رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1-1

نشأة الكون

The Origin of the Universe

الأهداف

- **يعرف** الكون.
- **يشرح** مراحل نشأة الكون.
- **يحسب** عمر الكون.

مراجعة المفردات

التلسكوب: آلة فلكية حديثة صنعت لتقريب الأجسام البعيدة و توضيح الخافته.

المفردات الجديدة

علم الفلك

الفيزياء الفلكية

علم الكون

علوم الفضاء

نظرية الانفجار العظيم

الطاقة المظلمة

عمر الكون

الفكرة الرئيسة **تعرف طبيعة الكون ونشأته وعرض طرائق فلكية لتحديد عمر الكون.**

الربط مع الحياة طالما افتتن الناس بروعة السماء و تساءلوا دومًا عن كيفية بداية الكون و عن مآله، و نتيجة لذلك فقد ابتدع العلماء المتخصصين بدراسة الكون يساندهم علماء الفلك و الفيزياء الفلكية نماذج تسعى الى تفسير: كيف بدأ الكون و كيف يتغير بمرور الزمن؟ و ماذا سيحل به في المستقبل؟

لماذا ندرس علم الكون؟ Why do we study cosmology?

حسب الوصف العلمي الحديث للكون فإنه ذلك الفضاء الشاسع الذي يحتوي على أعداد ضخمة لا حصر لها من المجرات والسدم والكواكب بالإضافة إلى الكويكبات والمذنبات و الشهب **الشكل 1–1**. لفهم نشأة الكون يعمل على توسيع ادراكنا لما حولنا وخارج كوكبنا، فمثلًا يستفاد من فهم نشأة الكون وتطوره في فهم الظواهر الفيزيائية والكيميائية للكون. لقد اهتم البشر على مر الازمنة والعصور بالظواهر المرتبطة بالكون مثل شروق الشمس وغروبها وتعاقب الليل والنهار وتعاقب فصول السنة المناخية وخسوف القمر وكسوف الشمس ومع مراقبتهم للسماء بنجومها المختلفة اعطوا للمجموعات النجمية مسميات مختلفة ترتبط بالبيئة المحيطة بهم مثل كوكبة الثور والعقرب والجبار والحمل والدب الأكبر والأصغر واستنتجو العلاقة بين ظهور هذه المجموعات النجمية والفصول المناخية وما يرتبط بها من مواسم زراعية ومعظم العبادات في الإسلام مرتبطة بظواهر فلكية كأوقات الصلاة التي ترتبط بحركة الشمس الظاهرية فصلاة الفجر يبدأ وقتها من ظهور الشفق الأبيض ناحية الشرق إلى شروق الشمس وصلاة الظهر يبدأ وقتها حين تزول الشمس أي تبدأ في الانخفاض بعد أن وصلت أقصى ارتفاع لها في السماء وكما أن عبادتي الصيام والحج مرتبطتان بحركة القمر حول الأرض. والسفر في البحار بين البلدان يتطلب معرفة الاتجاهات والتي تتم بالاهتداء بالنجوم قال تعالى: ﴿ وَهُوَ ٱلَّذِى جَعَلَ لَكُمُ ٱلنُّجُومَ لِتَهۡتَدُواْ بِهَا فِى ظُلُمَٰتِ ٱلۡبَرِّ وَٱلۡبَحۡرِۗ قَدۡ فَصَّلۡنَا ٱلۡأٓيَٰتِ لِقَوۡمٍ يَعۡلَمُونَ ﴾ سورة الأنعام الآية:97.

الشكل 1–1 كل شيء في الكون المنظور مكون من مادة، ومن ذلك المجرات والنجوم والكواكب والمذنبات والشهب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

وقبل أن نبدأ في دراسة تمدد الكون وكيفية تقدير عمر الكون سوف نوضح الاختلافات الرئيسية بين **علم الفلك Astronomy**، علم **الفيزياء الفلكية Astrophysics**، **علم الكون Cosmology** و**علوم الفضاء Space science** في جدول 1–1.

مهن في علم الفضاء

يركز الفلكي في مجال مهنته على رصد الأجرام السماوية كتحري اهلة الشهور القمرية أو كفني تحليل البيانات في وكالات الفضاء . ويمكن للفلكي أن يمارس مهنته في القبب الفلكية لتثقيف الناس بمجال الفلك والفضاء عبر تقديمه عروضًا محاكيه للسماء.

الجدول 1–1 مقارنة بين العلوم المهتمة بدراسة الكون

الفرع	مجال الدراسة	أمثلة
علم الفلك **Astronomy**	العلم المعني بدراسة الأجرام السماوية.	المجرات، النجوم، الشمس، الكواكب، أقمار الكواكب، أشباه الكواكب، الكويكبات، المذنبات، الشهب.
الفيزياء الفلكية **Astrophysics**	مجال فرعي لعلم الفلك. يستخدم قوانين الفيزياء لوصف التغير في طبيعة الأجرام السماوية وأنشطتها المختلفة في جميع أطوال الطيف الكهرومغناطيسي.	النشاط الشمسي، تغيرات مظاهر سطوح وأغلفة الكواكب، مادة ما بين الكواكب، مادة مابين النجوم، تغير لمعان النجوم، نشاط المجرات، النجوم النيترونية، الثقب السوداء.
علم الكون **Cosmology**	دراسة نشأة الكون وتطوره.	نشأة الكون وتطوره حتى صار كما نراه اليوم.
علوم الفضاء **Space science**	يعنى باستكشاف الفضاء والمهمات الفضائية.	إطلاق الصواريخ وإنزال الحمولات منها في مدارات محددة أو باتجاه جرم سماوي كالمسابير.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

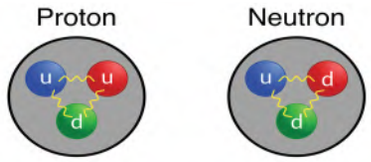
الكون: علم أساسي
Cosmology: The Central science

تم تفسير نشأة الكون عبر عدة مراحل تاريخية ظهرت خلالها العديد من النظريات الكونية التي بين أصحابها آلية نشأة الكون وتمدده وكان من أبرزها نظرية الانفجار العظيم التي حازت على قبول معظم علماء الفلك. وكان من أبرز أسباب قبولها بين أوساط العلماء هو نجاحها أيضًا في تفسير بعض من أرصاد العلماء مثل: وفرة الهيدروجين والهيليوم وإشعاع الخلفية الكوني.

نظرية الانفجار العظيم The Big Bang Theory

تعد **نظرية الانفجار العظيم Big Bang Theory** الأكثر قبولًا بين علماء الفلك من بين عدة نظريات حيث نصت نظرية الانفجار العظيم على أنه في لحظة معينة منذ ما يقرب من أربعة عشر مليار سنة كانت المادة والطاقة الموجودة مركزة في منطقة حجمها متناهٍ في الصغر وجميع قوى الطبيعة متحدة وهي القوة النووية والقوة الكهرومغناطيسة وقوة الجاذبية. ثم بدأ الكون في التمدد وتناقص درجة الحرارة بمعدل سريع جدًا.

ومع مرور الزمن، انخفضت درجة الحرارة إلى 1500 ترليون K، واكتسبت القوة الطبيعية خصائصها الحالية. كما أن الجسيمات الأولية (**وتعرف باسم الكواركات والليبتونات**) وهي وحدات البناء الأساسية للمادة، تتحرك في درجات حرية مختلفة في مستويات الطاقة. وعندما تمدد الكون و أصبح بحجم المجموعة الشمسية، امتلأ الكون بكل المادة التي يمكن قياسها. وفي هذه المرحلة اندمجت الكواركات وكونت نيوترونات وبروتونات كما هو موضح في **الشكل 2–1**.



الشكل 2–1 يوضح تشكل النيوترونات والبروتونات من الكواركات.

البروتون جسيم أولي شحنته موجبة، ويتكون من كواركيين علويين up (الأحمر والأزرق)، وكوارك سفلي down (الأخضر)، النيوترون جسيم أولي متعادل الشحنة، ويتكون من كواركيين سفليين down (الأخضر والأحمر)، وكوارك علوي up (الأزرق).

الربط مع الفيزياء

إن نقطة الصفر في مقياس كلفن تعرف بأنها الصفر المطلق. ووفقًا لمقياس كلفن فإن نقطة تجمد الماء (0°C) هي 273K تقريبًا، ونقطة غليان الماء هي 373K تقريبًا. وتسمى الدرجة الواحدة على هذا المقياس كلفن، وتساوي 1°C، لذا يكون $T_K = 273 + T_C$.

إرشادات للدراسة

إشعاع الخلفية الكونية CMB

هو الإشعاع الحراري الذي خلفه الانفجار العظيم، ويعتبره العلماء بمثابة صدى لنظرية الانفجار العظيم، ومع مرور الوقت برد هذا الضوء البدائي وضعف إلى حد كبير، ونكتشفه في الوقت الحاضر في مدى الموجات الميكروية (Microwaves).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المراحل الأولى من حياة الكون

The first stages of the universe's life

يمكن تقسيم المراحل الأولى، بعد الانفجار العظيم، من حياة الكون إلى فترات زمنية كما يلي:

المرحلة الأولى

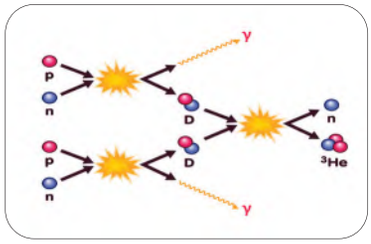
خلال 10^{-43} ثانية كانت درجة الحرارة تزيد عن 10^{32} K، وكانت جميع القوى الطبيعية متحدة وهي القوة النووية والقوة النووية الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية وقوة الجاذبية.

المرحلة الثانية

خلال 10^{-35} ثانية انخفضت الحرارة إلى 10^{27} K وبدأت عملية التمدد السريع في حجم الكون في هذه الفترة والتي تعرف بمرحلة التضخم (inflation)؛ حيث انفصلت القوى الطبيعية عن بعضها وأصبح لكل قوة خصائصها المميزة لها.

المرحلة الثالثة

انخفضت الحرارة إلى $15x10^{14}$ K، وكانت المادة الأولية عبارة عن كواركات تتحرك في مجال من الطاقة، ثم انفصلت القوى النووية والنووية الضعيفة والكهرومغناطيسية والجاذبية وأصبحت القوى الأربع منفصلة.



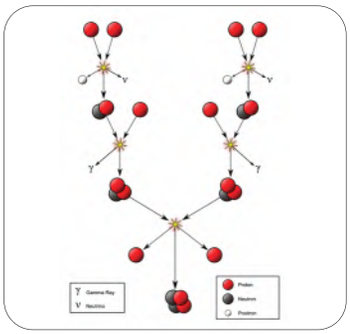
الشكل 3–1 اتحاد النيوترونات والبروتونات لتكوين ذرة الهيليوم.

المرحلة الرابعة

عندما تمدد الكون إلى ألف مرة عن حجمه الأول فإن حجمه الجديد أصبح في حجم المجموعة الشمسية، وعندها بدأت الكواركات تندمج لتكون النيوترونات والبروتونات كما هو موضح في **الشكل 2–1**.

المرحلة الخامسة

تمدد الكون إلى ألف مرة أكبر من حجم المجموعة الشمسية، ومن ثم اندمجت النيوترونات والبروتونات لتكون نويات ذرات الهيليوم والديوتيريوم (وأحيانًا يسمى «الهيدروجين الثقيل»، وهو الذرة التي تحتوي نواتها على بروتون واحد ونيوترون واحد، وتسمى نواة الديوتريوم) كما هو موضح في **الشكل 3–1**. كل هذا حدث خلال الدقيقة الأولى من عمر الكون من تمدد واتساع وانخفاض في درجة الحرارة وفي الكثافة. ومع ذلك ، كانت الظروف لا تزال شديدة الحرارة بحيث لا تستطيع النوى الذرية التقاط الإلكترونات لتكون باقي العناصر الكيميائية.



الشكل 4–1 يوضح التفاعلات النووية الاندماجية لتكوين العناصر والتي تعرف بسلسلة برتون–برتون

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المرحلة السادسة

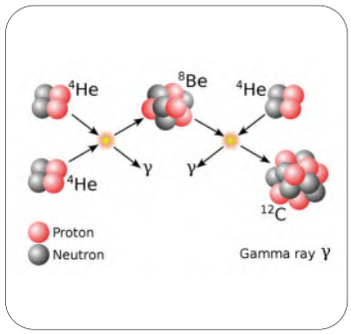
بعد 300 ألف سنة من نشأة الكون ينكمش ألف مرة من حجمه الحالي، ومع انخفاض درجة حرارة الكون أصبحت الظروف مهيأة لتكون الذرات **الشكل 4–1**، ومن ثم تجمعت الذرات مكونة سحب من الغاز والتي تطورت بعد ذلك لتكون النجوم.

المرحلة السابعة

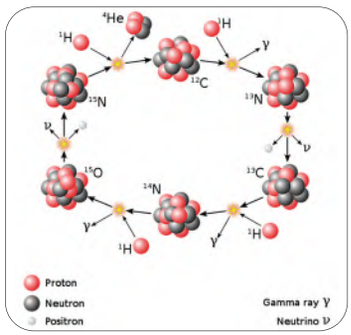
حينما وصل حجم الكون لخُمس حجمه الحالي تكونت النجوم وتجمعت في حشود نجمية كروية وتجمعت الحشود النجمية مكونة فيما يمكن أن يسمى مجرات حديثة الولادة.

المرحلة الثامنة

عندما أصبح الكون يبلغ نصف حجمه الحالي، أنتجت التفاعلات النووية الاندماجية في النجوم معظم العناصر الثقيلة التي تتكون منها الكواكب الأرضية كما في **الجدول 2–1** و**الأشكال 4–1، 5–1، 6–1**. وقبل خمسة مليار سنة تشكل نظامنا الشمسي، عندما كان حجم الكون ثلثي حجمه الحالي. وبمرور الوقت، استهلك تكوين النجوم إمدادات الغاز في المجرات، وبالتالي تضاءل عدد النجوم من الجيل الأول. ويتوقع أنه بعد خمسة عشر مليار سنة من الآن، ستكون النجوم مثل شمسنا الحالية.



الشكل 5–1 يوضح التفاعلات النووية الاندماجية لتكوين العناصر والتي تعرف بعملية ثلاثية ألفا.



الشكل 6–1 يوضح التفاعلات النووية الاندماجية لتكوين العناصر والتي تعرف بدورة كربون نيتروجين أوكسجين.

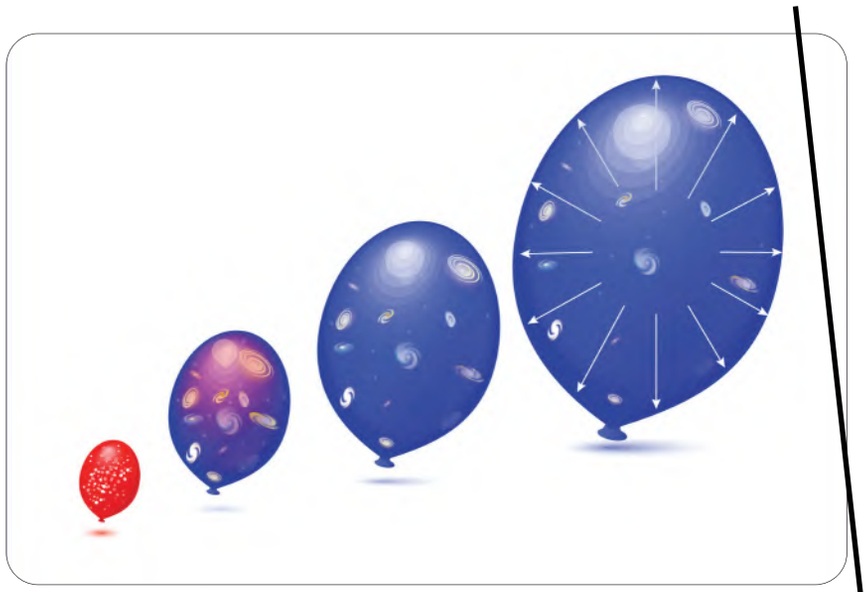
الجدول 2–1 يوضح التفاعلات النووية الاندماجية وتكون العناصر ودرجات الحرارة التي يتم عندها الاندماج النووي.

نوع الاندماج	التفاعل الاندماجي	درجة الحرارة (كلفن)
سلسلة برتون – برتون (4–1)	$H \rightarrow {}^{4}He$	$10x10^{6}$
عملية ثلاثية ألفا (5–1)	${}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C$	$100x10^{6}$
عملية ثلاثية ألفا (5–1)	${}^{12}_{6}C \rightarrow {}^{16}_{8}O$	$600x10^{6}$
دورة كربون نيتروجين أوكسجين (6–1)	${}^{16}_{8}O \rightarrow {}^{20}_{10}Ne$ ${}^{16}_{8}O \rightarrow {}^{32}_{16}Si$	$1500x10^{6}$

تمدد الكون Expansion of the Universe

أنجز عالم الفلك إدوين هابل في عشرينيات القرن الماضي اكتشافًا ثوريًا يتعلق بالكون، وذلك باستخدام تلسكوب مرصد جبل ويلسون في لوس أنجلوس، حيث أثبت هابل أن الكون ليس ثابتًا وإنما يتمدد **الشكل 7–1**. بعد ذلك بعقودٍ، وفي عام 1998 رصد التلسكوب هابل الفضائي -ذو النتائج الغزيرة- مستعراتٍ عظمى بعيدةً supernova، ووجد أن الكون منذ زمنٍ طويلٍ كان يتمدد بشكلٍ أبطأ مما يفعل الآن، وهذا الاكتشاف كان مفاجِئًا فالمعتقد ولوقتٍ طويلٍ بأن جاذبية مادة الكون ستُبطِئ من تمدده أو حتى تسبب تقلصه. ومن أسباب تمدد الكون **الطاقة المظلمة Dark Energy** وهي قوة خفيه مجهولة المنشأ تشكل 65% من محتوى الكون. وهذه الطاقة هي واحدة من أكثر مواضيع النقاش جدلًا في علم الكون، قال تعالى: ﴿وَٱلسَّمَآءَ بَنَيۡنَٰهَا بِأَيۡيْدٖ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ﴾ سورة الذاريات الآية:47.

ماذا قرأت؟ **فسر** علاقة الطاقة المظلمة بتمدد الكون؟



الشكل 7–1 يوضح تصور تمدد الكون.

الطاقة المظلمة هي شكل غامض من الطاقة يُعتقد أنه يشكل حوالي 65% من محتوى الكون. تُعزى إليها الخاصية المسؤولة عن تسريع تمدد الكون. على الرغم من أن طبيعتها لا تزال غير مفهومة بشكل كامل، يُعتقد أنها تعمل عكس الجاذبية، دافعةً المجرات للابتعاد عن بعضها بمعدل متزايد بدلاً من جذبها نحو بعضها.

تجربة مسبار الجاذبية : (ناسا)

KACST
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

تمكنت وكالة الفضاء الامريكية ناسا من اثبات النظرية النسبية العامة للعالم ألبرت أينشتاين من خلال إجراء تجربة علمية (مسبار الجاذبية) في 20 إبريل 2004 بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. استمرت تجربة مسبار الجاذبية مدةً تبلغ نحو خمسة عقود، بدءاً من طرح فكرتها الأولى، وانتهاءً بعمليات التحليل لبياناتها العلمية وقد تطلب المشروع تطوير تقنيات متقدمة جداً. تعد النسبية العامة أفضل نظرية لدى العلم لتفسير آلية عمل قوة الجاذبية. لقد اعتقد الباحثون قبل عام 1916 أن المادة تتحرك بصورة غير مؤثرة عبر خلفيتي الزمان والمكان. ثم افترض آينشتاين أن الزمان والمكان يشكلان نسيجاً واحداً زمكان space-time بدلاً من الصورة السابقة. وقد جاءت النتائج مقاربة جداً للنتائج المتوقعة نظرياً لمبدأي النظرية النسبية. وقد أسهمت المدينة عبر التعاون التقني مع جامعة ستانفورد في تحليل البيانات الناتجة عن التجربة حيث تم إرسال عدد من المختصين في المدينة للعمل جنبا إلى جنب مع الباحثين في ستانفورد.

قانون هابل في تمدد الكون
Hubble's Law in Expantions of Universe

وينص هذا القانون الذي توصل إليه عالم الفلك الشهير هابل على أن السرعة التي تتباعد بها المجرات عن الأرض تتناسب طرديًا مع المسافة بين الأرض والمجرات؛ أي أن المجرات في كل الاتجاهات في الكون تتباعد بسرعات عالية، وكلما كانت المجرات أبعد فإنها تتباعد بسرعات أكبر. ومن ملاحظات هابل أن نسبة السرعة إلى المسافة ثابتة، وفي هذا الحساب نفترض أن الكون تمدد منذ الانفجار العظيم مع تحرك جميع المكونات بسرعات ثابتة بالنسبة لبعضها بعضًا.

الربط مع الفيزياء

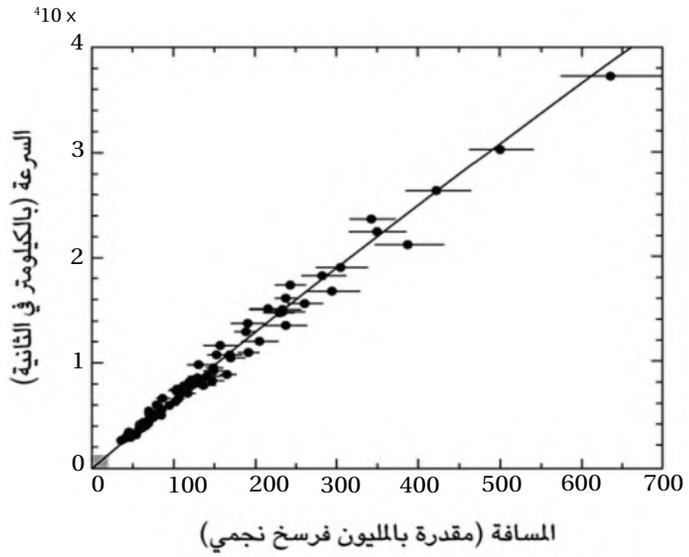
توصل هابل إلى إثبات توسع الكون و حساب عمر الكون عن طريق تأثير دوبلر وهو تغير ظاهري للطول الموجي عندما ترصد من قبل راصد متحرك بالنسبة لمصدر الموجات .

حساب ثابت هابل
Hubble's constant calculation

من خلال **الشكل 8–1** الذي يوضح علاقة المسافة بين المجرات والأرض وسرعة التباعد إذ إن النسبة بين السرعة والمسافة تعطي مقدارًا ثابتًا وهو ما يسمى بثابت هابل H_o.

$$H_o = \frac{v}{d}$$

حيث (H_o) هو ثابت هابل، و(d) هي المسافة بين الأرض والمجرة، و (v) هي سرعة تباعد المجرة عن الأرض.



الشكل 8–1 ثمة علاقة خطية بين معدل التمدد الكوني (المقدر هنا بالكيلومتر في الثانية) والمسافة (المقدرة بالمليون فرسخ نجمي، حيث يعادل الفرسخ النجمي3.26 سنة ضوئية).

عمر الكون Age of the Universe

إذا كان تمدد الكون يسير بمعدل ثابت، فسيكون من اليسير للغاية الربط بين ثابت هابل وبين عمر الكون؛ فجميع المجرات يبتعد بعضُها عن بعض في وقتنا الحالي، لكن لا بد أنها كانت في البداية في الموضع ذاته. وكل ما نحتاج إليه هو حساب ذلك الوقت الذي كانت فيه المجرات في الموضع ذاته؛ ومن ثم يكون **عمر الكون Age of the Universe** هو الزمن المنقضي منذ وقوع ذلك الحدث. إن عمر الكون ما هو إلا معكوس ثابت هابل – عملية حسابية بسيطة–. وفي ضوء التقديرات الحالية لثابت هابل، فإن عمر الكون يبلغ نحو13.8 مليار عام.

ميل خط الرسم البياني في **الشكل 8–1**. هو $\frac{V}{D}$ وهو ثابت هابل.

$$H_o = \frac{v}{d} \quad .1$$

والمسافة مقسومة على السرعة تساوي الزمن أي:

$$t = \frac{d}{v} \quad .2$$

من معادلة (1)

$$v = dH_o \quad .3$$

وباستبدال معادلة 3 في معادلة 2 نحصل على:

$$t = \frac{1}{H_o} \quad .4$$

بأخذ ثابت هابل ليكون 71 كيلومترًا في الثانية لكل ميجا فرسخ حيث يمثل 1 فرسخ فلكي (الفرسخ الفلكي يساوي 3.26 سنة ضوئية).

لذلك: الكيلومتر = 1000 متر والميجا فرسخ = 3.09×10^{22} متر

$$H_o = \frac{71000\ m/s}{3.09\times10^{22}\ m} = 2.29\times10^{-18}\ s^{-1}$$

وبالتعويض عن قيمة ثابت هابل في معادلة 4

$$t = \frac{1}{2.29\times10^{-18}\ s^{-1}} \quad .5$$

$$t = 4.36\times10^{17}\ s$$

وبتحويل الثواني إلى سنوات نحصل على:

$$t = \frac{4.36\times10^{17}}{60\times60\times24\times365}$$

$$t = 13.8\times10^{9}\ y$$

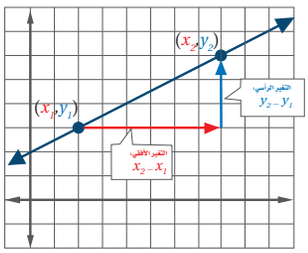
أي أن عمر الكون يصل إلى 13.8 مليار سنة.

الربط مع الرياضيات

في المستوى الإحداثي، ميل المستقيم هو نسبة التغير في الإحداثي x بين أي نقطتين عليه.

ويعطي الميل m لمستقيم يحوي نقطتين إحداثياهما (x_1, y_1) و (x_2, y_2) بالصيغة:

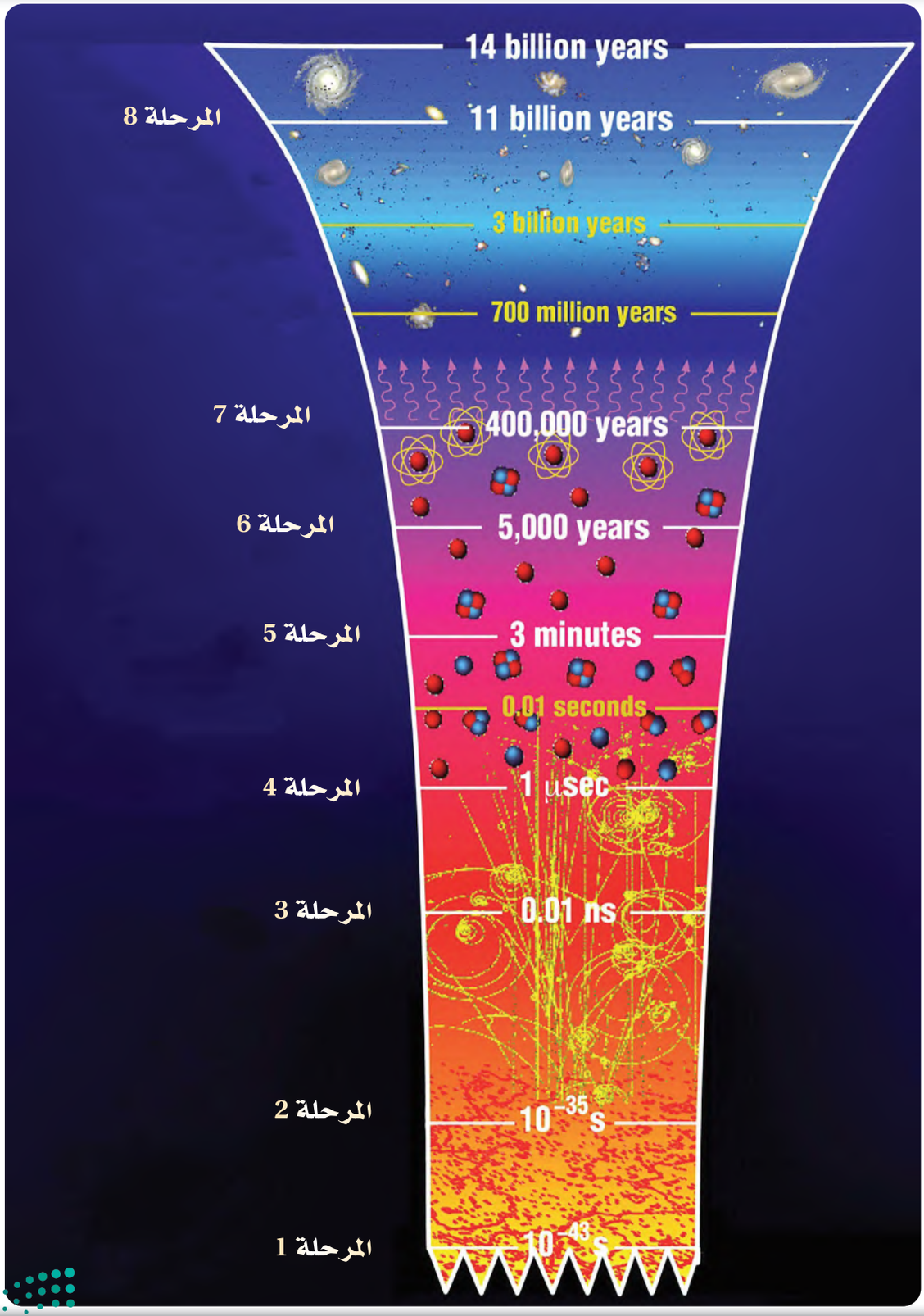
$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$



مجسات النجوم المتفجرة

آدم ريس هو عالم أمريكي في علم الفلك في جامعة جونز هوبكنز ومعهد علوم تلسكوب الفضاء وهو معروف بأبحاثه في مجال استخدام مجسات النجوم المتفجرة. حصل على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2011 مناصفة مع سول بيرلموتر وبريان شميدت، كما حصل في العام ذاته – مع سول بيرلموتر على قلادة ألبرت أينشتاين–.

مخطط يوضح مراحل تطور الكون



الربط مع التقويم:

يعجُّ الفضاء بمليارات الأجرام السماوية، منها أجسام صخرية صغيرة تدور حول الشمس يطلق عليها "كويكبات"، وقد اعتمدت الأمم المتحدة يوم 30 يونيو ليكون اليوم العالمي للكويكبات، إذ يَعتقد العلماء أن الكويكبات تشكّلت منذ نشأة الكون وتطورت من بقايا تكوين نظامنا الشمسي قبل حوالي 4.6 مليار سنة؛ حيث منعت ولادة كوكب المشتري أي كواكب من التكون في الفجوة بينه وبين المريخ، مما تسبب في اصطدام الأجسام الصغيرة التي كانت هناك مع بعضها البعض وتفتتها لتشكل الكويكبات التي نعرفها اليوم.

التقويم 1-1

الخلاصة

- الكون في حالة توسع وتمدد دائم وتم رصد تمدد الكون من قبل العالم هابل
- نصت نظرية الانفجار العظيم على أنه في لحظة معينة منذ ما يقرب من اربعة عشر مليار سنة كانت المادة والطاقة الموجودة مركزة في منطقة حجمها متناهي في الصغر

فهم الأفكار الرئيسة

1. هل يمكن اعتبار التجمع النجمي عبارة عن مجرة وليدة؟ ولماذا؟
2. ما مدى أهمية الفيزياء الفلكية في دراسة نشأة الكون و تطوره؟

التفكير الناقد

3. لماذا حازت نظرية الانفجار العظيم على قبول معظم العلماء عن غيرها من النظريات التي تتناول نشأة الكون؟

الرياضيات في الفلك

4. تبعد مجرة الدوامة 23 Mly عن كوكب الارض. باستعمال القيمة 20.8 km /s /Mly لثابت هابل. أوجد سرعة تباعد هذه المجرة؟

جواب 1:

لا، لأن النجم عبارة عن جرم غازي متألق تتولد الطاقة في باطنه بواسطة تفاعلات الاندماج النووي، و تمر النجوم بدورة حياة تمتد إلى مليارات السنين ؛ فهي تولد وتتطور وتموت. أما المجرات فهي عبارة عن مجموعات هائلة من النجوم والغاز والغبار المرتبطة ببعضها بفعل الجاذبية وهي مصدر كل النجوم؛ لأن النجوم لا تولد خارج المجرات.

جواب 2:

تستخدم قوانين الفيزياء الفلكية لوصف التغير في طبيعة الأجرام السماوية وأنشطتها المختلفة في جميع أطوال الطيف الهرومغناطيسي.

جواب 3:

أسباب قبولها بين أوساط العلماء هو نجاحها في تفسير بعض من أرصاد العلماء مثل: وفرة الهيدروجين والهيليوم وإشعاع الخلفية الكوني.

جواب 4:

$$V = d \times H_0$$
$$= 23 \times 20.8 = 478.4 \text{ km/s}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445