى حوالي 80 مليون سنة .أي أن الحقبة الواحدة قد تتجاوز مئات ملايين السنين.

على هذا الأساس قسَّم العلماء طول الزمن الجيولوجي أو كما أطلقوا عليه "الأمد الجيولوجي" إلى أربعة أحقاب زمنية رئيسية كبيرة هي:

- حقبة ما قبل الكامبري،
- حقبة الباليوزي،
- حقبة الميسوزي،
- حقبة السينوزوي.

Era/ الحقبة	Time مليون سنة	أهم الأحداث
Cenozoic السينوزوي	0-65	حقبة الحياة الحديثة، ظهور الثدييات الحالية والحضارة الإنسانية
Mesozoic الميسوزي	65-245	حقبة الحياة الوسطى، انتشرت فيها الزواحف الكبيرة وعدد كبير من الثدييات
Paleozoic الباليوزي	245-540	حقبة الحياة القديمة، ظهرت فيها الفقاريات والحشرات والنباتات البرية
Precambrian ماقبل الكامبري	540-4500	عصر الحياة الأولى البدائية، ظهرت خلالها الطحالب والفطريات البدائية والرخويات بالبحر



كل حقبة من هذه الحقب الأربعة تشتمل على عدة عصور.

كل عصر من هذه العصور **يتميز عن غيره** بظهور وتنوع الحياة فيه والكائنات الحية والحيوانات والنباتات والطقس والمناخ وتغير سطح الارض ما بين انفصال واتصال ونشوء قارات واندماج أخرى.

في معظم الأحيان تكون هنالك أحداثا جسيمة هي ما تفصل بين عصر وآخر، مثل أحداث **الإنقراضات العظيمة** التي تخللت التاريخ الحيوي للأرض وأثرت تأثيرات كبيرة على الحياة والأحياء فيها كالديناصورات والبكتيريا والميكروبات وبعض أنواع الاشجار.... إلخ.

أولاً: حقبة ما قبل الكمبري

هذه الحقبة كانت منذ 4500- 540 مليون سنة، ويعتبر ما قبل الكمبري هو عصر الحياة المبكرة الأولى البدائية التي ظهرت خلالها الطحالب والفطريات البدائية والرخويات بالبحر، وكانت الأرض تشتعل دوما بالبراكين في هذه الحقبة.

كما بدأت الأحياء البحرية الدقيقة تظهر كالرخويات والأصداف والمحار، حتى حدث ما يسمى بالانفجار الحيوي الذي أعقبه ظهور عدد كبير من الفصائل الحيوانية والنباتية وانتشرت انتشاراً كبيراً، وقد تركت لنا آثارا تدل عليها من حفريات وأشجار متحجرة.

ثانياً: حقبة الباليوزي

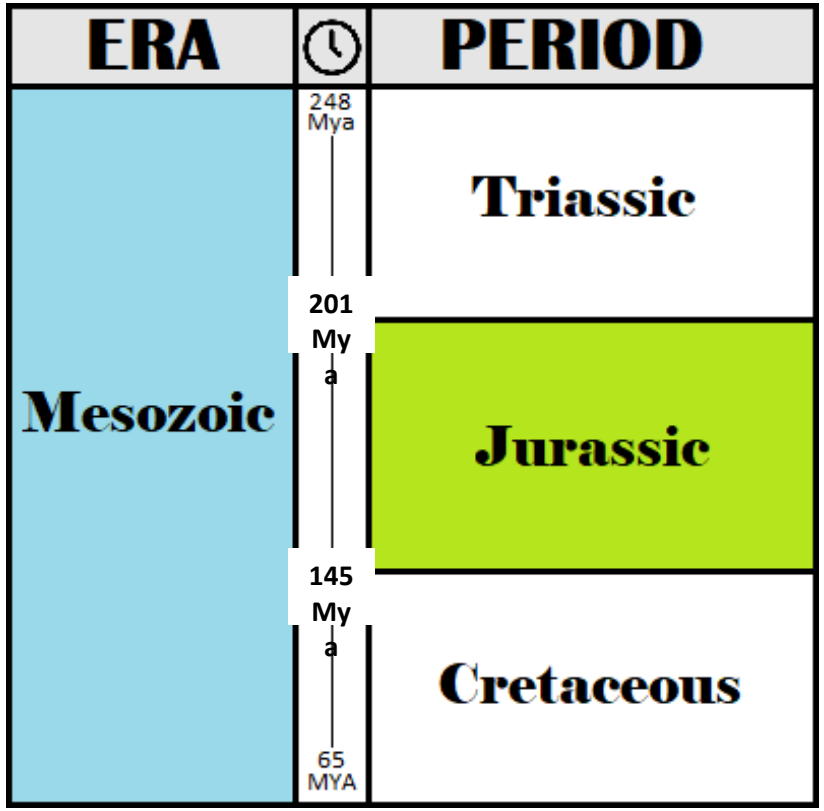
وهي حقبة الحياة القديمة التي امتدت بين 540 – 245 مليون سنة، وتلك الحقبة تتميز بانتشار كثيف للصخور الصلبة والنارية فيها، وأيضا حفظت لنا العديد من الحفريات التي تدل عليها. تنقسم هذه الحقبة إلى ستة عصور، وهي

- العصر الكامبري،
- العصر الأردوفيشي،
- العصر السيلوري،
- الديفوني،
- العصر الكربوني،
- العصر البيرمي.

أغلب طبقات الفحم تشكلت على مستوى العالم كانت خلال هذه الحقبة خصوصاً العصر الكربوني.

ثالثاً: حقبة الميسوزي

وهي ما يطلق عليها حقبة الحياة الوسطى، وقد انتشرت فيها الزواحف الكبيرة، وعدد كبير من الثدييات التي مازالت موجودة إلى وقتنا هذا، وهذه الحقبة يتم تقسيمها إلى ثلاثة عصور، وهي:



العصر الترياسي: ظهرت فيه الديناصورات بكثافة والكثير من السلاحف والزواحف والقواقع والنباتات الزهرية، كما أنه انتهى مع انقراض أكثر من 35% من الحيوانات والزواحف البحرية.

العصر الجوراسي: عصر الديناصورات العملاقة وفيه سادت الديناصورات الأرض بعد انقراض أنواع عديدة من الأحياء الأخرى، وبدأت تظهر الثعابين وبعض الطيور العملاقة والفراشات والنمل والنحل.

العصر الكريتاسي (الطباشيري): وهو العصر الذي انقرضت فيه الديناصورات، بينما زادت أنواع وأعداد الثدييات الصغيرة البدائية وظهرت أنواع عديدة من الأسماك والأحياء البحرية.

تعود تسمية العصر الطباشيري بهذا الاسم إلى ترسبات الطباشير(كربونات الكالسيوم) المنتشرة خلال هذا العصر في أوروبا الغربية، وهي صخور تتشكل تحت الظروف البحرية الضحلة الدافئة.

رابعاً: حقبة السينوزوي

حقبة الحياة الحديثة أو المعاصرة، امتدت من 65 مليون سنة مضت وحتى زمننا الحاضر

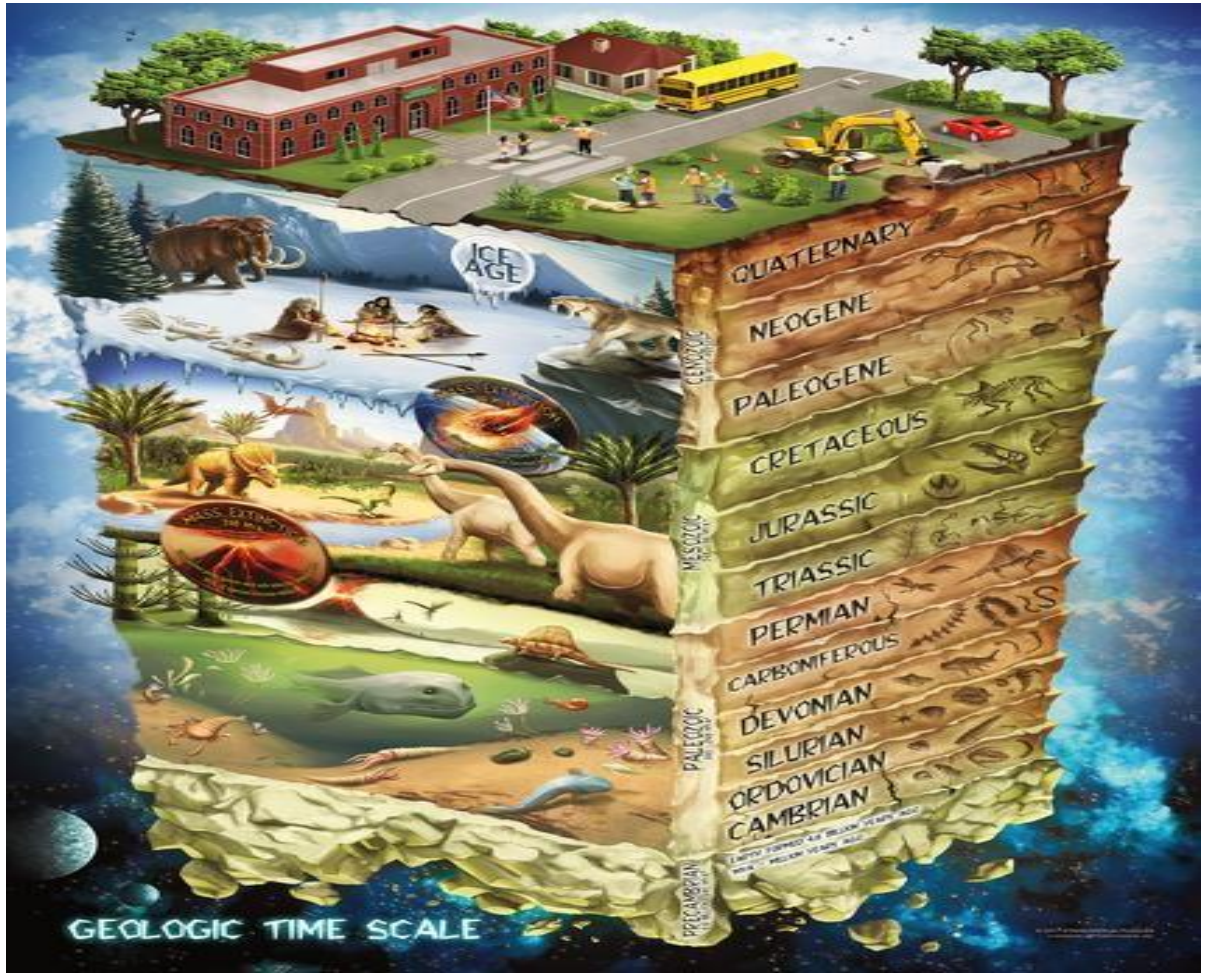
بدأت هذه الحقبة بعد أحداث انقراض العصر الطباشيري في نهاية عصر الكريتاسي والتي شهدت زوال آخر الديناصورات غير الطائرة (فضلا عن غيرها من النباتات البرية والبحرية والحيوانات) ونهاية حقبة الميسوزي.

تعرف الحقبة المعاصرة أيضا بعصر الثدييات، لأن انقراض الديناصورات غير الطائرة سمح بالتنوع الكبير للثدييات وسيطرتها على الأرض

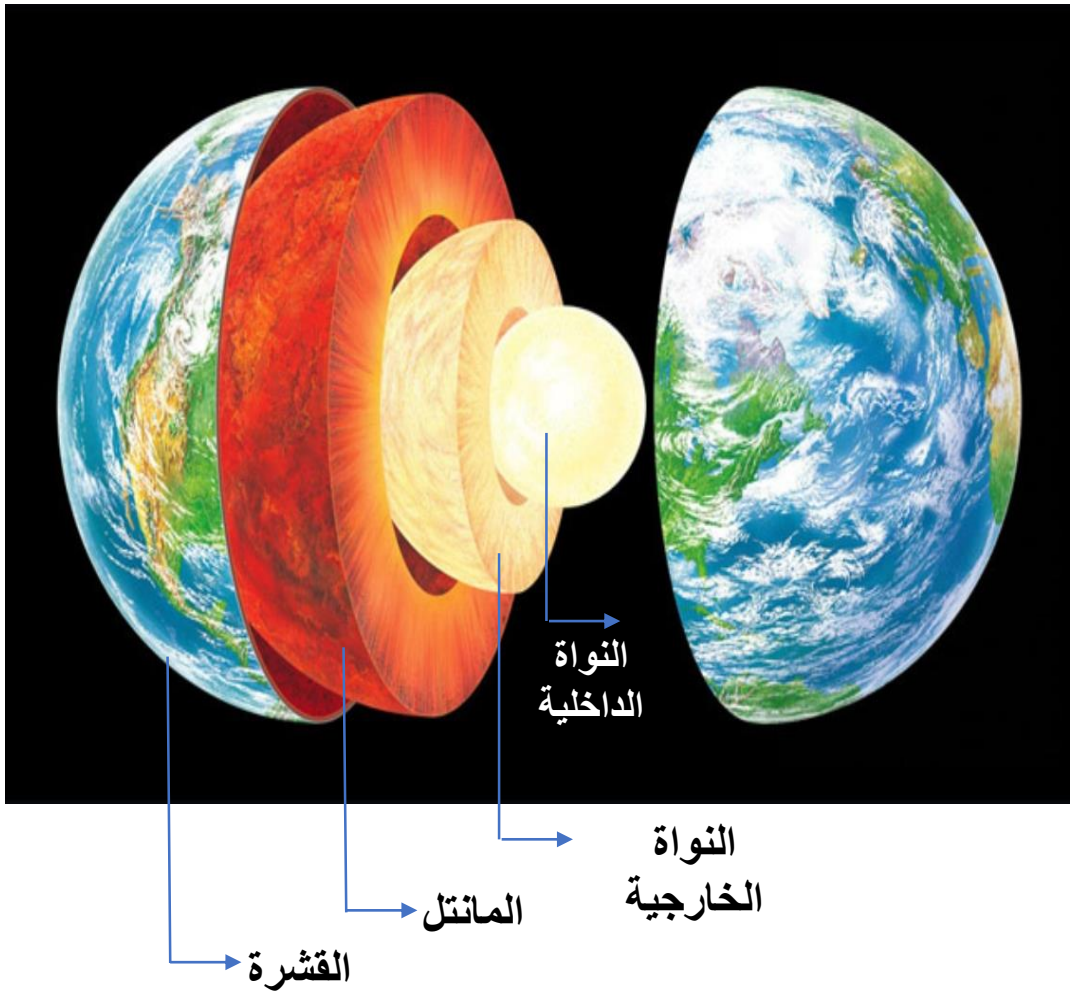
تتضمن هذه الحقبة ثلاث عصور رئيسية هي من الأقدم:

- البالیوجین
- النيوجيني
- الرباعي.

Era	Period		Epoch (start mya)		
Cenozoic	Quaternary العصر الرباعي		Holocene	0.01	ظهرت الحضارة الإنسانية والكتابة
			Pleistocene	2.6	فيه العصر الجليدي الأخير حيث انقرضت الثدييات العظيمة (الفقارية)
	Tertiary	Neogene النيوجين	Pliocene	5.3	بدأ ظهور أشباه الإنسان متمثلين في الانسان البدائي الأول
			Miocene	23.0	وظهر به ثدييات كالحصان والكلاب والدببة وفي رسوبياته البترول
		Paleogene البالیوجین	Oligocene	33.9	ظهور ثدييات جديدة كالقطط وحيوان الكركدن(الضخم)
			Eocene	55.8	ظهرت القوارض والحيتان الأولية
			Paleocene	65.5	ظهور الفئران الصغيرة وقنافذ بلا أشواك


ICE AGE
QUATERNARY
NEOGENE
PALEOGENE
CRETACEOUS
JURASSIC
TRIASSIC
PERMIAN
CARBONIFEROUS
DEVONIAN
SILURIAN
ORDOVICIAN
CAMBRIAN
CENOZOIC
MESOZOIC
PALEOZOIC
PRECAMBRIAN
GEOLOGIC TIME SCALE

بنية الأرض وأغلفتها

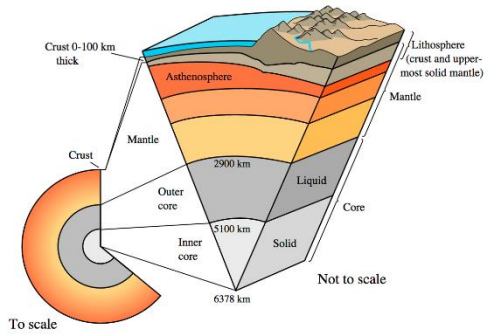


التركيب الداخلي للأرض (Internal structure of the earth)

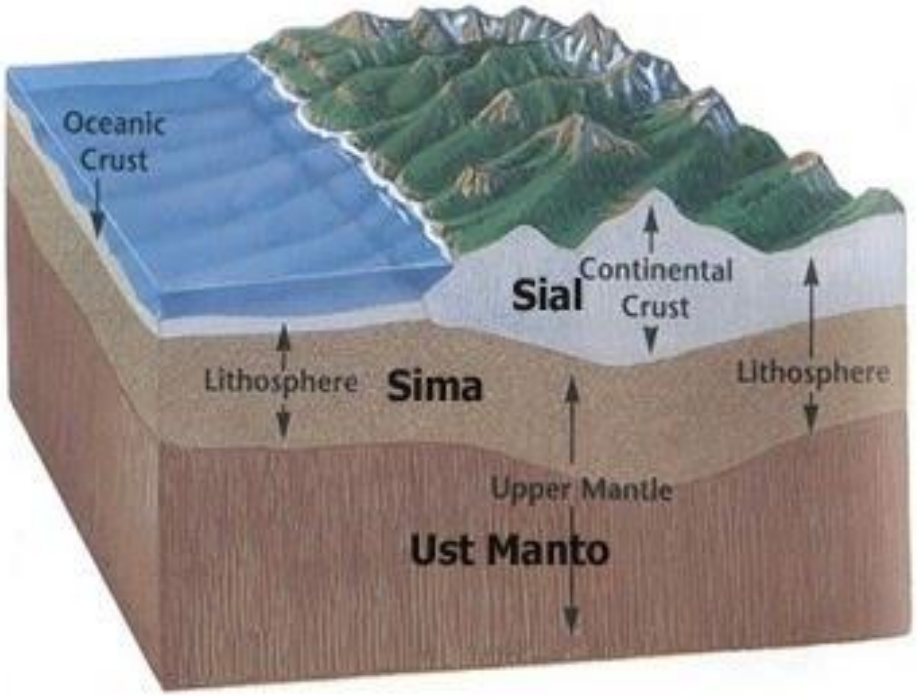
الأرض كروية تقريباً حيث يبلغ قطرها الاستوائي 12740 km وقطرها القطبي 12700 km. تزن الأرض حوالي $5.4*10^{21}$ طن وبذلك يكون وزنها النوعي الوسطي 5.5. بما أن الوزن النوعي للصخر السطحي حوالي2.7-3 نستنتج أن الوزن النوعي للطبقات العميقة أكبر من 5.5.

لقد كان أهم عمل هندسي في مجال الهندسة الزلزالية هو تحديد التركيب الداخلي للأرض، وقد تم ذلك عن طريق دراسة انتشار الأمواج الزلزالية وانعكاسها وانكسارها على الحدود الفاصلة بين الطبقات. بالنتيجة تم تقسيم باطن الأرض إلى الطبقات التالية

- القشرة الأرضية (The Crust)
- المانتل (The Mantle)
- النواة الخارجية (The Outer Core)
- النواة الداخلية (The Inner Core)



القشرة الأرضية (The Crust)



هي القسم الأعلى من الكرة الأرضية وسماكتها تتراوح بين 5 و 80 كم وتمثل حوالي 1% حجماً من الأرض.

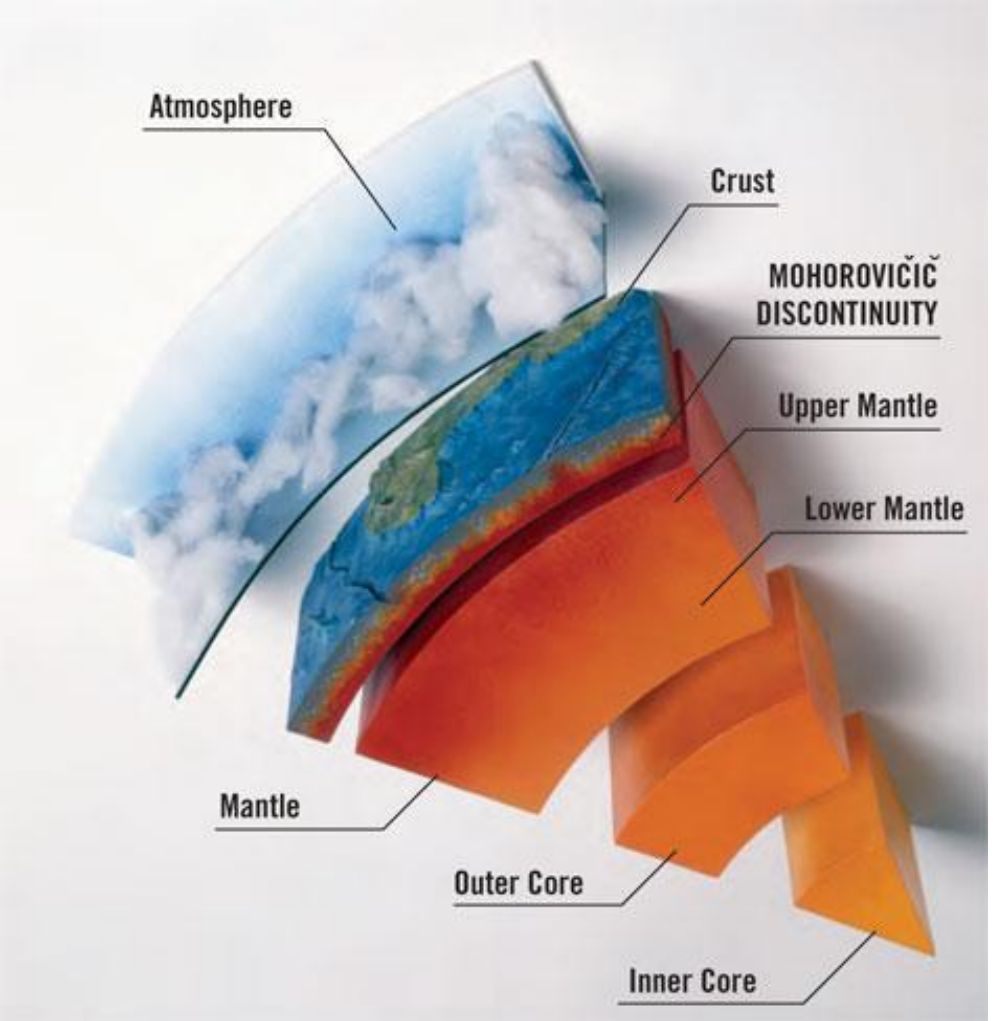
تقسم إلى قشرة قارية Continental Crust وقشرة محيطية Oceanic Crust .

القشرة القارية تحت القارات وسماكتها تصل حتى 80 كم تحت الجبال.

الجزء الأعلى منها مكون من صخور يغلب فيه السليسيوم والألمنيوم وتدعى طبقة السيال SiAl

وأغلبها صخور نارية غرانيتية أما الجزء الأدنى منها فيدعى السيما SiMa لأنها مكونة من صخور يغلب فيها السيليسيوم والمغنيزيوم وداكنة اللون مثل الديوريت والغابرو.

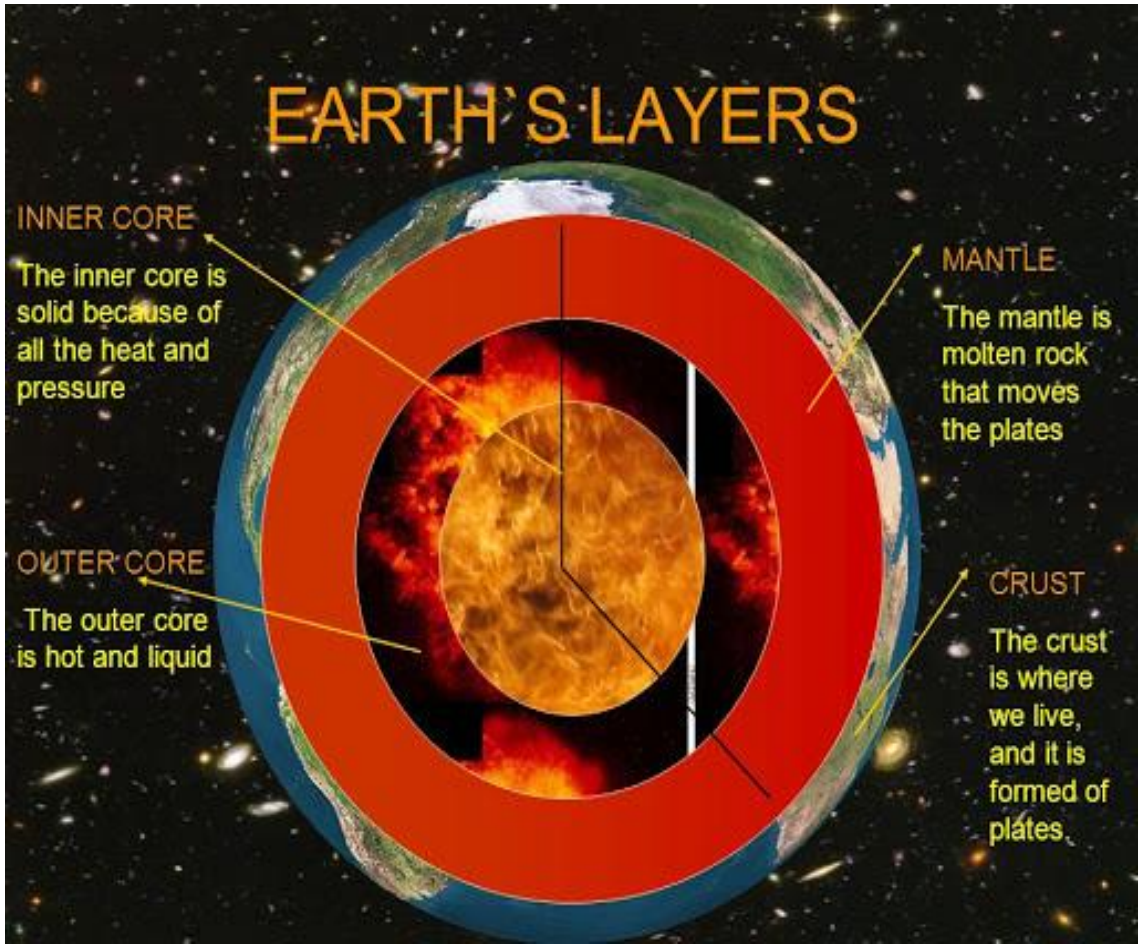
وقشرة المحيط ذات سماكة بين 10 - 5 كم وتحت الجزر حتى 15 كم وهي مكونة من صخور يغلب فيها السيليسيوم والمغنيزيوم SiMa مثل البازلت والدياباز والغابرو وقسم سطحي من الصخور الرسوبية.



المانتل (The Mantle)

تقع تحت القشرة وسماكتها حوالي 2850 km. يمكن تقسيمها إلى طبقتين: المانتل العلوي التي لا تتجاوز سماكتها 650 km والمانتل السفلي. تجدر الإشارة إلى أن المانتل العلوي أكثر برودة من المانتل السفلي ولكن درجة حرارة المانتل الوسطية تبقى بحدود 4000 فهرنهايت.

بالنتيجة، المانتل في حالة لزوجة وحالة نصف سائلة ووزنها النوعي 4-5. يعبر التغير الواضح في سرعة انتشار الموجات بين طبقتي القشرة والمانتل عن الحد الفاصل بين القشرة والمانتل الذي يقع تحتها. وهذا الحد معروف بقاطع موهو (Mohorovicic discontinuity).



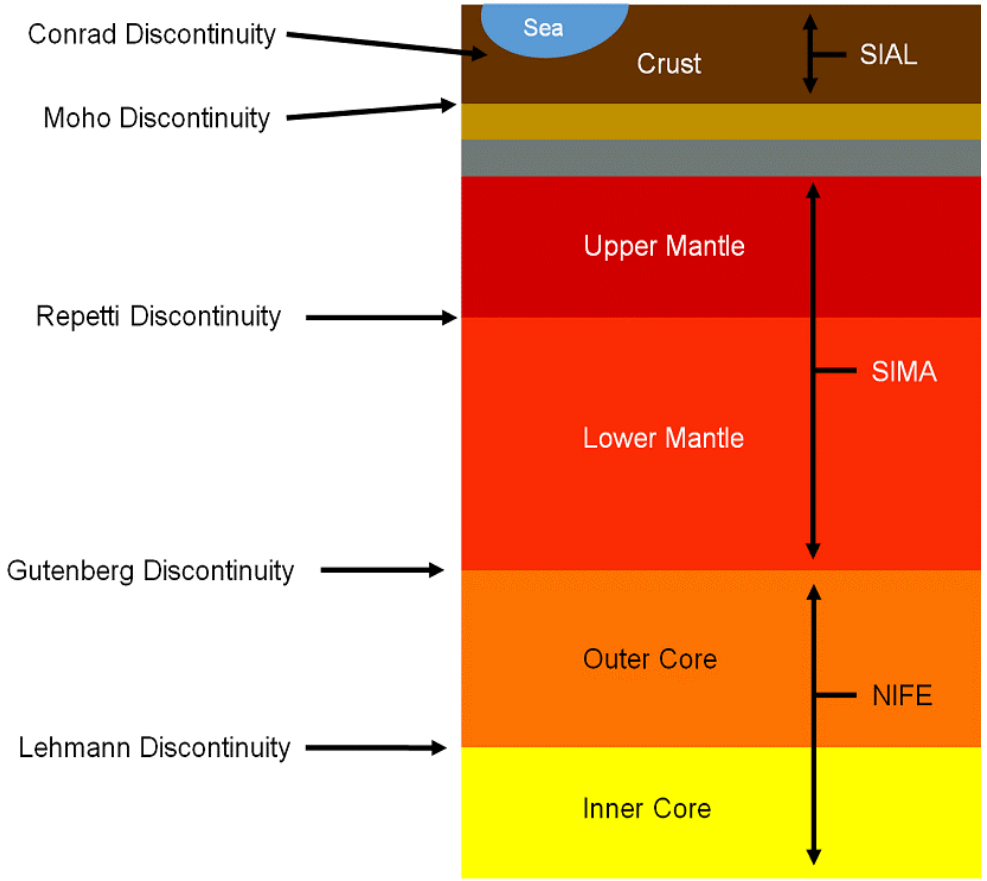
- **النواة الخارجية (The Outer Core)**

تـدعى أيضـاً بـالنواة السـائلة، سـماكتها حـوالي 2260km. يتـراوح الـوزن النـوعي للنـواة الخارجية بين 12-9 وتتكون بشكل أساسي من الحديد المنصهر.

- **النواة الداخلية (The Inner Core)**

تدعى أيضاً بالنواة الصلبة، سماكتها حوالي 1290 km، وزنها النوعي حوالي 15، تتكون من النيكل والحديد الصلب وحرارتها حوالي 5000 فهرنهايت

يفصل بين طبقات الأرض مجموعة من الفواصل الأساسية تمثل حدود تغير الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية للأغلفة والطبقات المذكورة:



- **فاصل كونراد** (Conrad): وهو فاصل يقع على عمق 30 كم تقريباً ويفصل بين طبقة السيال SiAl وطبقة السيما SiMa ضمن القشرة القارية.
- **فاصل موهو** (Moho): وهو فاصل يقع على عمق بين 30 و 50 كم ويفصل بين القشرة الأرضية وبين المانتل.
- **فاصل فيشرت كوتنبيرغ** (Gutenberg-Wiechert): وهو فاصل بين المانتل وبين النواة الخارجية السائلة.
- **فاصل ليمان** (Lehman): وهو فاصل بين النواة الداخلية الصلبة وبين النواة الخارجية السائلة

القشرة الأرضية القارية وقشرة المحيط

(Continenetal Crust vs Oceanic Crust)

نميز بالنسبة للقشرة الأرضية (Crust) بين:

القشرة الأرضية تحت القارات او اليابسة (قشرة قارية Continental Crust)

القشرة الأرضية تحت المحيطات (قشرة المحيط Oceanic Crust)

	القشرة القارية	القشرة المحيطية
السماكة	(10-80km)	(0-10 km)
التركيب	تسود الصخور الرسوبية والاندفاعية الحامضية (سيليكات حامضية) ومنها الغرانيت والنايس والميكا شيست	تسود الصخور النارية القاعدية/سيليكات قاعدية /قلوية، مثل البازلت والغابرو
الكثافة	2.7 g/cm^3	2.9 g/cm^3
الضغط	من 0 حتى 9 ضغط جوي	وتصل حتى 15 ضغط جوي

أسئلة عامة عن المحاضرة

علم يهتم بدراسة الحركات التكتونية والظواهر التي تنشأ عن القوى الداخلية للأرض؟			
الجيولوجيا البنيوية	الجيوتكنيك	الجيوتكتونيك	الجيولوجيا التاريخية
علم يهتم بدراسة الطبقات العليا من القشرة الأرضية المتأثرة بالنشاط الهندسي ويدرس طبقات التربة والصخور كطبقات تأسيس؟			
جيولوجيا هندسية	السيسمولوجيا	البتروغروافيا	الجيوفيزياء
نظرية علمية تنسب نشأة الكون إلى الانفجار العظيم لنقطة شديدة الكثافة والحرارة			
Singularity	Supernova	Big Bang	Red Giant stars
طريقة تستخدم لتحديد عمر الأرض بناء على الخواص الاشعاعية لبعض العناصر			
الجيوفيزيائية	الراديومترية	الكهرومغناطيسية	الجيوديناميكية

أقدم الحقب الجيولوجية			
ما قبل الكامبري	السينوزوي	الباليوزي	العصر الجليدي
العصر الطباشري هي تسمية مرادفة لأي عصر ممايلي؟			
الكريتاسي	الجوراسي	الترياسي	الميوسين
تُقسم كل حقبة جيولوجية إلى عصور متعددة. نعيش الآن في العصر:			
النيوجين	الرباعي	الباليوجين	البليستوسين
يُقسم كل عصر جيولوجي إلى أدوار أو فترات مختلفة. نعيش الآن في الدور:			
البليستوسين	الهولوسين	الرباعي	النيوجين