1 – **تعـــــــريف الزّمـــــن.** مـن الصّعب جدّا تعريف الزّمن بدقّة. لذا يـوجد عدّة تعريفات نذكر منها:

- هـو وسط غير متهي و متجانس تـتـوالى فيـه الأحداث
- حركة لا تـتوقّف حيث يتحوّل المستقبل الى ماضي
- هـو بعد حقيـقي يجعل التّغيّر مـمكنا و مفهوما
- الزمن هو البعد الذي يحدد تسلسل الأحداث ومدتها. يُعتبر الزمن كمية قابلة للقياس، حيث يتم قياسه بوحدات مثل الثواني والدقائق والساعات.
- الخ ...
- فـي الفيـزياء الحديثـة، الزّمـن هو عبارة عـن البعد الرّابع لـلفضاء (درجة حـرّيّة). و الّذي يسمّى بـدوره الزمكان أو $espace - temps$. يـوجد نـوعين:

◄ الزّمــن المطلق (مـيكانـكا نـيوتن)

◄ الزّمــن النّسبي (النّسبيّة الخاصّة لأنشتاين)

- خضائصه:

ـ الاتجاه: الزمن له اتجاه واحد، من الماضي إلى المستقبل، ويعرف هذا بـــ: سهم الزمن.

ـ الاستمرارية: الزمن مستمر ولا يمكن إيقافه أو عكسه في الظروف الطبيعية.

ـ النسبية: وفقًا لنظرية النسبية لأينشتاين، الزمن ليس مطلقًا بل نسبي، ويعتمد على سرعة المراقب وحقل الجاذبية.

2– **تعـــــــريف الفضـــــاء.** الفضاء هـو المكان الّذي تـتمّ فيه الأحداث. و يـمـن أن يعرّف كذلك:

- الفضاء هو البعد الثلاثي الذي يحدد موقع الأجسام وحركتها. يتكون الفضاء من الطول والعرض والارتفاع
- في الميكانيكا الكلاسيـكيّة: الفضاء مستوي و يـمثّل بفضاء إقليدي ذي ثلاث أبعاد
- في النّسبيّة الخاصّة لأنشتاين: الفضاء مستوي و مرتبط بالـزّمن، يـمثّل بفضاء مـينكوفسلي
- في النّسبيّة العامّة لأنشتاين: الفضاء، المادّة، الطّاقة و الزّمن كلّها مرتبطة معـا. الفضاء يـمثّل بفضاء مـينكوفسلي و لـكن منحني
- الزمكان: في الفيزياء الحديثة، يتم دمج الزمن والفضاء في مفهوم واحد يسمى الزمكانْ، وهو نسيج رباعي الأبعاد (ثلاثة أبعاد للفضاء وواحد للزمن) حيث تحدث جميع الأحداث.

3- **الفـرق بيـن الزّمـن المطلق و الزّمـن النّسـبي:** الزّمن المطلـق هـو نفسه في كل المعالم الغاليلية بينما الزّمن النّسبي فـيتغيّر مـن معلم إلى آخر (أو بـعبارة أخـرى، لـكل معـلم غاليلي ساعته الخاصّـــــــة بـه).

4- **طبيعة الفضاء في الميكانيك الكلاسيكي، النّسبيّة الخاصّة و العامّة لأنشتاين:** أنـظر الاجابة رقـل 2 .

5- **تفسير النّسبيّة للّعامّة لأنشتاين الجاذبيّـــــــة:** تفسّر النّسبيّة العامّة لانشّتاين الجاذبيّة كـمظهـر (أو نتيجة) من مظاهر إنحناء الفضاء. أي جسم له كتلة أو طاقة (مثل النجوم أو الكواكب) يسبب انحناءً في نسيج الزمكان حوله. كلما كانت الكتلة أكبر، كان الانحناء أقوى. على سبيل المثال، الشمس تسبب انحناءً كبيرًا في الزمكان حولها بسبب كتلتها الهائلة.
الأجسام تتحرك في هذا الزمكان المنحني بشكل طبيعي دون الحاجة إلى آقوة جاذبيةْ كما في نظرية نيوتن. على سبيل المثال، الأرض تتحرك في مدار حول الشمس لأنها تتبع الانحناء الذي تسببه الشمس في الزمكان. هذا الانحناء هو ما نعرفه كـجاذبية.

6- **توسّع الكون:** وسع الكون هو أحد أهم الاكتشافات في علم الفلك والفيزياء الحديثة، ويشير إلى أن الكون يتوسع باستمرار، مما يعني أن المجرات تتباعد عن بعضها البعض بمرور الوقت. تم إكتشافه هذه الظاهرة في عام 1929 ،حيث لاحظ عالم الفلك إدوين هابل أن المجرات تتحرك مبتعدة عنا، وأن سرعة ابتعادها تزداد كلما كانت أكثر بعدًا. هذا الاكتشاف أدى إلى استنتاج أن الكون ليس ثابتًا، بل يتوسع.
إذا كان الكون يتوسع، فإن ذلك يعني أنه في الماضي كان أصغر حجمًا وأكثر كثافة. هذا قاد العلماء إلى نظرية الانفجار العظيم ، التي تقول إن الكون بدأ من نقطة كثيفة وحارة جدًا قبل حوالي 13.8 مليار سنة، ومنذ ذلك الحين وهو يتوسع.

7- **التّقويـمات و علاقتها بالظّواهر الفلكيّة:** التّقويم : هو نظام تعليم بدلالة الزّمن، احدث من اجل تنظيم الوقت، و هو مرتبط بالظواهر الدّوريّة مثل الدّورة القمريّة.

8- **أصناف التّقويـمات:**

- (أ) التّقويم القمري
- تـتعلّق فقط بـالدورة قمريّة (*lunaison*)
- المدّة المتوسّطة لـلشّهر: 29,5305882 يوم
- المدّة المتوسّطة لـلسّنة: 354 أو 355 يوم
- أمثـلة: التّقويم الرّوماني القديم و التّقويم الهجري
- (ب) التّقويم الشّمسي
- المدّة المتوسّطة لـلسّنة تساوي تقريبا السّنة المداريّة (*tropique*)
- السّنة تحتوي على 12 شهرا و 5 أيام
- مدّة السّنة: 365 أو 366
- أمثـلة: التّقويم المصري، يولويس قيصر و الغريغوري
- (ج) التّقويم القمرـشمسي
- يعتمد في نفس الوقت على الدّورتين الشّمسيّة و القمريّة
- السّنة تحتوي على 12 أو 13 شهرا
- كـل 19 سنة هناك 12 سنة (12 شهرا) و 7 سنة (13 شهرا)
- أمثـلة: التّقويم الكلداني، العبري

9- أمثـــــلة لـبعض التّقويمات:

• (أ) تقويم يوليوس قيصر مـن −45 إلى 1582 (*julien Calendrier*):

◄ تقويم شمسي يتكوّن من 5 أشهر مـن 30 يوما و 6 مـن 31

◄ يوما و شهر فيفري يحتوي على 29 يوما (أو فيفري مـن 28 و أوت مـن 31 يوما)

◄ فـي دورة مـن 4 سنوات: 3 سنوات ذات 365 يوما و سنة مـن 366 يوما (كبيسة). القيما المتوسّطة لـلسّنة هي 365.25

• (ب) التقويم الهجري (*Calendrier musulman ou Hegire*):

◄ الشّهر: 29.530556 يوما (تقريب جيّد للدّورة القمريّة)

◄ القيما المتوسّطة لـلسّنة: 354.37 يوما (تقريبا 11 يوما أقل مـن السّنة الداريّة)

◄ السّنة العاديّة: 354 يوم مكوّنة من 6 شهرا ذات 30 يوم و 6 شهرا ذات 29 يوما

◄ السّنة الكبيسة: 355 يوم حيث يحتوي الشّهر الأخير على 30 يوما

◄ دورة مـن 30 سنة: 19 سنة عاديّة و 11 كبيسة

• (ج) تقويـم غريغوري (*Calendrier gregorien*) :

◄ دورة مـن 400 سنة: 303 سنة عاديّة و 97 كبيسة (*bissextiles*).

◄ القيما المتوسّطة لـلسّنة هي: 365.2425 يوم

◄ بدأت في 4 أكتوبر 1582 حيث أضيف لها 11 يوما ليصبح يوم الغد 15 أكتوبر 1582 .

10- الفرق بـين تقويم غريغوري و تقويـم يوليوس قيصر: أنظر الجواب 9

11- السّنة الكبيـسة. السّنة الكبيسة تحوي على 366 يوما. و تعرّف كما يلي:

◄ إذا كانت السّنة قابلت للّقسمة على 4 و ليس 100

◄ إذا كانت السّنة قابلت على 400

◄ أمثلة: 2008 ، 2000

12- السّنة الداريّة: السّنة الداريّة (*tropique*) أو الاعتداليّة (*equinoxiale*) هو زمن دورة كاملة لـلأرض حول الشّمس. قـدّر طول السّنة الداريّة في سنة 2000 بـ 365 يـوم، و 5 سـاعات، 48 دقـيقة و 45.25 ثانيّة.

13- تعريف الثانية: هي وحدة قياس الزمن في النظام العالمي. تغير تعريفها عبر العصور.فكانت الثانية تُحدد بناءً على تقسيم اليوم إلى أجزاء أصغر. استخدمت الحضارات القديمة (مثل البابليين والمصريين) نظام العد الستيني (الأساس 60) لتقسيم الوقت. اليوم كان يُقسم إلى 24 ساعة، والساعة إلى 60 دقيقة، والدقيقة إلى 60 ثانية. و قدرت الثانية تقريبا بزمن نبض القلب. مع اختراع الساعات الميكانيكية، أصبح قياس الوقت أكثر دقة. كانت الثانية تُعرف على أنها 1/86400 من اليوم الشمسي المتوسط (اليوم الشمسي هو الوقت بين ظهرين متتاليين). وكانت تحدد باستعمال النواس. فنواس طوله واحد متر دوره تقريبا واحد ثانية.
مع تطور العلوم، وُجد أن اليوم الشمسي ليس ثابتًا بسبب تغيرات في دوران الأرض. في عام 1956 ،تم إعادة تعريف الثانية بناءً على السنة الشمسية، حيث أصبحت الثانية تُعرف كـ $1/31,556,925.9747$ من السنة الشمسية لعام 1900 .

مع اختراع الساعات الالكترونية في منتصف القرن العشرين، أصبح قياس الوقت أكثر دقة بكثير. في عام 1967 ، أعاد المؤتمر العام للأوزان والمقاييس تعريف الثانية باستخدام الاهتزازات الذرية. التعريف الحالي: الثانية هي مدة $9,192,631,770$ اهتزازة لإشعاع ذرة السيزيوم $133-$ عند انتقالها بين مستويي طاقة معينين.

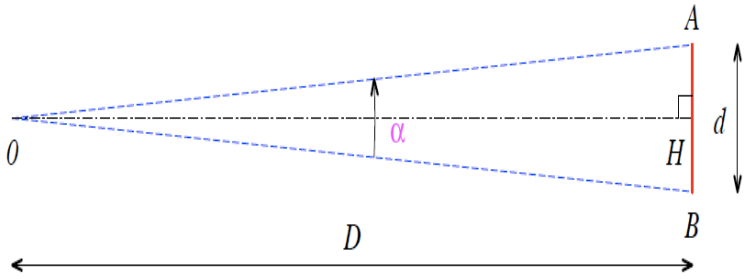
14- وحدات قياس المسافات في علم الفلك: (أ) الوحدة الفلكيّة (ua)، $1ua = 150 \times 10^6\ km$. (ب) السّنة الضّوئيّة (al)، $1al = 9500 \times 10^9\ km$. (ج) الپارساك (pc)، $1pc = 31000 \times 10^9\ km$.

15- المسافات المتوسطة بين الكواكب و الشّمس بـ ua **و** km **:** عطارد: $0.38ua = 5.7 \times 10^7\ km$. الزّهرة: $0.72ua = 1.08 \times 10^8\ km$. الأرض: $1,00ua = 150 \times 10^6\ km$. المرّيخ: $1.52ua = 2.28 \times 10^8\ km$. المشتري: $5.21ua = 7.815 \times 10^8\ km$. زحل: $9.54ua = 1.431 \times 10^9\ km$. يورانوس: $19.18ua = 2.877 \times 10^9\ km$. نبتون: $30.11ua = 4.5165 \times 10^9\ km$.

16- علاقة القطر الظّاهري: القطر الظاهري: هو الزّاويّة الّتي من خلالها يرى ملاحظ موجود في النّقطة O الجسم AB قطره d و يبعد عن النّقطة بمسافة D .

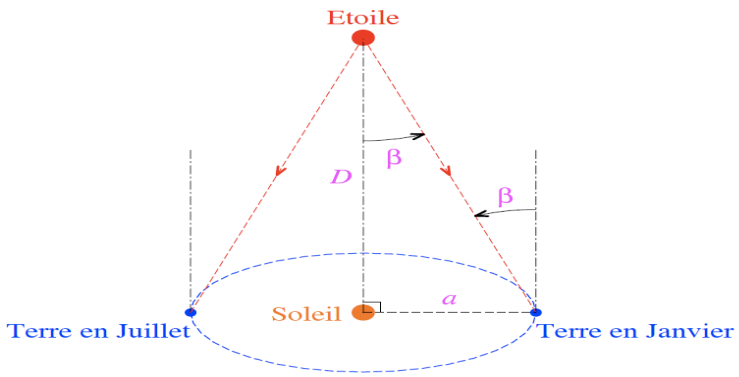
$$\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{d}{2D}, \alpha = 2arctg\left(\frac{d}{2D}\right)$$

من أجل قيم صغيرة لـ α ، نثبت أنّ: $\alpha = \frac{d}{D}$ ، حيث أنّ α بـ الرّاديان rd . تستعمل لحساب القطر الحقيقي للكواكب و الأقمار أو بعدها عن الأرض (أنظر الشّكل).



$\alpha = 2.\ arctg(d/2D)$

17- علاقة التّزيح النجمي: الزّاوية β تسمّى التزيح النّجمي ($parallaxe$)، و $[\beta] \equiv rd$. باستعمال القوانين المثلّثيّة، نبيّن أنّ $D = a/\tan\beta$. من أجل قيم صغيرة لـ β ، نجد: $D \approx a/\beta$. مع العلم أنّ D هي المسافة بين الشّمس و النّجم و a هي المسافة بين الأرض و الشّمس (أنظر الشّكل).



18- النّظام $(^0,','')$ **:** النّظام درجة - دقيقة - ثانيّة: $(^0,','') \equiv (degre, minute, seconde)$ حيث أنّ: $1^0 = 60' = 3600''$.

19- المسافات بين الأرض و الشّمس و النّجوم التّاليّة:

- $61 - cygni$ ($\beta = 0.294''$): $D_s \approx D_t = 11.082\, al$
- $\alpha\, crucis$ ($\beta = 0.10121''$): $D_s \approx D_t = 32.1951\, al$
- النّسر الطّائر ($\beta = 0.195''$): $D_s \approx D_t = 16.7101\, al$

حيث أنّ D_s هي المسافة بين الشّمس و النّجم، و D_t هي المسافة بين الأرض و النّجم.

20- و 21- و 22-

- القمر ($\alpha = 30'$ ، $D = 384400\, km$): $d = 3352.84\, km$
- نبتون ($\alpha = 2.3''$ ، $D = 4.5165 \times 10^9\, km$): $d = 50336.7\, km$
- زحل ($\alpha = 19.5''$)، $D = 1.431 \times 10^9\, km$): $d = 135216.0\, km$
- الزّهرة ($\alpha = 59.82''$)، $D = 1.08 \times 10^8\, km$): $d = 31305.8\, km$

23- التّزيّح النّجمي لنجم **منكب الجوزاء** : $\beta = 0.00543077''$.

24- التّزيّح النّجمي لنجم يبعد عن الأرض بـ $1800\, pc$: $\beta = 0.000554757''$

25- المصدر الأساسي للمعلومات في علم الفلك: هو الأمواج الكهرومغناطيسيّة الآتيّة من الفضاء.

26- الأمواج الكهرومغناطيسيّة: الامواج الكهرمغناطيسيّة هي عبارة عن أهتزازات الحقل الكهربائى و الحقل المغناطيسى

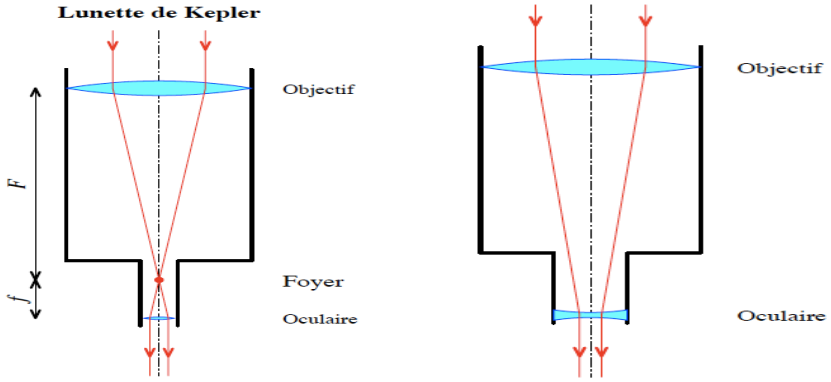
- تنتشر بسرعة الضوء $c = 299792458 m/s$
- تتميّز بالتّواتر ν ($frequence$) أو طول الموجة $\lambda = c/\nu$
- حسب طول الموجة λ ، تستعمل عدّة وسائل لكشفها. فمثلا، العين المجرّدة تستطيع فقط الكشف عن الأمواج المحصورة بين 0.4μ و 0.6μ ، و الّتي تسمّى بالضّوء المرئي
- من وجهة النّظر الكمّيّة، الأمواج هي عبارة عن تدفّق لجسيمات عنصريّة تسمّى بالفوتونات
- الطّاقة: $E = h\nu$ و $h = 6 : 6260710^{-34} J/Hz$
- الضوء $\equiv$ ضوء تحت أحمر، مرئي و فوق بنفسجي

27- مبدأ عمل العين المجرّدة: أقدم وسيلة بصريّة تستعمل في علم الفلك هي العين المجرّدة (قبل 1609). مبدء عملها كما يلي:

- مجمع الضوء: بؤبؤو العين ($Pupille$)
- مكثّف الضوء: القزحيّة ($Iris$)
- مغيّر التّركيز المحرقي المتغيّر: الجسم البلّوري ($Cristallin$)
- ملتقط ذو حساسيّة متغيّرة: الشّبكيّة ($Retine$)
- العين العاديّة يمكن أن ترى ($accommoder$) من مسافةحوالى25 تقريبا ($punctumproximum$) حتّى الّانهات ($punctumremotum$)

28- **نظّارتي غاليلي و كـبلر:** الهدف من النّظارة الفلكيّة هو تشكيل صورة مكبّرة لجسم بعيد أي موجود في الّانهاية (جرم سماوي مثلا). صنع غاليلي نظّارته الفلكيّة و المعروفة بآسمه سنة 1609 بعد 8 محاولات لنماذج وضعت من طرف الهولنديّين و التّي كانت موجّهة أساسا للآستعمالات الحربيّة.

- نظّارة غاليلي: الجسميّة (*Objective*): عدسة مقرّبة تلعب دور مركّز الضّوء. العينيّة (*Oculaire*): عدسة مبعدة تضخّم الصّورة المحرقيّة المركّزة و تبعثها إلى الّانهاية
- نظّارة كـبلر: الجسميّة (*Objective*): عدسة مقرّبة تلعب دور مركّز الضّوء. العينيّة (*Oculaire*): عدسة مقرّبة تضخّم الصّورة المحرقيّة المركّزة و تبعثها إلى الّانهاية. أنظر الشّكل.



أهم مشاهدات غاليليو غاليلي بنظارته الفلكية التي أحدثت ثورة في علم الفلك وساهمت في دحض النموذج القديم (المركزية الأرضية) كانت:

1 ـ أقمار المشتري الأربعة (أقمار غاليليو): في عام 1610 ، رصد أربعة أقمار تدور حول كوكب المشتري (آيو، أوروبا، غانيميد، وكاليستو)، ما أثبت أن ليس كل شيء يدور حول الأرض.

2 ـ تضاريس القمر: لاحظ أن سطح القمر غير أملس، بل يحتوي على جبال وحفر، مما خالف الاعتقاد السابق بأن الأجرام السماوية آكاملةْ ومثاليةْ.

3 ـ مراحل كوكب الزهرة: اكتشف أن الزهرة تمر بمراحل مشابهة لمراحل القمر، وهو ما لا يمكن تفسيره إلا إذا كانت تدور حول الشمس، مما دعم نموذج كوبرنيكوس الشمسي.

4 ـ عدد هائل من النجوم غير المرئية بالعين المجردة: عند توجيه منظاره نحو درب التبانة، اكتشف أنها مكونة من عدد ضخم من النجوم، ما وسّع تصور الناس عن حجم الكون.

5 ـ بُقع الشمس: لاحظ وجود بقع داكنة على سطح الشمس تتحرك بمرور الوقت، ما أظهر أن الشمس نفسها غير آمثاليةْ، وبيّن أنها تدور حول محورها.

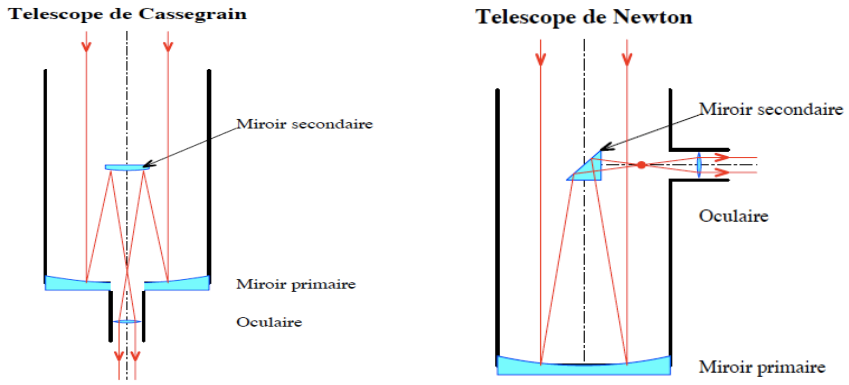
6 ـ حلقات زحل (لكن لم يفهم طبيعتها): لاحظ أن كوكب زحل له شكل غريب، كأنه مكوّن من ثلاث ءجزاءْ أو آكوكبين صغيرين ملتصقين بكوكب كبيرْ، لأنه لم يكن يدرك أن ما كان يراه هو الحلقات. كتب عنها: آزحل ليس وحيداً، بل له آذانا! ولم تُفهم طبيعة هذه الحلقات إلا لاحقًا.

هذه الاكتشافات كانت من العوامل الرئيسية التي ساعدت على إضعاف النموذج الجغرافي (المركزي الأرضي) للعالم وتعزيز النموذج الشمسي، رغم أن غاليلي واجه معارضة شديدة من الكنيسة بسببها.

29- **تلسكوب نيوتن و كاسوغران:** أوّل تلسكوب تمّ إنجازه هو تلسكوب نيوتن (1672). هناك نوعين من التلسكوبات:

- تلسكوب نيوتن: العينيّة (*Oculaire*) هي عدسة مقرّبة. الجسميّة (*Objective*) هي مرآة مجوّفة دورها عكس الضّوء. و مرآة مسطّحة و مائلة بدرجة 45^o لاعتراض و إعادة إرسال الضّوء للعينيّة.

- تلسكوب كاسوغران: العينيّة (*Oculaire*) عدسة مقرّبة موضوعة مباشرة وراء الجسميّة. الجسميّة (*Objective*) هي مرآة مجوّفة دورها عكس الضّوء. مرآة محدّبة و ليست مائلة لاعتراض و إعادة إرسال الضّوء للعينيّة.



30- **الفرق بين النّظارة الفلكيّة و التّلسكوب:** الفرقان الأساسيّان هما

- النّظّارة الفلكيّة لديها عدسة كجسميّة
- بينما التّلسكوب لديه مرآة كجسميّة

31- **أنواع التلسكوبات الحديثة:** تلسكوب فضائي مثل تلسكوب هابل، تلسكوبات الأشعة السّينيّة، تلسكوبات الأشعة فوق البنفسجيّة، الرّاديوتلسكوب، ...

32- **تلسكوب هابل:** التلسكوب الفضائي هو تلسكوب مداره وراء الغلاف الجوّي. أفضليّة هذا النّوع من التّلسكوبات على التلسكوبات الأرضيّة أنّها لا تأثّر بالغلاف الجوّي.

33- **مساهمات وسائل الرّصد في تطوّر علم الفلك:** في الاساس، علم الفلك مبني على الملاحظة (الرّصد). فعندما إستعمل غاليلي نظّارته الفلكيّة، أحدث طفرة بملاحظته الفلكيّة (أنظر الدّرس)... تلسكوب هابل مكّننا من رصد العديد من المجرات و خبايا الكون ...

34- **أمواج الجاذبيّة و كيفيّة رصدها:** أمواج الجاذبية هي تموجات في نسيج الزمكان تنبأ بها ألبرت أينشتاين في نظرية النسبية العامة عام ١٩١٦. تنشأ هذه الأمواج عندما تتسارع أجسام ضخمة جداً، مثل اندماج ثقبين أسودين أو نجمين نيوترونيين. تنتشر هذه التموجات بسرعة الضوء، لكنها تكون ضعيفة جداً، مما يجعل رصدها تحدياً كبيراً.
رُصدت أمواج الجاذبية لأول مرة في ١٤ سبتمبر ٢٠١٥ من قبل مرصد ليغو (ليجو) في الولايات المتحدة. وقد نتجت عن اندماج ثقبين أسودين على بعد حوالي ٣٠١ مليار سنة ضوئية من الأرض. هذا الحدث أكد صحة تنبؤات أينشتاين وأطلق عصرًا جديدًا في علم الفلك يُعرف بـلْفلك عبر موجات الجاذبيةْ

بالتّوفيق
محمّد الصّادق زيدي
فركوس نوردّين