

☆ بسيطة

الفيزياء، البكالوريا، الفرع العلمي

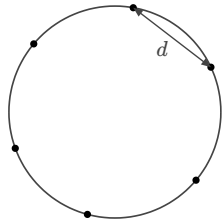
الانفجار الأعظم والثقوب السوداء

تمدد الكون ونظرية الانفجار الأعظم، والمجرات، وسرعة الإفلات، والثقوب السوداء ورصدها
الفيزياء الفلكية . الوحدة 5 . الدرس 1 (2 من 2)

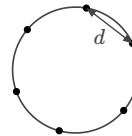
تدلّ ظاهرة الانزياح نحو الأحمر لطيف المجرات البعيدة على أنّها تبتعد عنّا وعن بعضها. لو تخيلنا المشهد بتراجع زمني، كيف كان الكون في الماضي السحيق؟ وهل لهذا الكون بداية؟ ومن الجهة الأخرى: ما الجسم الذي لا يفلت منه حتى الضوء؟ نتابع مع الكتاب في الصفحات 247 إلى 254.

نظرية الانفجار الأعظم

انزياح طيف المجرات نحو الأحمر يدلّ على أنّ المجرات تبتعد عن بعضها، فالفضاء الكوني يتمدد كبالون يُنفخ، الكتاب، الصفحة 247. ويقول الكتاب «كلّ المجرات»، والمقصود المجرات البعيدة: فبعض المجرات القريبة، كمجرة المرأة المسلسلة، تقترب منّا. ومن أكثر النظريات قبولاً نظرية الانفجار الأعظم: نشأ الكون قبل نحو 13.8 مليار سنة، وكان في تلك اللحظة نقطة منفردة صغيرة جداً ذات كثافة عالية جداً من المادة والحرارة، ثم حدث الانفجار الأعظم، فتشكّلت الجسيمات الأولية، ثم الذرات والجزيئات والغبار الكوني، فالنجوم والمجرات، واستمرّ الكون في التوسّع حتى اليوم.



2. بعد النفخ: تبتعد كلّ مجرّة عن كلّ مجرّة أخرى، ويزداد البعد d بينها.



1. قبل: مجرّات على سطح بالون.

تشبيه تمدد الكون بالون يُنفخ، الكتاب، الصفحة 247. الرسم من عندنا.

الأسس الفيزيائية لنظرية الانفجار الأعظم، الكتاب، الصفحة 247: 1. الانزياح نحو الأحمر لطيف المجرات. 2. وجود تشويشٍ ضعيف لموجاتٍ راديوية قادمة بشكلٍ منتظمٍ تماماً من جميع اتجاهات الكون، وبالشدة نفسها، هي بقايا إشعاع الانفجار الأعظم. 3. وجود كمّيات هائلة من الهيدروجين والهيليوم في النجوم: كمّية الهيليوم في شمسنا أكبر بثلاثة أضعاف ممّا يمكن أن يتولّد من اندماج الهيدروجين في قلبها، وهذا يستدعي مصدراً آخر درجة حرارته أعلى بكثير، هو الدقائق الأولى من بدء الانفجار الأعظم.

التطبيق الثالث، الكتاب، الصفحة 247: احسب عمر الكون التقريبي اعتماداً على قانون هابل، باعتبار

$$H_0 = \frac{68}{3} \times 10^{-19} \text{ s}^{-1} \text{ . البعد } d \text{ لمجرّة ما هو أيضاً المسافة التي قطعها منذ الانفجار الأعظم، حين كانت المجرات}$$

كلها متكافئة في نقطة واحدة.

$$t = ?$$

1. الزمن منذ الانفجار بفرض أن سرعة المجرة ثابتة منذ الانفجار الأعظم، $v = \frac{d}{t}$ ، ومن قانون هابل $v = H_0 d$:

$$\frac{d}{t} = H_0 d$$

$$t = \frac{1}{H_0} = \frac{3}{68} \times 10^{19} \text{ s}$$

2. بالسنوات نقسم على عدد ثواني السنة $60 \times 60 \times 24 \times 365.25$:

$$t \approx 1.4 \times 10^{10} \text{ year}$$

أي نحو 14 مليار سنة، قريباً من 13.8 مليار سنة في الكتاب. عمر الكون التقريبي:

$$t = \frac{1}{H_0}$$

من الأسس الفيزيائية لنظرية الانفجار الأعظم:

كيف أبدأ؟ الكتاب، الصفحة 247، ثلاثة أسس.

(أ) ثبات المسافات بين المجرات

(ب) انزياح طيف المجرات القريبة نحو الأزرق

(ج) تشويش راديوي ضعيف منتظم يأتي من كل الاتجاهات

ج. نعم: بقايا إشعاع الانفجار الأعظم، الكتاب، الصفحة 247.

إذا كان $H_0 \approx 2.27 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ ، فعمر الكون التقريبي بالثواني:

$$t = \frac{1}{H_0} \text{ كيف أبدأ؟}$$

$$t \approx 4.4 \times 10^{17} \text{ s} \text{ (أ)}$$

$$t \approx 1.4 \times 10^{10} \text{ s} \text{ (ب)}$$

$$t \approx 2.27 \times 10^{-18} \text{ s} \text{ (ج)}$$

$$\text{أ. نعم: } \frac{1}{2.27 \times 10^{-18}}$$

المجرات

المجرة نظامٌ كونيٌّ مكوّن من تجمّعٍ هائل من النجوم والغبار والغازات التي ترتبط معاً بقوى تجاذبٍ متبادلة، وتدور حول مركزٍ مشترك. ويقدر العلماء أنّ هناك حوالي 10^{10} إلى 10^{12} مجرة تقريباً في الكون المنظور، وأبعد مجراتٍ تمّ تصويرها تبعد حوالي 10 إلى 13 مليار سنة ضوئية. والمجرات القزمة لا يتعدّى عدد نجومها 10^7 نجم، والعملاقة تحتوي أكثر من 10^{12} نجمة. ومجرتنا درب التبانة فيها أكثر من 2×10^{11} نجم، ويقدر العلماء قطرها بحوالي 100 ألف سنة ضوئية، وفيها المجموعة الشمسية. الكتاب، الصفحة 248.

تحتوي مجرتنا درب التبانة:

| كيف أبدأ؟ الكتاب، الصفحة 248.

(أ) نحو 10^7 نجم فقط

(ب) أكثر من 2×10^{11} نجم

(ج) نجماً واحداً هو الشمس

ب. نعم: الكتاب، الصفحة 248.

سرعة الإفلات

قوة التجاذب الكتلي بين جسمين تتناسب طردياً مع كتليتهما، وعكساً مع مربع البعد بينهما، وفق قانون نيوتن. ولكي يفلت جسمٌ مقذوف من سطح الأرض نحو الأعلى من جاذبيتها وينطلق في الفضاء، بإهمال مقاومة الهواء، يجب إعطاؤه طاقةً حركية تكفي للتغلب على طاقة الجذب الكامنة له، الكتاب، الصفحة 249:

$$\frac{1}{2} m v^2 = G \frac{m M}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 G M}{r}}$$

حيث v سرعة الإفلات من الأرض، وتسمّى السرعة الكونية الثانية ونرمز لها أيضاً بـ v_2 ، و G ثابت التجاذب العالمي، و M كتلة الأرض، و r نصف قطرها. والسرعة الكونية الأولى هي السرعة المدارية التي تجعل الجسم يدور ضمن مدارٍ حول الجسم الجاذب، الكتاب، الصفحة 249. عندها تساوي قوة الجذب القوة الجاذبة المركزية، $\frac{m v_1^2}{r} = G \frac{m M}{r^2}$ ، ومنها العلاقة التي يطلبها الكتاب، الصفحة 253:

$$v_1 = \sqrt{\frac{G M}{r}} \quad v_2 = \sqrt{2} v_1$$

انتبه: كتلة الجسم المفلة m تختصر من الطرفين: سرعة الإفلات من سطح جسمٍ جاذبٍ كتلته أكبر بكثير لا تتعلّق إلا بكتلة هذا الجسم ونصف قطره.

التطبيق الرابع، الكتاب، الصفحة 249: احسب السرعة الكونيّة الثانية للأرض، علماً أنّ نصف قطرها 6400 km ، وتسارع الجاذبيّة الأرضيّة على سطحها $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

$$v = ?$$

1. من ثقل الجسم قوّة جذب الأرض للجسم هي ثقله:

$$G \frac{m M}{r^2} = m g$$

$$G M = g r^2$$

2. سرعة الإفلات نعوّض في $v = \sqrt{\frac{2 G M}{r}}$:

$$v = \sqrt{2 g r} = \sqrt{2 \times 10 \times 6.4 \times 10^6}$$

$$v = 8\sqrt{2} \times 10^3 \approx 1.13 \times 10^4 \text{ m.s}^{-1}$$

أي نحو 11.3 km.s^{-1} . على سطح الأرض:

$$v = \sqrt{2 g r}$$

تتعلّق سرعة الإفلات من سطح كوكب:

كيف أبدأ؟ $v = \sqrt{\frac{2 G M}{r}}$ ، أيّ الرموز هنا؟

- (أ) بكتلة الجسم المفلة
- (ب) بكتلة الكوكب ونصف قطره
- (ج) بشكل الجسم المفلة
- ب. نعم: M و r وحدهما.

السرعة الكونية الأولى لجسمٍ قرب سطح الأرض v_1 . السرعة الكونية الثانية:

كيف أبدأ؟ قارن $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ بـ $\sqrt{\frac{2GM}{r}}$.

(أ) $v_2 = \sqrt{2} v_1$

(ب) $v_2 = 2 v_1$

(ج) $v_2 = \frac{v_1}{\sqrt{2}}$

أ. نعم: العامل 2 تحت الجذر.

الكتاب، الصفحة 252: كوكبٌ يدور حول نجمه على بعدٍ يساوي ضعف بعد الأرض عن الشمس، وسرعته الخطية المدارية ثلاثا سرعة الأرض. سنته على هذا الكوكب تساوي:

كيف أبدأ؟ الدور $T = \frac{2\pi r}{v}$.

(أ) $\frac{4}{3}$ سنة أرضية

(ب) سنة أرضية واحدة

(ج) 3 سنوات أرضية

ج. نعم: $3 = \frac{2}{2/3}$.

يمكن أن تحط مركبةٌ علميةٌ على أحد أقمار المشتري، لكن لا على المشتري نفسه، الكتاب، الصفحة 253. لماذا برأيك؟

كيف أبدأ؟ المشتري من الكواكب الغازية.

(أ) لأن المشتري كوكبٌ غازيٌّ كبير الكتلة، فلا سطح صلباً عليه، وسرعة الإفلات منه كبيرة

(ب) لأن المشتري أبعد عن الأرض من أقماره

(ج) لأن أقمار المشتري أكبر منه

أ. نعم: القمر صغير صخري، والمشتري غازيٌّ ضخم.

الثقوب السوداء

تذكر: «كلما نقص نصف قطر الجسم الجاذب وزادت كثافته، ازدادت سرعة الإفلات اللازمة للتحرُّر من سطحه.» الكتاب، الصفحة 250.

والمقصود جسمٌ كتلته ثابتة ينكمش فيصغر نصف قطره. وبما أنه لا يمكن لأي جسمٍ أن تتجاوز سرعته سرعة الضوء في الخلاء، فيكفي أن يكون نصف قطر الجسم الجاذب كما في العلاقة الآتية كيلا يمكن لأي جسمٍ الإفلات منه، حتى الضوء، فيستقر الثقب

الأسود، الكتاب، الصفحة 250:

$$c = \sqrt{\frac{2 G M}{r}}$$

$$r = \frac{2 G M}{c^2}$$

هذا حسابٌ بقوانين نيوتن، والعلاقة نفسها تثبتها النظرية النسبية العامة. ويسمى نصف القطر الذي يحقق هذه العلاقة نصف قطر شفارتزشيلد، وتسمى الحدود التي لا يمكن بعدها الإفلات من الجاذبية أفق الحدث. فالثقب الأسود حيزٌ كثافته هائلة، له قوة جاذبية جبّارة يستحيل على أي شيء الإفلات منها، حتى أشعة الضوء، لذا تبدو هذه المنطقة غير مرئية في الفضاء. الكتاب، الصفحة 250.

المسألة الأولى، الكتاب، الصفحة 253: افترض أنّ الأرض انكمشت حتى أصبحت ثقباً أسود. كم يجب أن يكون نصف قطرها؟ نصف قطر الأرض الحالي $R = 6400 \text{ km}$ ، وتسارع الجاذبية عند سطحها الحالي $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$. وهل سيتابع القمر عندئذٍ الدوران حولها؟

$$r = ?$$

1. حاصل الجداء $G M$ كما في التطبيق الرابع، مع R نصف قطر الأرض الحالي، $G M = g R^2$:

$$G M = 10 \times (6.4 \times 10^6)^2$$

$$G M \approx 4.1 \times 10^{14} \text{ m}^3.\text{s}^{-2}$$

2. نصف قطر شفارتزشيلد $r = \frac{2 G M}{c^2}$:

$$r = \frac{2 \times 4.1 \times 10^{14}}{9 \times 10^{16}}$$

$$r \approx 9.1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

نحو 9 mm . ويتابع القمر دورانه، لأن كتلة الأرض لم تتغير، وقوة جذبها له على البعد نفسه لا تتغير. وفي الواقع، الأجرام التي تنتهي حياتها إلى ثقب أسود هي النجوم التي تبلغ كتلتها أكثر من عشرة أضعاف كتلة شمسنا، الكتاب، الصفحة 253:

$$r = \frac{2 G M}{c^2}$$

نصف قطر شفارتزشيلد لجسم كتلته M :

كيف أبدأ؟ ضع c مكان سرعة الإفلات.

$$r = \frac{G M}{c^2} \quad (\text{أ})$$

$$r = \frac{2 G M}{c^2} \quad (\text{ب})$$

$$r = \frac{2 G M}{c^2} \quad (\text{ج})$$

ج. نعم: الكتاب، الصفحة 250.

رصد الثقوب السوداء

كيف يجذب الثقب الأسود الضوء؟ ليس للضوء كتلة سكونية، لكن له طاقة تكافئ كتلة تعطى بالعلاقة $E = m c^2$ ، كما في النسبية الخاصة. وكيف يُرصد الثقب الأسود وهو لا يُرى؟ الكتاب، الصفحة 251، يذكر ثلاث طرق: 1. سلوك الأجسام المجاورة: تُدرس الحركات غير المتوقعة للنجوم أو الغبار أو الغازات المحيطة بالأماكن غير المرئية. 2. الانبعاث الإشعاعي: تدور النجوم المجاورة والأجسام حول الثقب الأسود فترتفع حرارتها إلى ملايين الدرجات، وتنبعث منها أشعة سينية ترصدها مرصد الأشعة السينية. 3. تأثير عدسة الجاذبية: وفق النظرية النسبية العامة تُحدث الجاذبية انحناءً في الفضاء، فضاء النجوم أو المجرات الذي يمر بجوار ثقب أسود ينحني، فتبدو في غير أماكنها. وقد أُعلن رسمياً عن أول صورة حقيقية لثقب أسود في 10 نيسان 2019.

كيف يُرصد الثقب الأسود رغم أنه لا يُرى؟

كيف أبدأ؟ الكتاب، الصفحة 251، ثلاث طرق.

(أ) من الضوء الذي يُصدره سطحه

(ب) من حركة النجوم والغازات المجاورة له

(ج) بتلسكوبٍ عاديٍ ينظر إليه مباشرةً

ب. نعم: الطريقة الأولى في الكتاب، الصفحة 251.

المصدر: الفيزياء، الصفحات 247 إلى 254 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.