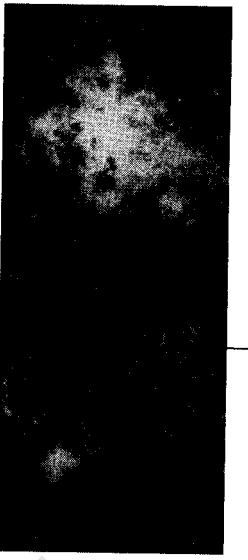
7

الكـون



في البدء خلق الله السماوات والأرض، وكانت الأرض خربة خاوية، وعلى وجه الغَمْرِ ظلمة، وروحُ الله ترف على صفحة الماء. وقال الله: «ليكن النور»، فكان نور. ورأى الله النور أنه حسن.

سفر التكوين Genesis 1:1-14

الأهداف:

- تعريف علم الكون.
- بيان حدود علم الكون وافتراضاته الأساسية.
- إقامة الدليل على أن الكون يتوسع باستمرار.
- عرض قانون هَبلْ.
- بيان أهمية ثابت هَبلْ.
- وصف ماضي الكون وحاضرِه استناداً إلى نظرية الانفجار العظيم.
- استشراف مستقبل الكون في ضوء نماذج الكون المفتوح، والمنبسط، والمغلَق.

obeikandl.com

- إيراد أرصاد مهمة تعضد نظريةَ الانفجار العظيم.
- عرض وسائل للاختيار من نماذج الكون المفتوح، والمنبسط، والمغلَق.
- تقديم مشكلة في نموذج الانفجار العظيم وحلُّها بنموذج الكون المتوسِّع توسُّعاً انفجارياً.
- عرض طرائق فلكية لتقدير عُمر الكون وحدوده.

1.7 تساؤلات لا تنتهي

يتساءل الناسُ دوماً عن كيفية بداية الكون وعن مآله، ولقد ابتَدَعَتْ أساطيرُ الأقدمين وفلسفتُهم ولاهوتُهم نماذجَ تُصوِّر نشأتَه ونهايتَه. وعلم الكون أو الكوزمولوجيا cosmology مبحثٌ يدرس أصلَ الكون وبِنيتَه الحاليَّة وتطوُّرَه ونواميسه، ويستشرف مصيرَه.

يبتدع علماءُ الفلك نماذجَ كونيّة cosmological models، وهي توصيفاتٌ رياضيةٌ تسعى إلى تفسير: كيف بدأ الكونُ؟ وكيف يتغيَّر بمرور الزمن؟ وماذا سيحلُّ به في المستقبل؟ ويتعيَّن أن تكون النماذجُ منسجمةً مع المعطيات الرصدية التي بحوزتنا عن النجوم والمجرّات.

وفي غضون السنوات الخمسين الماضية جرى اختبار نوعَيْن أساسيَّين من النماذج الكونية هما: النموذج التطوُّري evolutionary ونموذج الحالة المستقرّة steady state. وجاءتِ النتائجُ لتجسِّد النموذجَ التطوُّري.

تختلف النماذجُ الكونيةُ عن التفسيرات الدينية للكون اختلافاً جوهرياً. فهل لك أن تذكر ذلك الاختلاف؟ .....

.....

الجواب: إن النماذجَ الكونيةَ لا تسعى إلى إضفاء سبب أو معنىً خارقٍ

للطبيعة على الظواهر الفيزيائية، بل تحاول تفسير هذه الظواهر بمقتضى قوانين الطبيعة والرياضيات حصراً.

2.7 الكون المتوسِّع

إن الظاهرة الأساسية التي لا بدَّ أن يلحظها أيُّ نموذجٍ كوني هي انزياحُ الضوء الوارد من المجرّات النائية في الطول الموجيّ نحو النهاية الحمراء (أمواج طويلة) للطَّيْف. تسمى هذه الظاهرة الانزياح الأحمر الكوني cosmological redshift.

ترى النظريةُ الحديثة أن هذا الانزياحَ الأحمر ناشئ عن تمدُّد المكان ـ الزمان space-time[1]، بصورةٍ تجعل المجرّاتِ الأخرى تبتعد عنّا. فإن معظمَ المجرّاتِ النائية التي نرصدها تتميَّز بأكبر انزياحاتٍ حمراء، وهي أسرع المجرّات انطلاقاً في فضاء الكون (الشكل 1.7).

عندما ننظر في أعماق الفضاء نرى المجرّات تنحسر مبتعدةً عنّا. فماذا يدلُّ هذا المشهد؟ .....

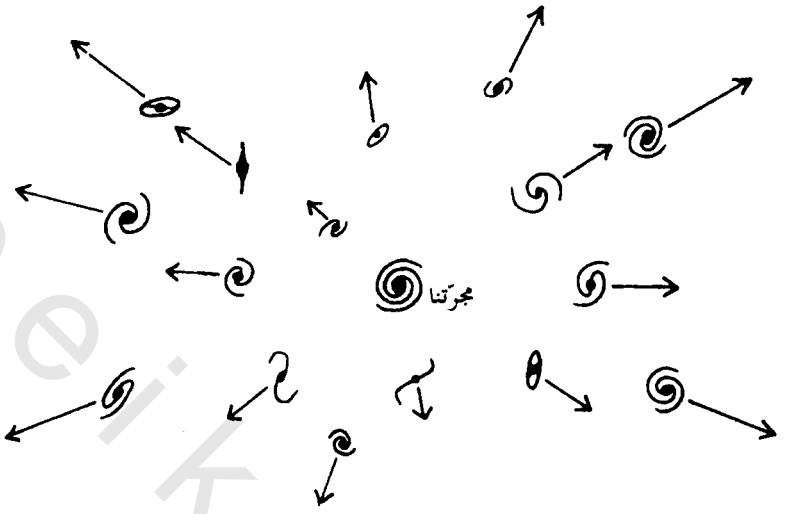
.....

الجواب: يدلّ على أن الكون في حالة توسُّع حتماً.

3.7 الانزياحات الحمراء

أمْعِن النظر في الشكل 2.7، الذي يعرض الانزياحات الحمراء والسرعات المقابلة لها في خمس مجرّاتٍ متفاوتةِ البُعد عنّا.

(1) نظام المكان ـ الزمان الرباعي الأبعاد، يُستعمَل لتمثيل الكون في نظريةِ النسبية، وفيه ثلاثة أبعادٍ تُناظِر الفضاء العادي، أما البُعد الرابع فيناظر الزمن. يسمى أيضاً: متَّصِل المكان ـ الزمان space-time continuum. (المعرِّب)



الشكل 1.7 ترامي (انحسار) المجرّات، كما يبدو من مجرّتنا درب التبّانة (السّهام تدل على السرعات).

يلاحَظ أنَّ الخطوطَ الطيفيةَ المخبريةَ للأطوال الموجيَّة المعروفة، أُظْهِرتْ فوق وتحت خطوطِ طيفِ كلِّ مجرَّةٍ للرجوع إليها، وأنَّ زوجاً من أقتم خطوط الامتصاص، H و K للكالسيوم المتأيِّن، قد وُسِما في أعلى الطيف المرجعيّ إلى اليسار في مواضعهما غير المُنْزاحة. يَنْزاح هذان الخطَّان نحو الأحمر (إلى اليمين من الصُّوَر) بمقادير متزايدة في حالة المجرّات البعيدة.

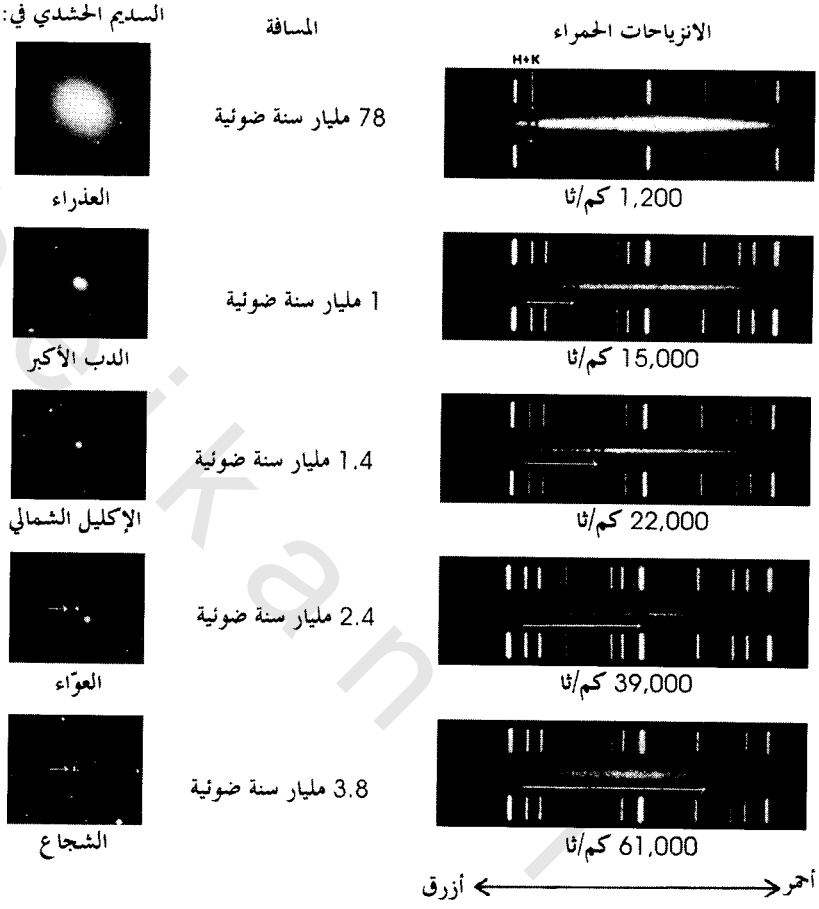
بالاستعانة بالشكل 3.7(أ) ارسم خطّاً بيانياً تقريبياً تمثِّل كلُّ نقطةٍ فيه سرعةَ تراجُع إحدى هذه المجرّات وبُعدها. ماذا تلاحظ عندما ترسم خطّاً منحنياً سلساً يصل بين النقاط الخمس؟ وضِّحْ ذلك .....

.....

.....

الجواب: تقع النقاطُ الخمسُ كلُّها على استقامة واحدة (الشكل 3.7(ب)).

obeikandl.com

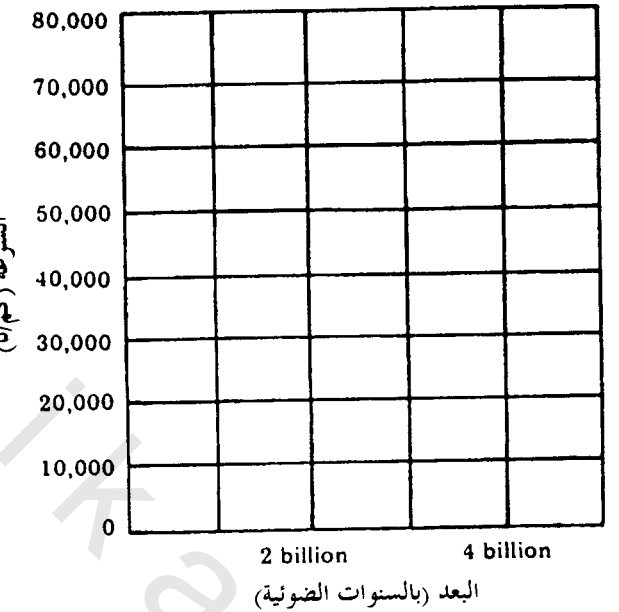


الشكل 2.7 الانزياحات الحمراء والسرعات المقابلة لها في خمس مجرّات. المسافات محسوبة في حالة ثابت هَبلْ المساوي 15 كم/ ثا/ مليون سنة ضوئية.

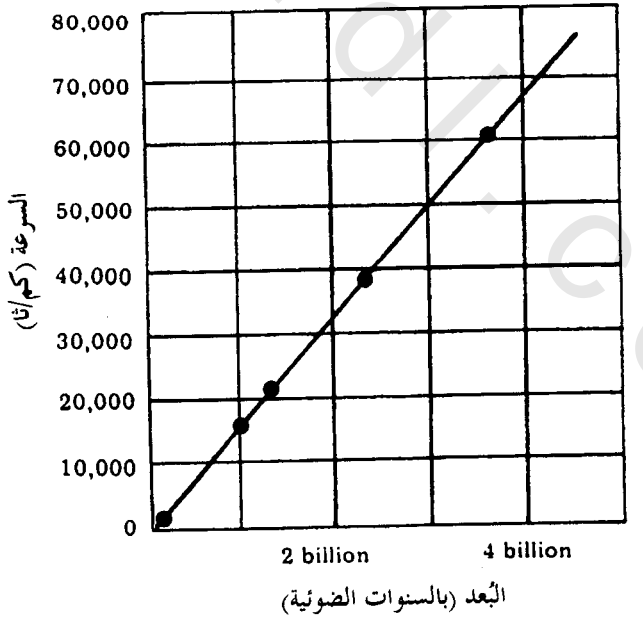
وهذا يعني وجود علاقة خطّيَّة بين سرعة تَراجُع هذه المجرّات وبُعدها عنّا.

4.7 علاقة السرعة بالمسافة

قضى عالِم الفلك الأمريكيُّ إدوين هَبلْ جُلَّ سِنِيِّ حياته باحثاً في المجرّات، فراح يدرس العلاقةَ بين بُعدها وسرعة انحسارها. واكتشفَ أن العلاقةَ الخطيّة التي وجدتَها توّاً علاقةٌ صحيحةٌ على وجه العموم: وهي تزايُد



الشكل 3.7 (أ) شبكة متسامتة لمخطَّط السرعة مقابل البُعد.



الشكل 3.7 (ب) مخطَّط هَبلْ لخمس مجرّات.

سرعة انسحاب المجرّات مع تزايد بُعدها. [وهذا ما يسمى علاقة السرعة بالمسافة velocity-distance relation].

ينصُّ قانون هَبلْ Hubble law (1929) على أن سرعة الانحسار (v) لمجرّة يتناسب طرداً مع بُعدها (d) عنّا، ونكتب:

$v = Hd$ حيث (H) هو ما يسمّى ثابت هَبلْ Hubble constant.

وتتجلى أهمية ثابت هَبلْ في أنه يعطي معدَّل انحسار المجرّات، أي معدَّل توسُّع الكون. ويُستعمل في قانون هَبلْ أيضاً لحساب المسافات إلى المجرّات من انزياحاتها الحمراء المقيسة.

وليس من السهل تحديد ثابت هَبلْ بدقة، ذلك بسبب وجود ارتيابات في سلَّم المسافات المجرّية. وكثيراً ما تُعَدَّل قيمتُه المعلَنَة، وهي تقع على وجه التقريب بين 50 و 100 كم/ثا/ميغا فرسخ فلكي (15 و 30 كم/ثا/مليون سنة ضوئية).

علمتَ فيما تقدَّم أن لبعض الكوازَرات أكبرَ انزياحاتٍ حمراءَ رُصدت حتى اليوم (الفقرة 20.6). فإذا كانت هذه الظاهرةُ مفعولاً دوبلرياً، وهذه الكوازرات تبتعد عنّا بسرعة أكبر من كل المجرّات المعروفة، فماذا تقول في بُعدها؟ وضِّح إجابتك .....

.....

.....

الجواب: هذه الكوازرات هي أبعدُ الأجرام التي تستطيع رصدها؛ فقانون هَبلْ ينصّ على أن أبعد الأجرام هي أسرعها ابتعاداً عنّا.

5.7 المقدمة المنطقية

إن الافتراضَ الأساسيَّ الذي نكوِّنه في إطار مسعانا لإدراك كُنْه الكون يسمّى المبدأ الكوني cosmological principle.

ينصّ المبدأُ الكوني على أن الكونَ متجانسٌ homogeneous ومُتَناح[1] isotropic على نطاق كبير؛ أي إن توزُّعَ المادة واحدٌ في كلِّ مكان من فضاء الكون وفي كل زمان، وإن الكون يبدو موحَّد الخواصّ في جميع الاتجاهات.

وليس للفضاء الذي يلينا مباشرةً ميزةٌ خاصة؛ فقوانين الفيزياء عامةٌ شاملة، أي إن راصداً في أي مكان من الكون قد يرى في وقت معين ما نراه نحن إلى حدٍّ بعيد.

من هنا تبرز أهميةُ المبدأ الكوني في أنه يتيح لنا افتراض أن هذا الجزء الصغير الذي نستطيع رصده من الفضاء يمثِّل حقاً سائرَ الكون الذي لا نستطيع رصده. وهو يسمح لنا كذلك بصوغ نظريةٍ تفسِّر الكون كلَّه، حتى تلك الأجزاء التي لا نتمكن من رصدها.

تُبيِّن أرصادُنا أن المجرّاتِ النائيةَ تجري مبتعدةً عنّا. فهل يعني ذلك أن مجرَّتنا درب التبّانة هي مركزُ الكونِ كلِّه؟ فسِّر ذلك .....

.....

.....

الجواب: لا. فالمبدأ الكونيُّ يقضي بأنك لو نظرتَ في الفضاء الكوني من أيِّ مجرَّةٍ أخرى لرأيتَ عدداً مقارباً من المجرَّات الواقعة في كل اتجاهات الفضاء، وهي تجري مبتعدةً عنك.

يمكنك القيام بتجربة بسيطة لتمثيل المبدأ الكوني (الشكل 4.7). خذ بالوناً، واجعل سطحه الخارجي يمثِّل فضاء ثلاثيَّ الأبعاد. أثبتْ عليه نقاطاً كيفما اتفق تمثِّل المجرَّات، وعلِّم إحداها (د ت) رمزاً لمجرَّتنا درب التبّانة.

(1) التناحي :isotropy توحُّد الخواصّ، أي تساويها في جميع الاتجاهات. (المعرِّب)

obeikandl.com

الشكل 4.7 إن البالون المنتفخ يمثّل نموذجاً منطقياً لمفهوم الكون المتوسّع.

انفخ البالون فينحني إلى «البُعد الرابع». انظر كيف تتباعد النقاطُ (المجرَّاتُ) أكثر فأكثر مع استمرار النفخ وتَمَطُّط البالون. («البُعد الرابع» هو الزمن. والحجم داخل البالون يمثّل الماضي، وخارجه يمثّل المستقبل).

6.7 نظرية الانفجار العظيم

تفترض نظريةُ الانفجار العظيم Big Bang أن الكون قد خُلِق بحَدَثٍ انفجاريٍّ عنيف جداً يسمّى الانفجار العظيم، وهو منذئذٍ في حالة تطوُّرٍ وتوسُّع. كانت البداية ـ وفقاً لهذه النظرية ـ منذ 10 ـ 20 مليار سنة خلت.

فقد كانت جملةُ مادةِ كوننا الحالي وإشعاعِه متكتِّلةً في ما يسمى كُرَة النار البدائية primeval fireball، وهي حالةٌ بلغت غاية الحرارة والكثافة تمدَّدَ منها الكونُ بسرعة، فكان الانفجارُ العظيم بدايةَ ذلك الزمن والفضاء الذي نعرفه.

تمدَّدتِ المادةُ والإشعاعُ الناجمَيْن عن الانفجار الأول تمدُّداً سريعاً، ثم حصل بعد ذلك تبرُّد. وفي غضون بضع ثوانٍ تكوَّنت البروتونات (نوى الهيدروجين) والنترونات والإلكترونات. وفي دقائق معدودة وُجد الديوتريوم

(الهيدروجين الثقيل) الأول ونوى الهليوم، إضافةً إلى أثارةٍ من عدة عناصر خفيفة.

وبمرور عدة ملايين من السنين، انفصلت المادةُ عن الإشعاع، وبدأت المجرّاتُ والنجومُ بالتكوُّن، وهكذا استمرَّ الكونُ بالتوسُّع في المكان والزمان، والمجرّاتُ بالتباعد منذ ذلك الحين.

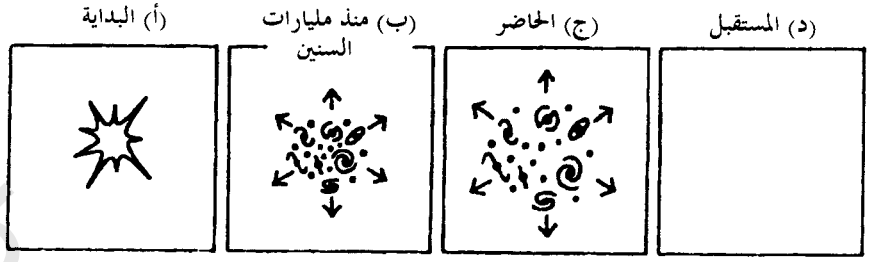
والملاحَظ اليوم أنَّ الكونَ مازال في توسُّعٍ دائم؛ فالنجوم تتكوَّن داخلَ المجرَّات من الهيدروجين الأصلي الذي يعود إلى عهد الانفجار العظيم. وقد وُجِدَ أن مادّة الكون المرصودة تتألف من 74 في المئة من الهيدروجين و 24 في المئة من الهليوم على وجه التقريب، يُضاف إليها مقاديرُ ضئيلةٌ من عناصر أخرى خفيفةٍ مثل الديوتريوم والليثيوم، كما هو متوقَّع.

هذا ويَقْبل معظمُ علماء الفلك بالوصف الذي تعطيه نظريةُ الانفجار العظيم للمراحل الماضية والحاضرة للكون. إلا أن التوقُّعاتِ متفاوتةٌ حول المستقبل، ولاسيما عندما يُستنفَد الهيدروجين الأصلي في النجوم في آخر المطاف، فتتوقَّف عن السطوع. حينئذ سيتقرَّر المصيرُ النهائيُّ للكون بنتيجة ظهور إحدى قوَّتين على الأخرى: التوسُّع الخارجي، وجذب الثقالة الداخلي.

ويرى نموذجُ الكون المفتوح open universe أن الكون مستمرٌ في التوسُّع إلى ما لانهاية[1]، ثم إنه، هذا الذي بدأ بانفجارٍ ناريٍّ عظيم، سوف يخبو منتهياً إلى ظلامٍ دامس ترافقه «زفرةٌ» واهية.

من الشكل 7. 5 أوجِزْ مراحلَ الكون المفتوح وفقاً لنظرية الانفجار العظيم.
(أ) .....؛ (ب) .....؛ (ج) ..... ؛ (د) .....

(1) قال الله تعالى في التنْزيل العزيز: ﴿والسماءَ بنيناها بأيدٍ وإنّا لموسِعون﴾. [الذاريات 47]. (المعرِّب)



الشكل 5.7 مراحل الكون المفتوح (نظرية الانفجار العظيم).

الجواب: (أ) حدوث الانفجار العظيم؛ (ب) تكوُّن المجرّات؛ (ج) استمرار المجرّاتِ بالانحسار، والكونِ بالاتِّساع؛ (د) استنفادُ الهيدروجين الأصلي، واستمرارُ الكون المظلم البارد ـ الناجم عن ذلك ـ بالتوسُّع اللانهائي.

7.7 الانكماش العظيم

يرى نموذجُ الكون المغلق closed universe أن الكون ـ الذي بدأ بالانفجار العظيم ـ لن يستمرَّ في التوسُّع إلى الأبد، بل إن قوة الثقالة ستوقف تمدُّده وتفرض حالةً من الارتصاص أو الانكماش.

فإذا كان الكونُ مغلقاً فعلاً، فإننا اليومَ نعيش مرحلةَ التمدُّد المنظور، وهذا يستتبع أن الكون في المستقبل سوف يتباطأ إلى أن يتوقف تماماً، ثم يبدأ بالانقباض. وفي أثناء انقباضه سوف تنكفئ المجرّاتُ نحو الداخل بحيث يتَّجه بعضُها نحو بعض، إلى أن تنكمش المادَّةُ كلُّها من جديد، متحوِّلةً إلى حالةٍ بالغة الحرارة والكثافة.

أما نموذج الكون المتأرجح oscillating universe فيتوقَّع أن انفجاراً عظيماً آخر سوف يَعْقب حالة الانكماش العظيم Big Crunch المشار إليها آنفاً، وأن ذلك سيفسح المجالَ لولادة كونٍ جديد متَّسع من المادة نفسها. وهكذا يكون الكون في تأرجحٍ بين التوسُّع والانكماش إلى الأبد.

من الشكل 6.7 أوجِزْ مراحلَ الكون المغلق وفقاً لنظرية الانفجار العظيم.

(أ) .....

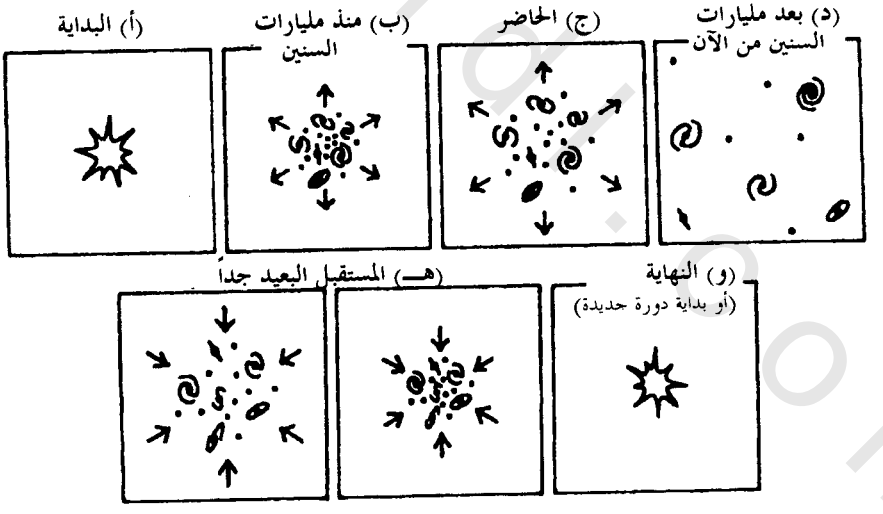
(ب) .....

(جـ) .....

(د) .....

(هـ) .....

(و) .....



الشكل 6.7 مراحل الكون المغلق (المتأرجح) (نظرية الانفجار العظيم).

obeikandl.com

الجواب: (أ) حدوث الانفجار العظيم؛ (ب) تكوُّن المجرّات وأخذها بالانحسار المستمر؛ (ج) حياتنا في كونٍ متوسِّع، وتباعُد المجرّات إحداها عن الأخرى اليوم؛ (د) توقُّف المجرّات في المستقبل؛ (هـ) انكماش الكون، وانكفاء المجرّات نحو الداخل؛ (و) انكماش المادة من جديد.

8.7 نظرية الحالة المستقرَّة

كانت نظريةُ الحالةِ المستقرة Steady State theory منذ بضعة عقود نِدّاً لنظرية الانفجار العظيم، فهي ترى أن الكون لا يتطوَّر أو يتغيَّر مع الزمن، إذ لم يكن لَه بدايةٌ في الماضي ولن تكون له نهايةٌ في المستقبل؛ فماضي الكون وحاضرُه ومستقبلُه واحدٌ إلى الأبد.

تعتمد هذه النظريةُ المبدأَ الكونيَّ الكامل perfect cosmological principle الذي يقضي بأن الكونَ واحدٌ لا يتغيَّر في كلِّ مكان وزمان، وهو يحافظ على كثافةٍ وسطية واحدة للمادة إلى الأبد[1].

ولتفسير مسألة الاتِّساع المطَّرد للكون، يَذكر نموذجُ الحالة المستقرَّة أن هيدروجيناً جديداً يتولَّد في الفضاء باستمرار، بمعدَّلٍ يكفي لاستخلاف المادة التي حملَتْها بعيداً المجرّاتُ المنحسرة. إلا أنَّ النظريةَ لم تُشِرْ إلى مصدر الهيدروجين الجديد المتولِّد.

يجدر بالقول إنَّ نظريةَ الحالة المستقرَّة لا تلقى قبولاً لدى معظم علماء الفلك، لأنها تتنافى والوقائعَ العمليةَ الثابتةَ علمياً: فَتَوَلُّد كتلة جديدة لا تفسير لها ـ وهي بالطبع شكلٌ من أشكال الطاقة ـ خروجٌ على ثوابت القانون الطبيعي في حفظ الطاقة، وهو ينصّ على أنَّ جملةَ الطاقة في نظامٍ مستقلٍ

(1) إن ثبات مظهر الكون (وفقاً لنظرية الحالة المستقرَّة) هو سبب تسميته كونَ الحالة المستقرّة، وهو يختلف اختلافاً واضحاً عن الكون كما تقتضيه نظريةُ الانفجار العظيم، حيث يصبح الفضاءُ أكثر فأكثر خلاءً بتباعُد المجرّات. (المعرِّب)

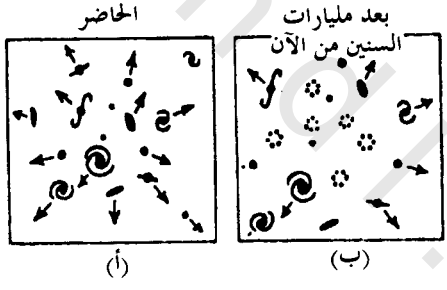
ثابتةٌ لا تتغيَّر، وأنَّ الطاقة لا يمكن خَلْقُها أو تدميرها، وإن كان من الممكن حدوث تحوُّلات فيها ضمن المنظومة.

ومع ذلك، تحظى نظريةُ الحالة المستقرّة عند أنصارها باستحسان فلسفيّ؛ فهم يقولون إنها أعطت تعريفاً لكونٍ وُجِدَ في الماضي وسيبقى موجوداً دوماً في المستقبل. علماً بأن ثمة فرضيةً بقيت دون أن تتعرَّض لها نماذجُ التطوُّر البتة، وهي التي قالت بوجوب تولُّد عناصرَ ثقيلةٍ في نجومٍ منفجرة، وطُرِحت لتفسير وجود تلك العناصر من غير حدوث انفجارٍ عظيم.

من الشكل 7.7 أوجِزْ وصفَ الكون وفقاً لنظرية الحالة المستقرّة.

(أ) .....

(ب) .....



الشكل 7.7 مراحل تطوُّر الكون (نظرية الحالة المستقرة).

الجواب: (أ) انحسار المجرّات، وتوسُّع الكون، وتولُّد مادَّةٍ جديدة، وتكوُّن مجرَّاتٍ جديدة؛ (ب) يتكرَّر هذا النموذج نفسه. يحافظ الكونُ على كثافةٍ وسطية واحدة إلى ما شاء الله.

9.7 اختبارات رصدية

يَختبِر علماءُ الفلك نموذجاً كونيّاً من منطَلَق: أمتوافقٌ مع كلِّ المعطياتِ

الرصدية التي في حوزتهم عن الكون أم غير متوافق؟

والطريقةُ المباشِرة لمعرفة آليَّة تطوُّر الكون هي مقارنةُ مظهره اليومَ بمظهره قبل مليارات السنين. ولما كان من المتعذِّر علينا عملياً إجراء أرصاد تستغرق مليارات السنين بسبب تقدُّم عُمر الكون، يلجأ الفلكيون بدلاً من ذلك إلى معاينة مجرّاتٍ تبعد عنّا مسافات متفاوتة.

صحيحٌ أن دراسةَ صُوَر حديثة لمجرّات نائية يمكِّنك من النفاذ إلى معرفة ماضيها الزمانيّ السحيق[1]، وهي فكرةٌ تبدو بسيطةً إلا أنها عسيرة التنفيذ، لأن التكنولوجيا لم تَبلغْ بَعدُ في تطوُّرها مرحلةً تتيح تصوير الأجرام النائية تصويراً تفصيلياً.

ومن ثَمّ فإن كلَّ المعطيات التي قد تُستعمَل لاختبار النماذج الكونيَّة تزخر بالارتيابات؛ فليس ثمة معطيات حتى اليوم على درجة كافية من الدقة يمكن أن تؤكِّد أن أيّاً من النماذج صحيحٌ تماماً.

كيف يتمكن علماءُ الفلك من الكشف عن مظهر الكون (أ) منذ مليونَيْ سنةٍ خلت؟ (ب) منذ ثلاثة مليارات سنةٍ خلت؟ فصِّل إجابتك .....

.....

.....

.....

.....

الجواب: لعلَّ الطريقة المباشرة لذلك هي دراسة صُوَرٍ للمجرّات من قبيل (أ) أندروميدا (المرأة المسلسلة)، التي تبعد عن الأرض نحواً من 2,2 مليوني سنة ضوئية، و(ب) هايدرا (الشجاع)، التي تبتعد زهاء 3 مليارات سنة

(1) راجع الفقرة 15.6. (المعرِّب)

ضوئية. يستغرق الضوءُ سنةً واحدةً للانتقال سنةً ضوئيةً واحدة؛ فالضوء الذي نتلقاه نحن الآن غادَرَ أندروميدا قبل 2,2 مليوني سنة، أو هايدرا قبل 3 مليارات سنة. وبذلك نعلم الآن حالَ الكون حينئذ.

10.7 ثابت هَبلْ المتقلِّب

يقوم علماءُ الكون بمقارنة قيمة ثابت هَبلْ اليوم بقيمته قبل مليارات السنين لتحقُّق توقُّعاتهم.

وواضحٌ أن ثابت هَبلْ لا يظلُّ ثابتاً بل يتناقص بمرور الزمن، وهذا يدلُّ على أن اتساعَ الكون آخذٌ في التباطؤ.

تتنبأ الدراساتُ النظريةُ بحدوث تباطؤٍ deceleration إذا كانت قوةُ الثقالة هي المؤثِّرَ الوحيد. ولا بدَّ من أن يكون ثابتُ هَبلْ اليومَ أصغرَ منه منذ مليارات السنين، لأن مركِّبات الكون تتجاذب في ما بينها بفعل قوة الجذب التثاقلي.

ويكون ثابت هَبلْ أسرعَ تناقصاً في نموذج الكون المغلق، منه في نموذج الكون المفتوح. فإذا كان الكونُ مغلقاً فعلاً فهو يتباطأ بمعدَّلٍ سوف يفضي به إلى التوقُّف الكامل.

من ناحيةٍ أخرى، يقول نموذجُ الكون المنبسط flat universe إنَّ الكون لن يتوسَّع لانهائياً، كما أنه لن ينكمش، بل سيؤول التباطؤُ وسرعةُ التوسُّع في نهاية الأمر إلى الصفر في آنٍ معاً.

إن النتائجَ المتعلقة بثابت هَبلْ غيرُ دقيقة، ولا يمكن اعتمادها قِيَماً نهائيةً بحال من الأحوال، وذلك بالنظر إلى غياب وسيلة لقياس المسافات إلى الحشود المجرّية بدرجة عالية من الضبط والدقة حتى اليوم.

مِمَّ تنبع أهميةُ توخّي الدقة الكبيرة في قياس قيمة ثابت هَبلْ؟ .....

.....

الجواب: إن القيمةَ الدقيقةَ لثابت هَبلْ تنهض دليلاً مؤيِّداً لواحد من النماذج الكونية التي استعرضناها آنفاً. ويُستعمل ثابت هَبلْ لحساب عُمر الكون وحدوده.

11.7 المادة والطاقة

إنَّ من شأن المشاهدات التي تتناول كثافةَ المادة (والطاقة) في الكون أن تضيف أدلَّةً أساسيةً للاختيار من بين النماذج الكونيَّة المتاحة.

تعرَّف الكثافةُ الحرجة critical density للمادة بأنها متوسط الكثافة الدنيا اللازمة لقوة الثقالة كي تُوقِف تمدُّدَ الكون دون أن تعكسه[1]، وقيمتُها المحسوبة نظرياً منوطةٌ بقيمة ثابت هَبلْ (وهي قيمة غير دقيقة)، لكنها تقارب 10^{-29} غ/سم3، أو بضع ذرات من الهيدروجين لكلّ متر مكعب.

إن وفرة عنصر الديوتريوم في الفضاء اليوم تضع حدّاً لأعلى مقدار من المادة العادية يمكن وجوده في الكون. ويُفتَرض أساساً أن كلَّ الديوتريوم الموجود فعلاً قد تولَّد من الانفجار العظيم، ومن ثم فارتباطه وثيقٌ بالكثافة الأصلية للمادة. وتدل المشاهداتُ العلمية على أن الانفجار العظيم لم يولِّد أكثر من 0,1 من المادة العادية، إضافةً إلى القوة التثاقلية الناجمة، واللازمة في نهاية الأمر لإيقاف التوسُّع المرصود.

يُطلَق اسم أوميغا Omega (رمزها ؟) على نسبة متوسط كثافة المادة

(1) أي إنها الكثافة اللازمة لكونٍ مغلق. فإذا تجاوزتْ كثافةُ الكون الفعليةُ الكثافةَ الحرجةَ (المحسوبة نظرياً) توقَّفَ عن التوسُّع وانكمش، وإذا كانت كثافتُه أقلَّ منها واصلَ توسُّعَه إلى ما لا نهاية. أما كثافةُ الكون فيحسبها علماءُ الفلك باختيار حجم محدود من الفضاء وإحصاء عدد المجرّات فيه. تُحسَب كتلةُ كلِّ مجرَّة، ثم تُقسَم الكتلةُ الإجمالية للمجرّات على الحجم المختار. (المعرِّب)

المرصودة إلى إشعاعها أو أثرها التثاقلي على القيمة الحرجة. ووُجد أن هذه النسبة أقل من 1 حالياً، وأن قوةَ الثقالة التي تقابلها لا تستطيع إيقاف التوسُّع البتَّة. إذاً يبدو أن الكون مفتوح.

ولا بدَّ من وجود ما يسمّى مادة الكتلة المفقودة missing mass أو ما يكافئها من طاقة لم تُكتشَف بعد، مقابل كثافة حَرِجة للمادة أو متوسط كثافة أعلى لها. ومن الممكن وجود نيوترينوات كبيرة، أو أجرام هاليّة متراصّة ضخمة massive compact halo objects («ماخوهات» MACHOs اختصاراً)، أو جسيمات كبيرة ضعيفة التآثر weakly-interacting massive particles (وِمْبات WIMPs). وقد يعمل الثابتُ الكونيّ cosmological constant (يُرمز له بالحرف اليوناني لامدا Λ) ـ المكافئ لطاقةٍ هائلة، وهو الذي أدخله أينشتاين أول مرة على نظرية النسبية العامة ـ على زيادة قوة الجذب التثاقلي أو إنقاصها.

ما الأهميةُ الكونيّةُ المحتملة لاكتشافات جديدة تتَّصل بالكتلة والطاقة غير المرصودتين في الكون حتى الآن؟.....

.....

.....

الجواب: ستكون كثافةُ المادة في الكون أكبر من قيمتها الحالية المرصودة. وقد تكون كافيةً لإيقاف توسُّع الكون أو عكسه. وربما كان الكون منبسطاً أو مغلقاً، مع أنه يبدو اليومَ مفتوحاً.

12.7 الإشعاع الكوني

تتنبّأ نظريةُ الانفجار العظيم بأن الكون سيمتلئ بإشعاع الخلفية الكونيّ cosmic background radiation، وهو بقيةٌ من الإشعاع تخلَّفتْ عن الانفجار العظيم الأصلي.

ويُعتقَد أن كرة النار البدائية قد أَطلقتْ في الفضاء إشعاعاً قوياً قصير الموجة (يماثل درجةَ حرارةٍ تصل إلى تريليونات الدرجات) في جميع الاتجاهات، بما يشبه انفجار قنابل ذرية عملاقة. سينتشر ذاك الإشعاعُ في المستقبل، ويبرد مالئاً الكون المتوسِّع مَلْئاً منتظماً. لكنه سيصيب الأرضَ الآن على صورة إشعاعِ أمواجٍ صغرية (راديوية قصيرة short radio) يعادل درجةَ حرارة لا تتجاوز بضعَ درجات فوق الصفر المطلق.

في سنة 1965 تمكَّن الفيزيائيان الأمريكيان آرنو پِنْزياس Arno Penzias وروبرت ويلسون Robert Wilson من رصد إشعاعِ أمواجٍ صغرية آتية بالتساوي من كل الاتجاهات في السماء، ليلاً ونهاراً على مدار العام. وهو شبيهٌ بالإشعاع الذي يطلقه جسمٌ أسود عند درجة الحرارة 2,7 كلڤن، ويتميَّز باطّراده وانتظامه في كلِّ مكان.

وأخيراً كَشَفَ علماءُ الفلك في ما يبدو إشعاعَ كرة النار الذي ولَّده الانفجار العظيم عندما بدأ الكون.

ماذا يعني اكتشاف إشعاعِ الخلفيةِ الكوني لنظرية الحالة المستقرة؟ .....

.....

الجواب: إنه يُبطِل نموذجَ الحالة المستقرة، إذ يعجِز النموذجُ عن إعطاء تفسيرٍ لوجود هذا الإشعاع.

13.7 جوانب نجاح نموذج الانفجار العظيم

لَخِّص الأرصادَ التي نَجَح نموذجُ الانفجار العظيم في تفسيرها .....

.....

.....

.....

الجواب: يجب أن تشمل إجابتُك الجوانبَ التالية: (1) الانزياحات الحمراء للمجرّات النائية؛ (2) إشعاع الخلفية الكوني؛ (3) وفرة الهيدروجين والهليوم.

14.7 تساؤلات تتعلق بالانفجار العظيم

أخفقَ النموذجُ القياسيُّ للانفجار العظيم في تفسير إفضاء تلك البداية الانفجارية إلى تجانُس إشعاع الخلفية الكوني والبنية الواسعة للكون المرصود.

ثم حتى لو كان التوزُّعُ الأولِيُّ للطاقة والمادة سَلِساً، فإن قوةَ الثقالة وحدَها لم تكن لتكفي - ضمن حدود العُمر المحسوب للكون - لتكتيل المادة في الحشود المجرّية والحشود الفائقة التي نرصدها. فمن المحتمل إذن أن يكون ثمة شيءٌ من اللاتناحي[1] anisotropy واللاتجانس inhomogeneity في بدايات الكون.

في سنة 1981 اقترح الفيزيائيُّ الأمريكي آلن غوث Alan Guth فكرةَ التوسُّع الانفجاري inflation، وهي مرحلةٌ وجيزةٌ من التوسُّع الخاطف أعقبت الانفجار العظيم، لتسويغ الامتداد الرحيب للكون، واتّساقِه وتشاكُلِه. وناقشَ قضيةَ التسطُّح flatness problem التي تتناول الأسبابَ التي تحمل على ما قد يرقى إلى الجزم بأن كثافة الكون عند فجر ولادته كانت قريبة جداً من الكثافة الحرجة. وتُحَلُّ هذه القضيةُ بإضافة نموذج الكون الانفجاريّ التوسُّع inflationary universe إلى نظرية الانفجار العظيم Big Bang، مع ملاحظة أن التوسُّع يتسارع عندما تعمل طاقةُ كتلةٍ دخيلة على نبذ الثقالة[2].

(1) اللاتناحي: تباين الخواص في جميع الاتجاهات. (المعرّب)

(2) انظر إن شئت مقالةً بعنوان Cosmic Inflation Comes of Age بقلم ستيف ناديس. في مجلة Astronomy، عدد شهر نيسان (أبريل) 2002، الصفحات 28 - 32. ففيها فَضْل بيان عن أفكار آلن غوث في التوسّع الانفجاري. (المعرّب)

وقد رَصَدَ الساتلُ الربوطيّ الأمريكيّ المسمّى كشّاف إشعاع الخلفيّة الكوني Cosmic Background Explorer (COBE) اختلافاتٍ حراريةً طفيفةً في متوسط درجة حرارة السماء البالغ 2,7 كلفن. تُمثِّل تلك الاختلافاتُ تموُّجاتٍ عريضةً لمادةٍ خيطية الشكل ربما تكون قد نَمَتْ داخل المجرّات والحشود المجرّية والخواءات الضخمة في الفضاء اليوم (الشكل 8.7).

على أنّ نموذج أينشتاين ـ دو سيتر Einstein-de Sitter المفضّل في علم الكون الانفجاري يَستدعي أن يكون الكونُ متجانساً ومنبسطاً. ويَفترِض أنصارُ هذا النموذج أن كميةً كبيرةً جداً من مادةِ الكون أو طاقته ذاتُ طبيعة غريبة تستعصي على الكشف.

ولعلّ الأرصادَ المقبلة تكشف عن أنواع وكميات الطاقة الكتلية الموجودة فعلاً.

يودّ قلّةٌ من علماء الفلك التخلّي عن نظرية الانفجار العظيم كليّاً. اذكر اثنين من المحاذير الرئيسية بهذا الشأن اليوم

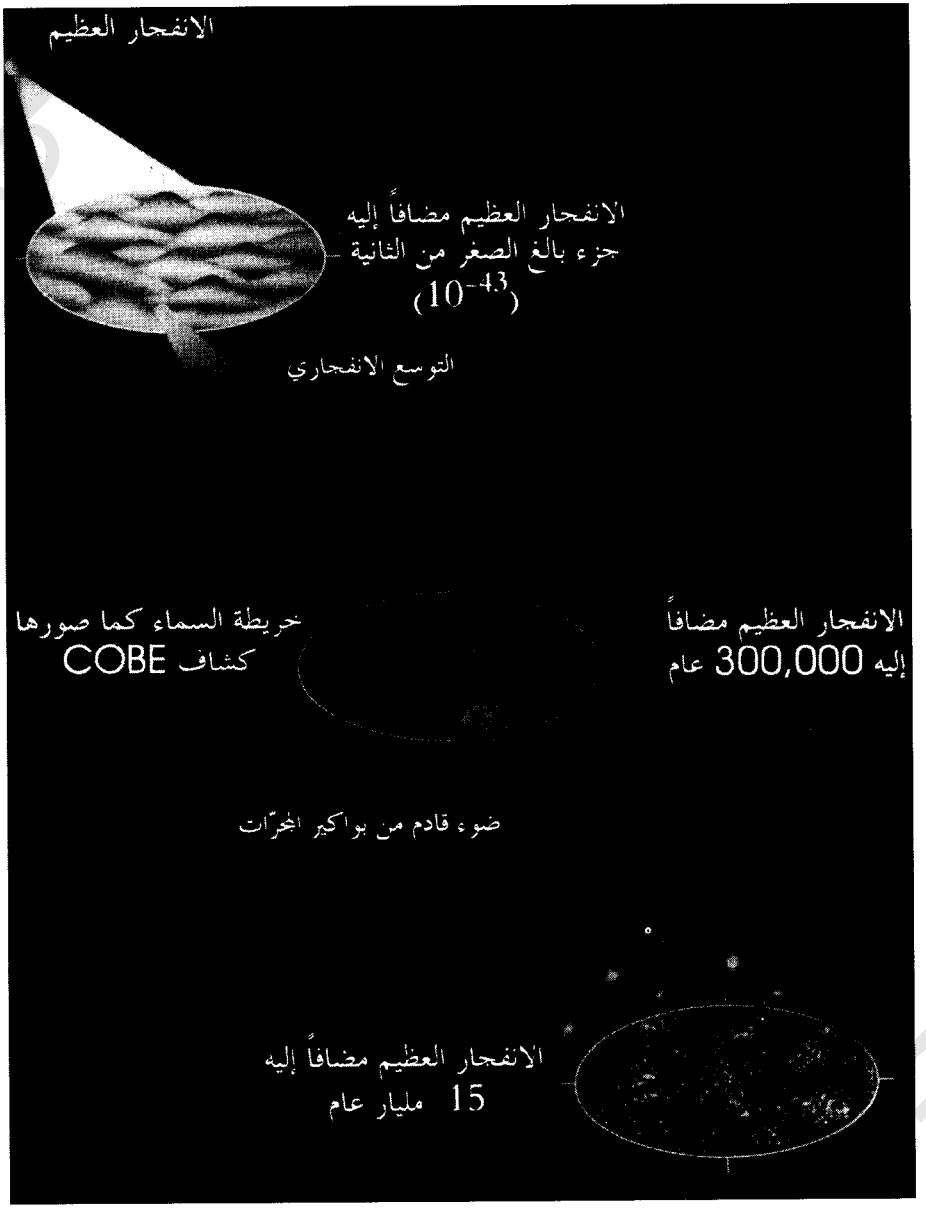
(1) .....

.....

(2) .....

.....

الجواب: (1) ظهور نموذجٍ يبيّن آلية تطوُّر الكون بعد اللحظات الأولى من الانفجار العظيم، وهو ينسجم والبنية الواسعة المرصودة من الكون؛ (2) الكشف الصريح عن المادة القاتمة، بشكلها المألوف أو الغريب.



الشكل 8.7 تاريخ الكون (نموذج الانفجار العظيم المتمدِّد انفجارياً).

15.7 عُمر الكون

تَميل تقديرات عُمر الكون إلى الزيادة، من بضعة آلاف السنين إلى الملايين ثم إلى مليارات السنين.

تقوم التقديراتُ القياسيةُ لعُمر الكون على قيمة ثابت هَبلْ. واستناداً إلى ذلك، يكون عُمر الكون منذ الانفجار العظيم (ويسمى زمن هَبلْ Hubble time) مساوياً 1/H. لكن ثابت هَبلْ مازال غير دقيق ويتعرض لشيءٍ من التعديل لحساب التباطؤ الذي اعترى الكون في ماضي الزمان. هذه الطريقة تقدِّر عُمرَ الانفجار العظيم بين 10 مليارات و20 مليار سنة.

كذلك يعطي قياسُ تقادُم النشاط الإشعاعي للصخور والأحجار النيزكية أعماراً قريبةً مما سبق. فقد قدَّر عالِمُ الفلك الأمريكيُّ ديڤيد شرام David N. Schramm (1945 ـ 1997) عُمر الكون بعشرين مليار سنة، عن طريق حساب مقدار ما اضمحلَّ من عنصر الرينيوم 187 الإشعاعيّ النشاط منذ تكوُّنه أوَّل مرة في المراحل الأولى الفتيّة من تاريخ مجرّة درب التبّانة. وهناك وسيلةٌ أخرى قُدِّر فيها عُمر الكون استنباطاً من عُمر أقدم النجوم، وتبيَّن أن عُمره بهذه الطريقة يقع بين 13 مليار و18 مليار سنة.

اذكر ثلاث طرائق لتقدير عُمر الكون.

(1) .....

.....

(2) .....

.....

(3) .....

.....

obeikandl.com

الجواب: (1) قياس ثابت هَبلْ H وزمن هَبلْ الذي يساوي 1/H؛ (2) قياس درجة اضمحلال النشاط الإشعاعي للصخور والأحجار النيزكية؛ (3) الاستدلال من أعمار أقدم النجوم المرصودة.

16.7 حدود الكون

تعتمد تقديراتُ نصف قطر الكون أيضاً على قيمة ثابت هَبلْ اعتماداً كبيراً. فالمسافة إلى حافة الكون المرصود (وتسمى شعاع هَبلْ Hubble radius) تساوي سرعةَ الضوء (c) مقسومةً على ثابت هَبلْ (H)، أي c/H. وتُظهِر هذه التقديرات أن نصف قطر الكون يقع بين 12 مليار و16 مليار سنة ضوئية (الشكل 9.7).

وتظلُّ التساؤلاتُ البشريةُ الأزليّة ـ من قبيل: كيف بدأ العالَم؟ وهل سينتهي؟ ـ ماثلةً لا يجد العِلم لها جواباً سديداً حتى اليوم.

استعرِضْ مجموعة التقديرات التي صارت بحوزتك عن الكون، باستكمال مايلي:

الكون المرصود كما يبدو اليوم

(أ) معدَّل انحسار مجرّاته النائية (ثابت هَبلْ) .....

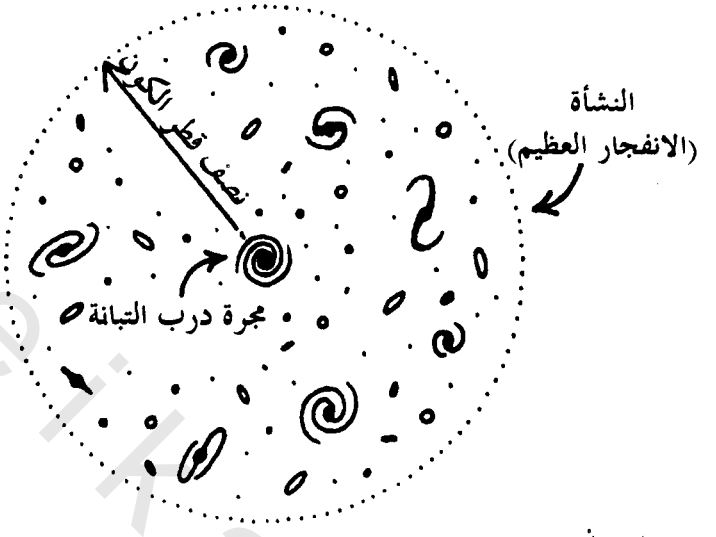
.....

(ب) نصف قطره التقريبي .....

(ج) عمره التقريبي بشكله الحالي .....

الجواب:

(أ) من 50 إلى 100 كم/ثا/ميغا فرسخ فلكي (من 15 إلى 30 كم/ثا/مليون سنة ضوئية).



الشكل 9.7 شعاع هَبل.

(ب) من 12 مليار إلى 16 مليار سنة ضوئية.

(ج) من 10 مليارات إلى 20 مليار سنة تقريباً.

obeikandl.com

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل السابع وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. عرِّف علم الكون .....

.....

2. بِمَ تختلف النماذجُ الكونية عن التفسيراتِ الدينية للكون؟ .....

.....

.....

3. صِف الدليلَ على أنَّ الكونَ يتوسَّع .....

.....

.....

.....

.....

4. اذكر نصَّ قانون هَبلْ .....

.....

.....

.....

.....

obeikandl.com

5. ما سببُ أهمية ثابت هَبلْ في علم الكون؟ .....

.....

.....

.....

6. اذكر الافتراضَ الأساسيَّ للنماذج الكونيَّة كافة .....

.....

.....

7. اعزُ واحداً أو أكثر من النماذج الكونيَّة الثلاثة الرئيسية (نظرية الانفجار العظيم) إلى كلٍّ من العبارات التالية:

-- (أ) منذ 10 مليارات إلى 20 مليار سنة انفجرَ الكونُ إلى الوجود من حالة بلغت الغاية في الحرارة والكثافة.

(1) مفتوح.

(2) مغلق.

(3) منبسط.

-- (ب) إن كميةً كبيرةً من مادة الكون مادةٌ قاتمةٌ وذات طبيعة غريبة تستعصي على الكشف.

-- (ج) تتباعد المجرّاتُ بسرعات تتزايد مع تزايد البُعد.

-- (د) في المستقبل، سيتوسَّع الكونُ بلا حدود.

-- (هـ) في المستقبل، سيتوقَّف الكونُ عن التوسُّع ثم ينكمش.

obeikandl.com

8. اذكر ملاحظتَيْن أساسيَّتَيْن يمكن أن تساعدا في الاختيار بين كونٍ مفتوح وكونٍ مغلق.

(1) .....

(2) .....

9. ما الأهميةُ الكونيةُ لإشعاع الخلفيَّة الكوني؟

.....

.....

.....

10. ما هو الإسهام الرئيسي لنموذج الكون المتوسِّع انفجارياً في نظرية الانفجار العظيم؟ .....

.....

.....

.....

11. أعطِ (أ) عُمر هَبلْ التقريبي للكون .....؛ (ب) شعاع هَبلْ التقريبي .....

obeikandl.com

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. علم الكون (الكوزمولوجيا) فرعٌ من العلم يُعنى بدراسة منشأ الكون وبنيته الحالية وتطوُّره ومصيره النهائي.

(الفقرة 1.7)

2. إن النماذجَ الكونية لا تسعى إلى إضفاء سببٍ أو معنىً خارقٍ للطبيعة على الظواهر الفيزيائية، بل تحاول تفسير هذه الظواهر بمقتضى قوانين الطبيعة والرياضيات حصراً.

(الفقرة 1.7)

3. يَنْزاح الضوءُ الوارد من المجرّات النائية في الطول الموجيّ نحو النهاية الحمراء للطَّيف، في ظاهرةٍ تسمّى الانزياحَ الأحمر. يزداد الانزياحُ الأحمر لمجرَّةٍ بازدياد بُعدها عنّا. ينحسر أبعدُ المجرّاتِ باطِّرادٍ عنّا، وبعضها عن بعض في آنٍ معاً.

(الفقرة 2.7)

4. ينصّ قانون هَبلْ على أن سرعةَ الانحسار (v) لمجرَّة يتناسب طرداً مع بُعدها (d) عنّا. ويُكتب جبرياً: $v = Hd$، حيث H هو ثابت هَبلْ.

(الفقرة 4.7)

5. لثابت هَبلْ أهمية كبرى لأنه يعطي معدَّل انحسار المجرّات، أو معدَّل توسُّع الكون. فهو إذن أساس تقدير حجمِ الكون وعُمرِه.

obeikandl.com

(الفقرات 4.7 و 10.7 و 15.7 و 16.7)

6. ينصُّ المبدأُ الكونيُّ على أن الكون متجانسٌ ومُتَناحٍ على نطاق كبير وفي أي زمان.

(الفقرة 5.7)

7. (أ) 1 و 2 و 3؛ (ب) 2 و 3؛ (ج) 1 و 2 و 3؛ (د) 1 ؛ (هـ) 2.

(الفقرات 2.7 و 6.7 و 7.7 و 10.7 و 11.7 و 14.7)

8. (1) معدَّل تغيُّر ثابت هَبلْ مع الزمن؛ (2) كثافة المادة في الكون.

(الفقرتان 10.7 و 11.7)

9. إن إشعاعَ الأمواجِ الصغريَّة الذي يصيب الأرضَ من جميع اتجاهات الفضاء يقدِّم دليلاً قوياً على نموذج الانفجار العظيم. والظاهر أنه البقيةُ المتخلِّفة من الإشعاع المنْزاح نحو الأحمر، المتولِّد من ذلك الانفجار.

(الفقرة 12.7)

10. ثمة مرحلةٌ وجيزةٌ من الاتساع الخاطف حدثت بُعَيْد الانفجار العظيم، قد تفسِّر كيف أن البدايةُ المتفجِّرة يمكن أن تفضيَ إلى تجانُس إشعاعِ الخلفيّة الكوني، وكذلك إلى تأليف البنية الهائلة للكون المرصود.

(الفقرة 14.7)

11. (أ) 10 مليارات إلى 20 مليار سنة؛ (ب) 12 مليار إلى 16 مليار سنة ضوئية.

(الفقرتان 15.7 و 16.7)

obeikandl.com