النظرية النسبية
نظرة عامة

إعداد

أ.د. إبراهيم ناصر

قسم الفيزياء

كلية العلوم

جامعة الملك فهد للبترول والمعدن

المحتويات

1. عصر ما قبل آينشتاين "Era before Einstein"
2. النظرية النسبية الخاصة "Special theory of relativity"
3. النظرية النسبية العامة "General theory of relativity"

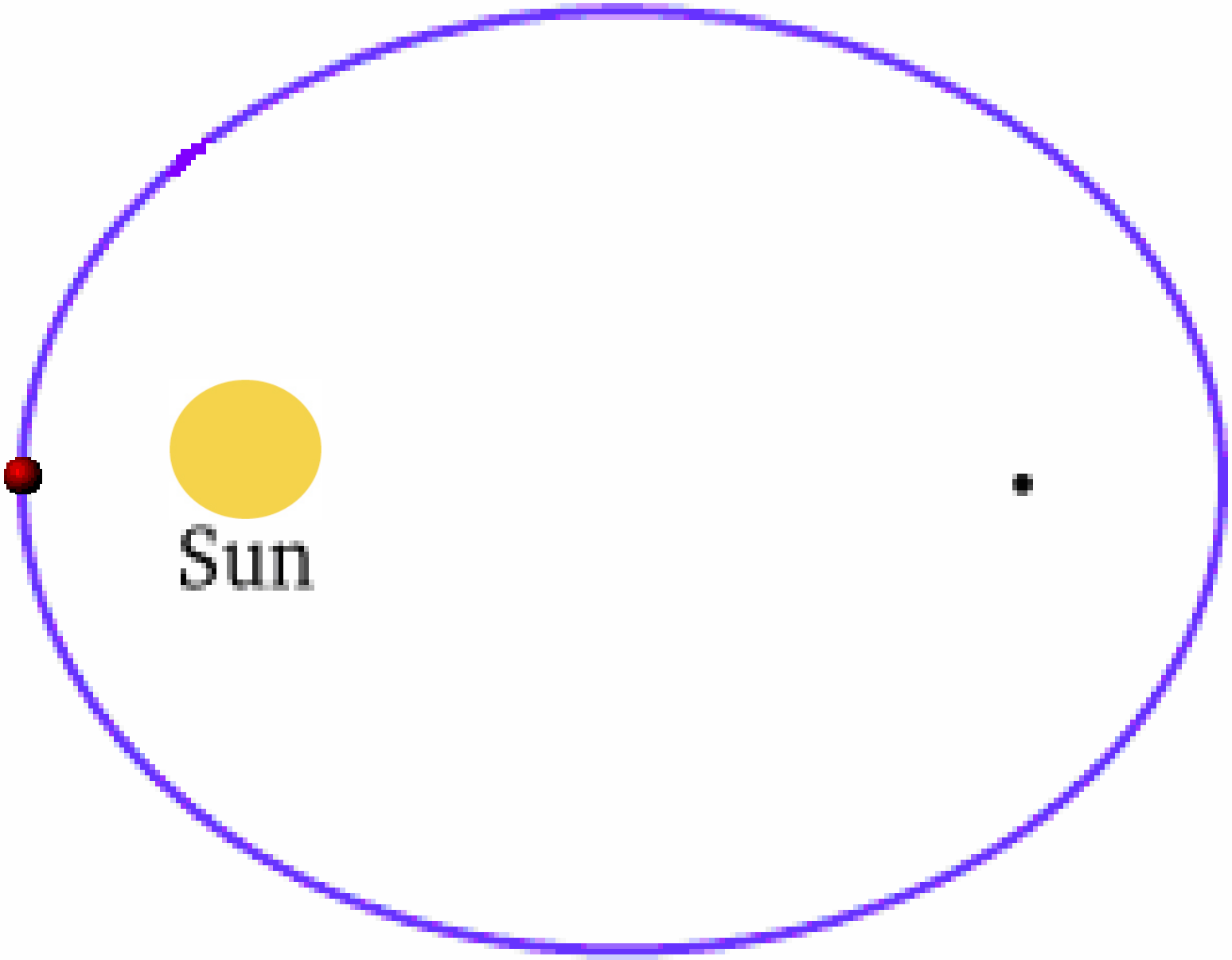
Put your hand on a hot stove for a minute, and it seems like an hour. Sit with a pretty girl for an hour, and it seems like a minute. That's relativity.

Albert Einstein

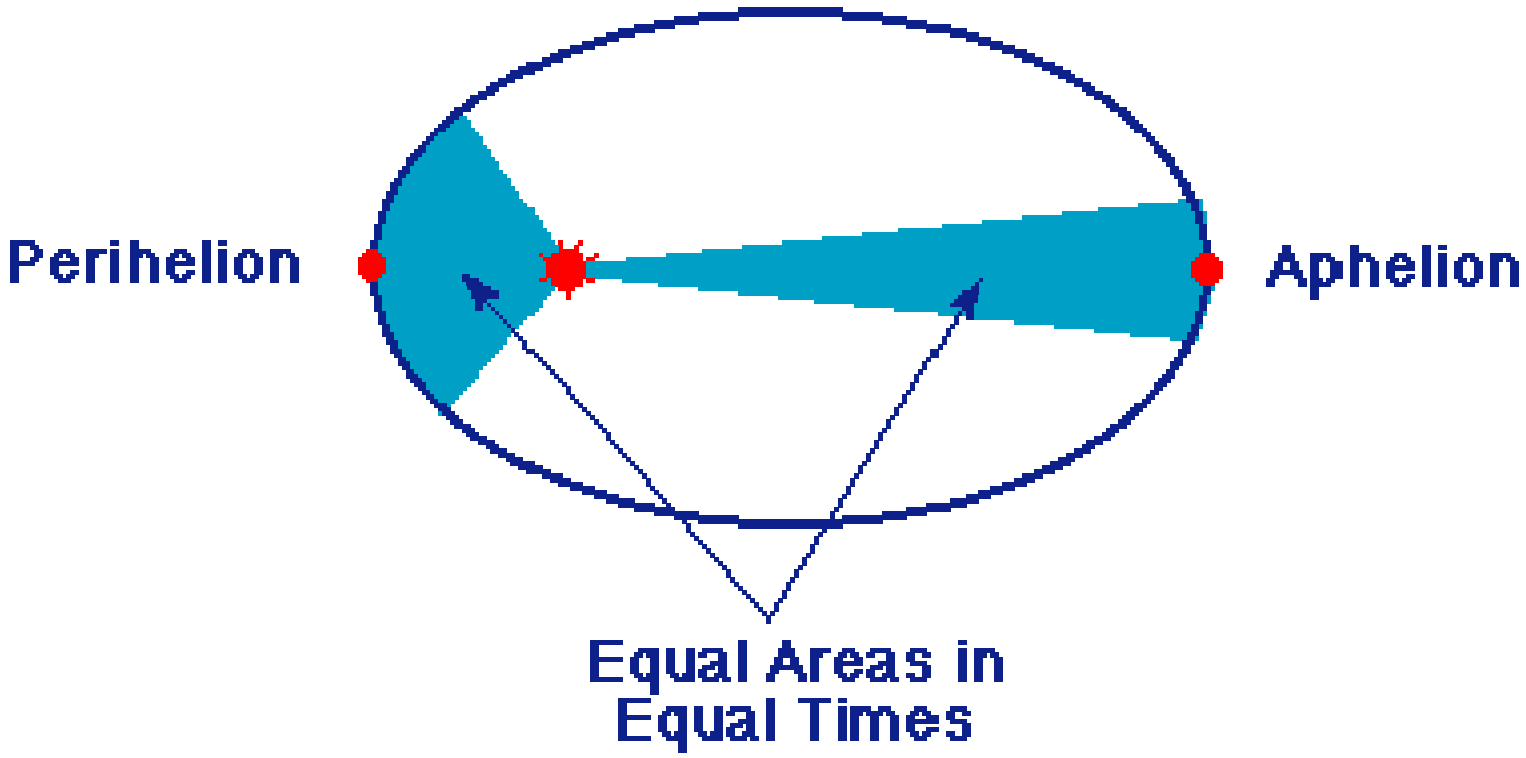
عصر ما قبل آينشتاين
ERA BEFORE EINSTEIN

قوانين يوهانز كبلر

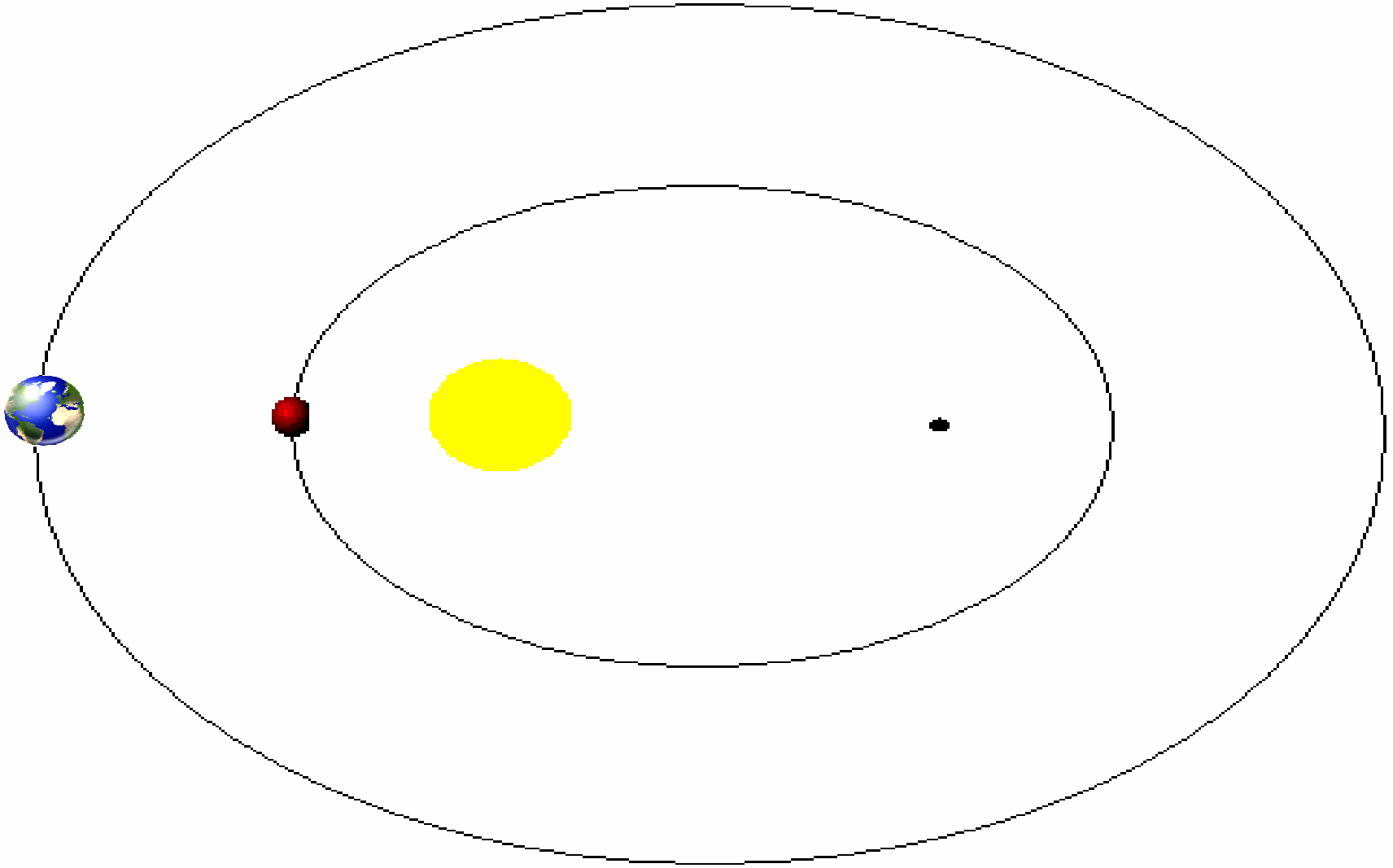
١- تدور الكواكب حول الشمس في مسار بيضاوي أو على شكل قطع ناقص "Elliptic Path"
وتكون الشمس إحدى بؤرتي المسار.


Sun

٢- الخط الواصل بين الكوكب والشمس يمسح مساحات متساوية في الأزمنة المتساوية. وبعبارة أخرى تزداد سرعة الكوكب كلما كان قريباً من الشمس.



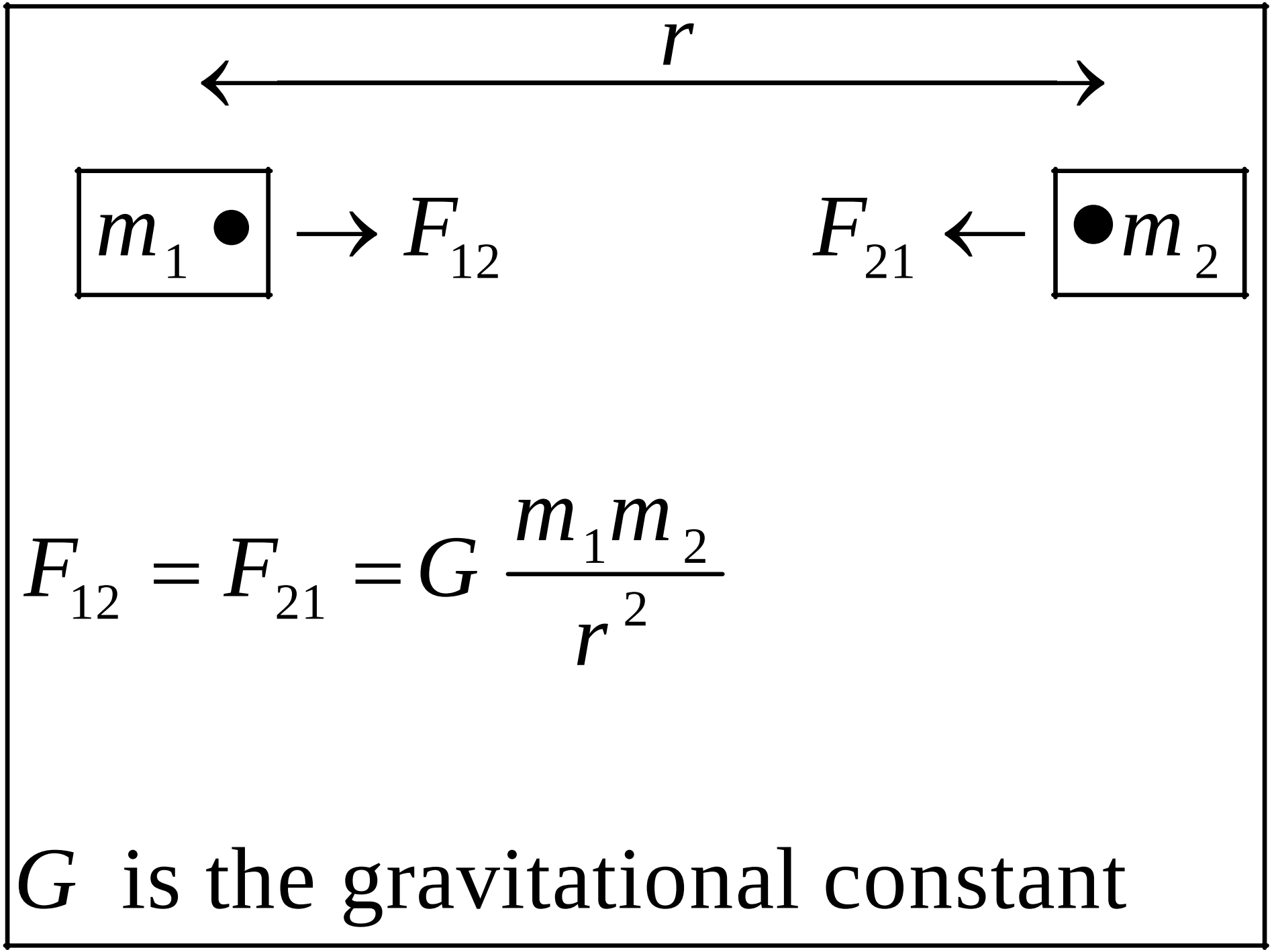
٣- الكوكب الأقرب إلى الشمس يكون زمن دورانه حول الشمس أقل من الأبعد عن الشمس.



قوانين نيوتن

قانون الجاذبية العام والذي ينص على أن :

كل جسيم مادي في الكون يجذب أي جسيم مادي آخر بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.



$$F_{12} = F_{21} = G\,\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

G is the gravitational constant

هذا بالإضافة لقوانين نيوتن الثلاثة وهم :

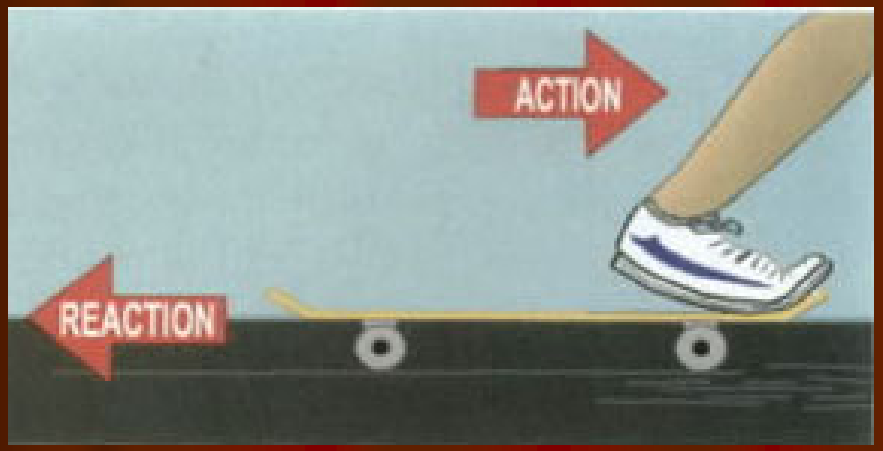
1. يستمر الجسم على حالته من السكون أو الحركة في خط مستقيم إلا إذا أثرت عليه قوة.

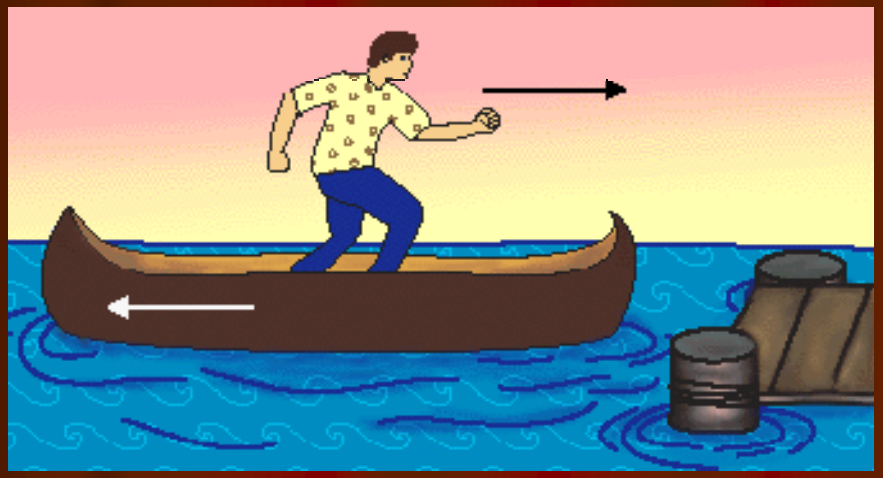
2. إذا أثرت قوة على جسم فإن التسارع الناتج يتناسب طردياً مع القوة المؤثرة وتتناسب عكسياً مع كتلة الجسم.
ورياضياً يوضع القانون بالشكل:

$$\vec{F} = m\,\vec{a}$$

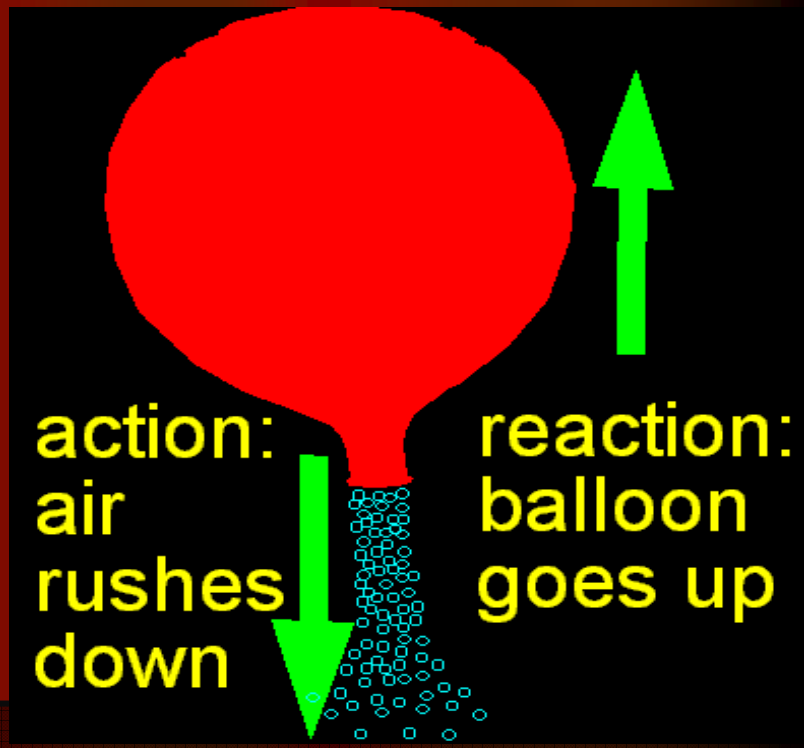
حيث $\vec{F}$ هي القوة المؤثرة، m كتلة الجسم و $\vec{a}$ هي التسارع.

A legend says Isaac Newton discovered gravity when he saw an apple fall from a tree.





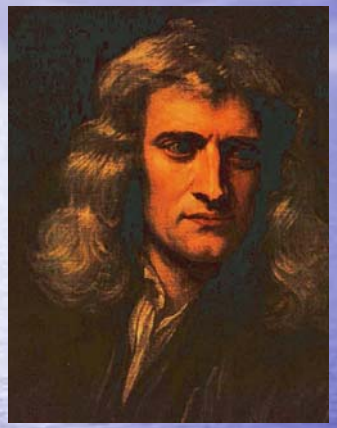
3. لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومضاد له في الاتجاه .



If I have ever made any valuable discoveries, it has been owing more to patient attention, than to any other talent.

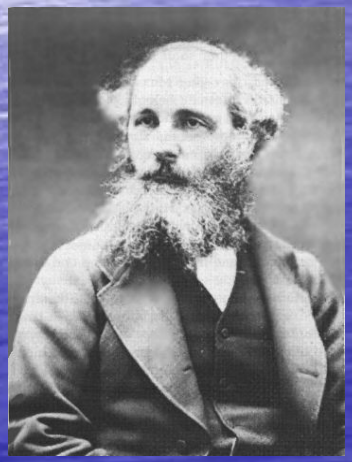
Isaac Newton

جميع قوانين الفيزياء مبنية على أساس:



1. قوانين نيوتن فى الميكانيكا وقانون الجاذبية.

2. معادلات ماكسويل لوصف الكهربية والمغناطيسية.



3. الميكانيكا الإحصائية لوصف حالة التجمعات الكبيرة من المادة.

صعوبات ظهرت وتضاربت مع قوانين الفيزياء التقليدية:

1. إشعاع الجسم الأسود (Black Body Radiation)
2. الظاهرة الكهروضوئية (Photoelectric phenomena)
3. مبادئ النظرية الذرية (Principle of atomic theory)
4. تشتت كمتون (Compton Scattering)
5. حيود جميع أنواع الجسيمات (Diffraction of Particles)
6. تجربة مايكلسون-مورلي (Michelson-Morely experiment)
7. دوران مستوى مدار كوكب عطارد (Orbit precession of Mercury)

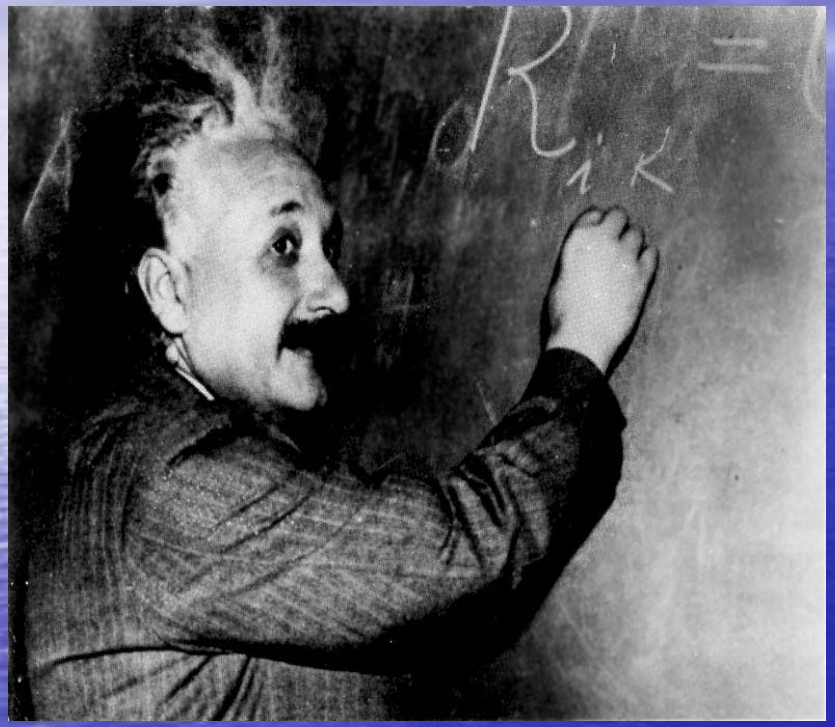
إن الصعوبات، من ١ إلى ٥، التي واجهت الفيزياء التقليدية أدت إلى تطوير علم جديد مبنى على بعض الافتراضات وسمي هذا العلم "ميكانيكا الكم "(Quantum Mechanics).

الصعوبة رقم ٦ أدت إلى ظهور النظرية النسبية لأينشتين والتي توافقت مع قوانين ماكسويل ولكن غيرت نظرتنا وفهمنا للزمن الفراغي وطورت قوانين نيوتن.

Science is a wonderful thing if one does not have to earn one's living at it.

Albert Einstein

النظرية النسبية الخاصة



وضعها آينشتاين في عام ١٩٠٥م، وهى تدرس حركة الأجسام المتحركة بسرعة منتظمة في خط مستقيم.

وقد بنيت النظرية على الفرضين التاليين:

1. سرعة الضوء في الفراغ لها نفس القيمة فى جميع المجموعات الإحداثية المتحركة بالنسبة لبعضها بسرعة منتظمة (إطارات مرجعية لبعضها البعض).

2. القوانين الطبيعية واحدة في جميع المجموعات الإحداثية المتحركة بسرعة منتظمة بالنسبة لبعضها.

ملحوظة: هذه النظرية لم يستطع آينشتاين تطبيقها على حركة الكواكب والنجوم، حيث أنها تتحرك بتسارع في مسارات دائرية أو بيضاوية.

وقد انبثق من هذه النظرية الظواهر
التالية

1. زيادة كتلة الجسم مع زيادة سرعته. إذا افترضنا أن كتلة جسم في حالة السكون هي m_o . إذا تحرك الجسم بسرعة مقدارها u فإن كتلته الجديدة " m " تعرف بالعلاقة :

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}}$$

حيث c هي سرعة الضوء في الفراغ. نلاحظ هنا أن كتلة الجسم تزداد مع زيادة السرعة. وعندما تصل سرعة الجسم إلى سرعة الضوء فإن كتلة الجسم تصبح مالانهاية. ولذلك تتطلب قوة لا نهائية لإكساب جسم سرعة تتساوى مع سرعة الضوء. من هذا نستنتج أنه لا يوجد جسم يتسارع حتى تصل سرعته إلى سرعة الضوء، وتكون سرعة الضوء هي النهاية العظمى للسرعة.

2. قِصر طول الجسم في اتجاه حركته (length of contraction) .
يعرف طول جسم متحرك بأنه المسافة بين موضعي بدايته ونهايته أنياً. إذا افترضنا أن الطول الحقيقي (Proper Length) لجسم في حالة السكون هو" L_o " . إذا تحرك الجسم بسرعة مقدارها "u" ، في اتجاه المحور السيني فرضاً، فإن طوله الجديد " L " في اتجاه حركته بالمحور السيني يعرف بالعلاقة :

$$L = L_o \sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}$$

حيث c هي سرعة الضوء في الفراغ. نلاحظ هنا أن طول الجسم المتحرك، والمقاسه بواسطة ملاحظ خارجي، يتقلص مع زيادة السرعة في اتجاه حركته فقط، وليس في أي اتجاه أخر. وعندما تصل سرعة الجسم إلى سرعة الضوء فإن طول الجسم ينعدم .

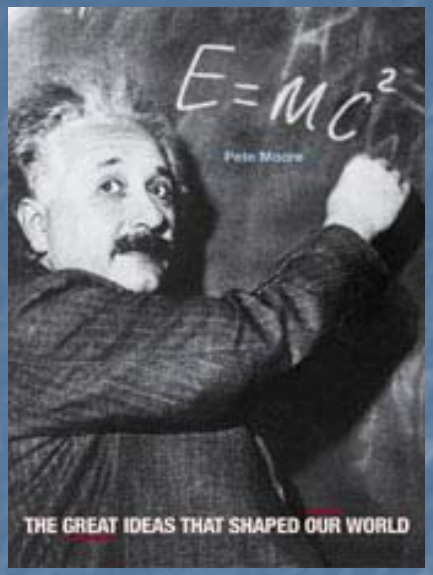
3. تمدد الزمن (Time Dilation). أوضح أن فرق الزمن في إطار يتحرك بسرعة "u" مقدارها بالنسبة إلي فرق الزمن "Δt_o" بإطار ثابت تتعين بالمعادلة :

$$\Delta t = \frac{\Delta t_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}}$$

ولهذا نجد أن فرق الزمن المقاس في إطار متحرك يظهر به بعض من التأخير عن فرق الزمن المقاس بإطار ثابت، ويسمي هذا بتمدد الزمن. ونتيجة لظاهرة تمدد الزمن فقد ظهرت مفارقة تدعى مفارقة التوأمين (Twin Paradox) ولم تحل إلا بظهور النظرية النسبية العامة.

مفارقة التوأمين وتعرف أيضاً مفارقة الزمن "Clock Paradox" معضلة مرتبطة بظاهرة تمدد الزمن التي انبثقت عن النظرية النسبية الخاصة. في هذه المسألة يظهر الفرق بين عمري توأمين أحدهما فضل الجلوس بالأرض يشاهد أخاه يرتحل في الفضاء بسرعة عالية تقترب من السرعة الضوء. وعندما يعود الأخ المسافر يجد أنه أصغر عمراً من أخاه الذي بقى على الأرض. وقد انحلت عقدة هذه المفارقة في النسبية العامة.

4 . تكافؤ الكتلة والطاقة الذي يعبر عنه بمعادلة الطاقة المشهورة التالية:



$$E = mc^2$$

حيث (E) هي الطاقة، (m) الكتلة، (c) سرعة الضوء في الفراغ. ويتضح من المعادلة أن الطاقة يمكن أن تتحول إلى كتلة، والكتلة يمكن أن تتحول إلى طاقة. ومن هنا نجد أن كمية هائلة من الطاقة تتولد من تحويل كمية ضئيلة من المادة، وذلك نتيجة لمربع سرعة الضوء بالمعادلة. لماذا ستظل الشمس ملايين السنين تشع حرارتها؟

النظرية النسبية العامة

- نشرها آينشتاين عام ١٩١٥م، وهى تدرس حركة الأجسام المتحركة بتسارع.

- وقد بنيت النظرية النسبية العامة على مبدأين أساسيين، وهما:

1. مبدأ التكافؤ (Priciple of equivalence) : وينص هذا المبدأ على عمومية السقوط الحر، بمعنى أن جميع الأجسام تسقط بنفس المعدل في مجال الجاذبية بغض النظر عن كتلها وتركيبتها المادية. وهو مبدأ استقرائي، مبني على الملاحظات التجريبية، وليست النظرية. ويمكن وضع هذا المبدأ بصيغ مختلفة ومنها :

- أنه لا توجد أي طريقة يستطيع بها مراقب في غرفة مغلقة أن يميز بها حركة الغرفة: هل هي نتيجة تأثير مجال جاذبي؟ أم هى تسارع نتيجة قوة خارجية؟

- أن الكتلة القصورية والكتلة التثاقلية متكافئتان، ولا يمكن التمييز بينهما.

- أن القوى التثاقلية (الجاذبة) تكافئ القوى القصورية.

- أن الإطار المتسارع يكافئ الإطار التثاقلي.

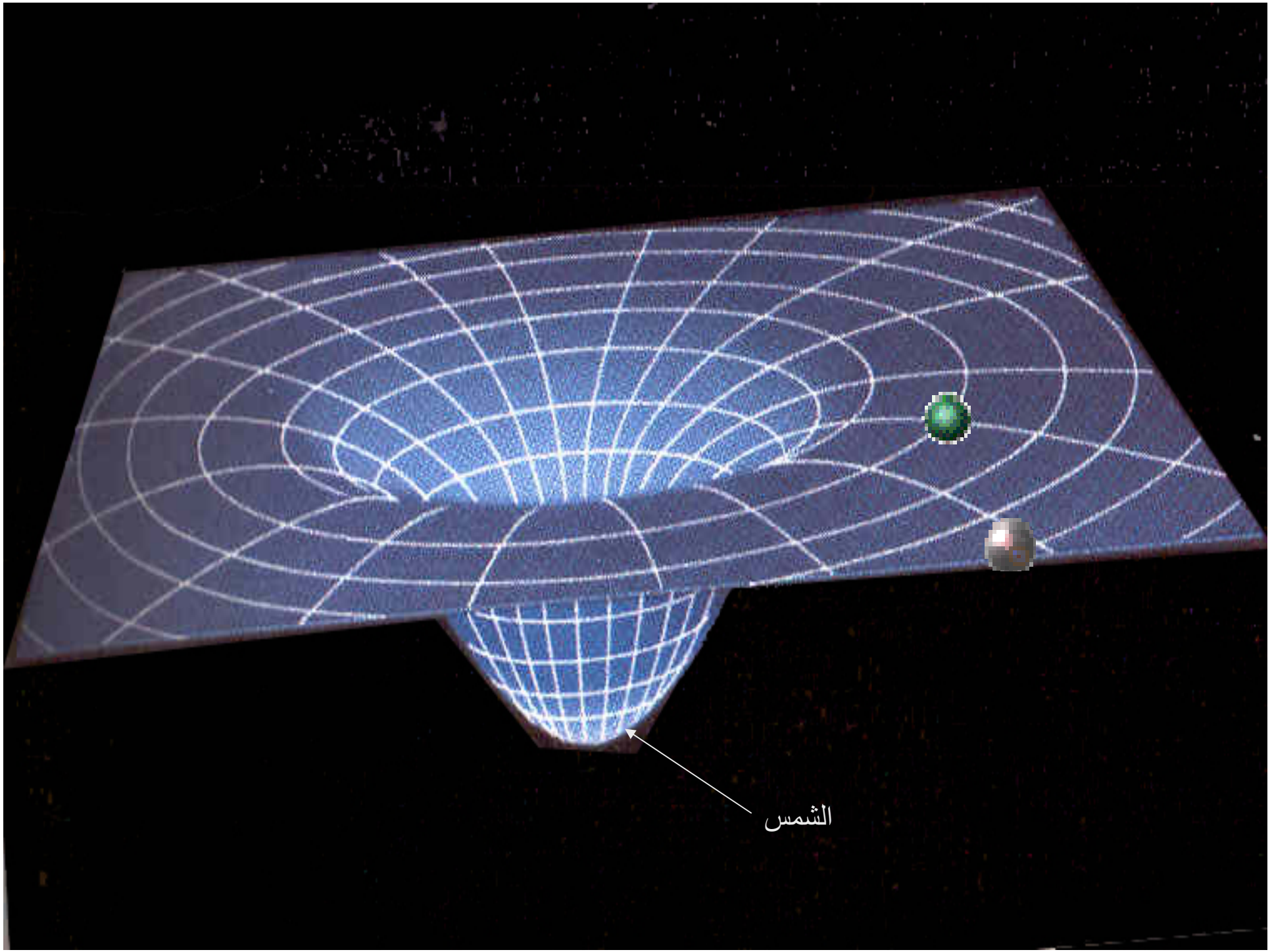
ولقد لوحظ أن الجاذبية تتسبب في تسارع الأجسام المتساقطة، ولكن لوحظ أيضاً من تطبيقات النظرية النسبية الخاصة أن الحركة تؤدي إلى تقلص الطول وتمدد الزمن. ولذلك فقد حاول آينشتاين أن يبرهن أن الجاذبية أيضاً يجب أن تؤثر على الزمكان.

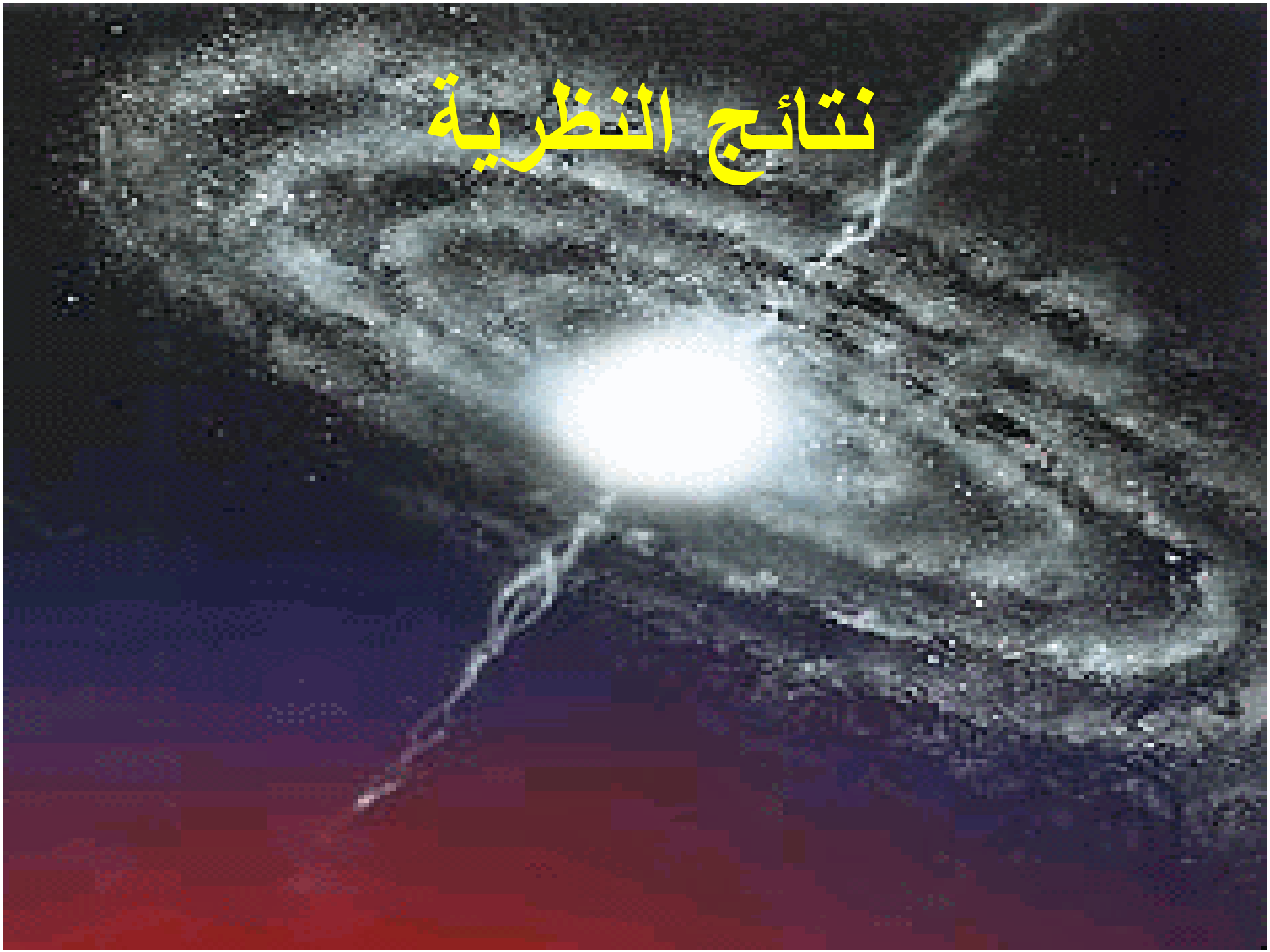
$$\left(g \text{ or } a \Rightarrow \frac{d^2 r}{dt^2} \right)$$

2. مبدأ التوافق (Principle of covariance): في النظرية النسبية العامة يجب أن توضع هذه القوانين بصورة عامة ومستقلة عن اختيارنا لأي إحداثيات خاصة، زمنية أو مكانية. وبلفظ آخر، فإن القوانين الفيزيائية يجب أن تتوافق، بمعنى أنها لا تتغير أو لا تتعارض، مع تغير نوع الإحداثيات الزمنية والمكانية المستخدمة. يتحقق هذا باستخدام الممتدات (Tensors).

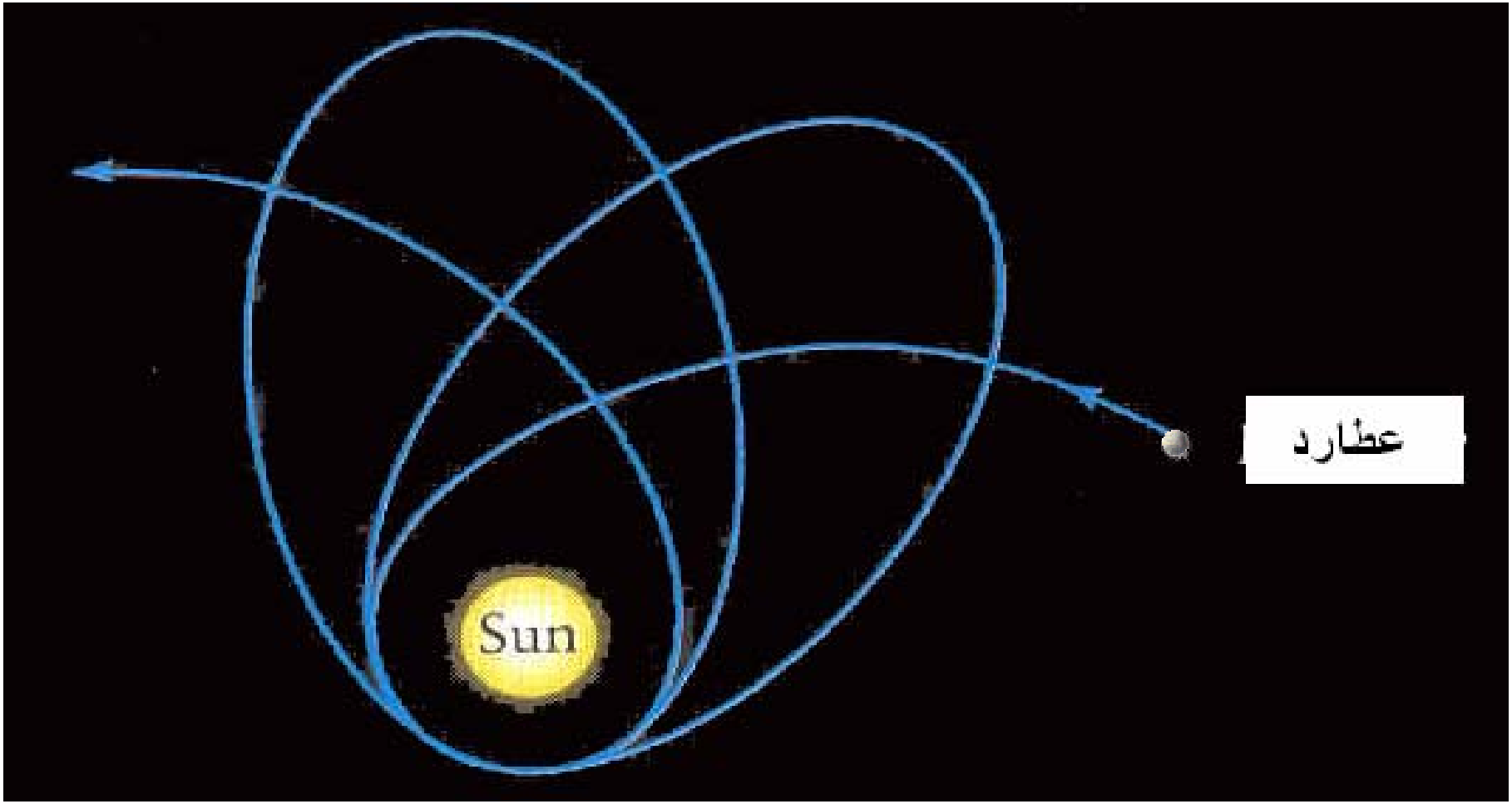
انحناء الفراغ (المكان) (Curvature of space) نتيجة لجسم تثاقلي

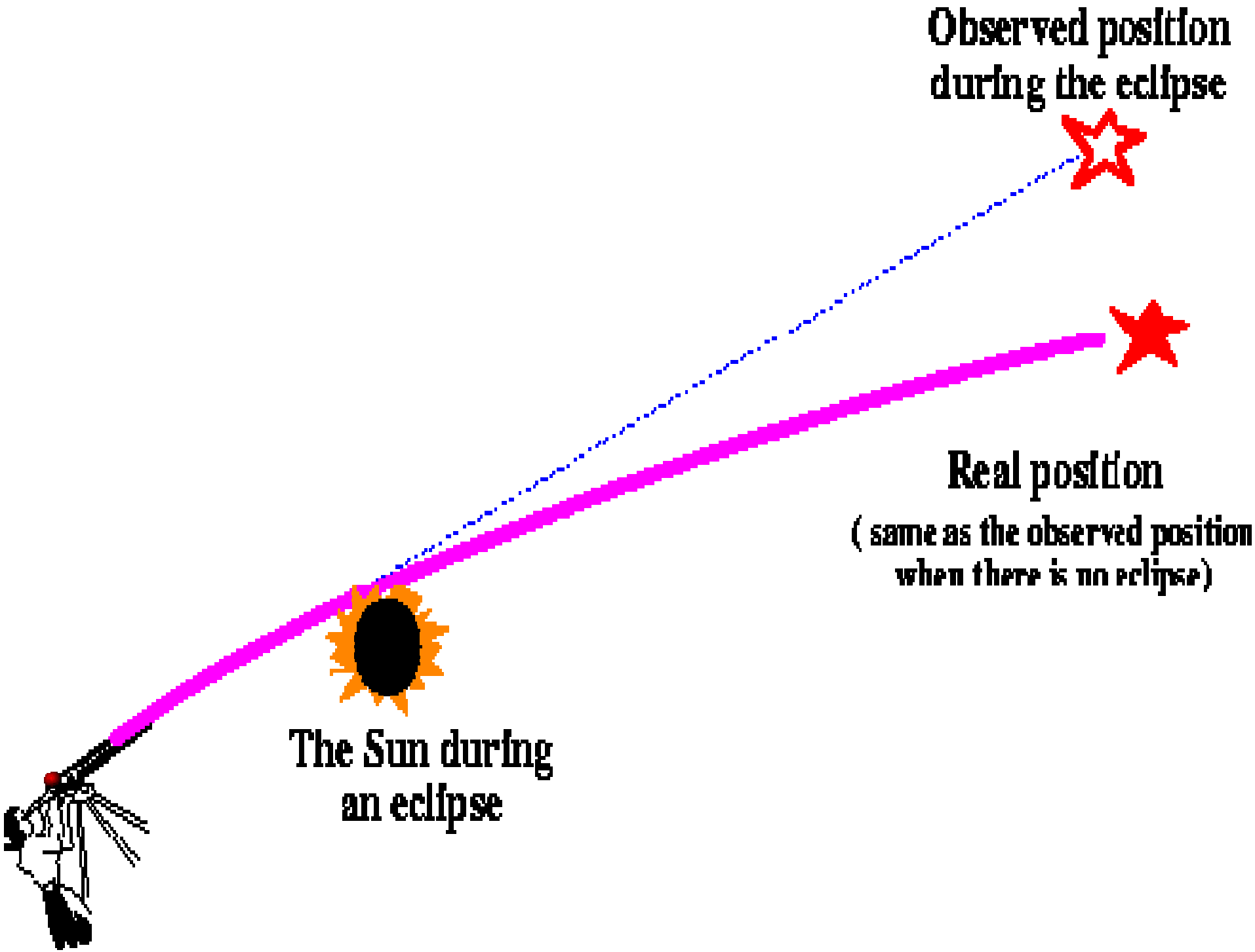
تخيل آينشتاين أن الجاذبية هى ناتجة لانحناء الزمكان. وهذا ناتج من أن فروض النظرية النسبية العامة تستعيض عن الجاذبية بدلالة هندسة الزمكان.


الشمس


نتائج النظرية

دوران مستوى المدار لكوكب عطارد (Orbit precession of Mercury)




Observed position
during the eclipse
Real position
(same as the observed position
when there is no eclipse)
The Sun during
an eclipse

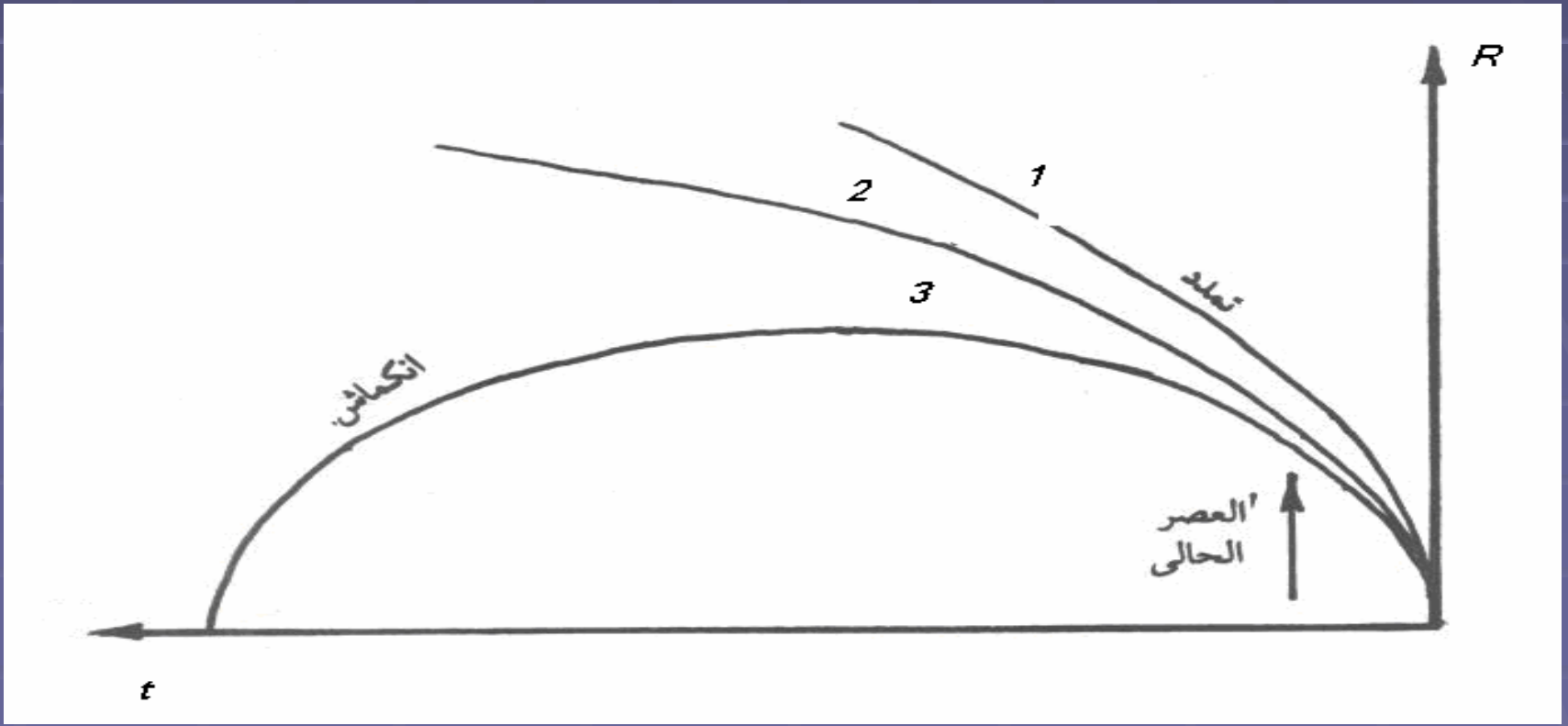
إزاحة الجاذبية الحمراء (Gravitational red shift)

very massive object
Blue light source
Red light observed

ملاحظة مهمة: وهي أننا يجب ألا نخلط بين إزاحة الجاذبية الحمراء وإزاحة دوبلر، حيث أن الأخيرة تتطلب حركة مصدر الضوء قربًا أو بعدًا من المراقب. وعلى العكس تماماً، فإن إزاحة الجاذبية الحمراء تتسبب من تمدد الزمن، ولا تتطلب أي حركة من المصدر أو المراقب .

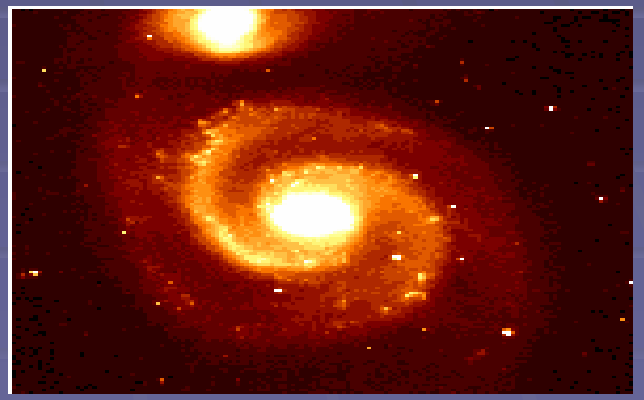
تنبأت نظرية النسبية العامة بأن الكون يتمدد إلى ما لا نهاية، أو ينكمش. ولم يستطع آينشتاين أن يتقبل هذه النتيجة، فأضاف للمعادلات ثابت سمي الثابت الكوني . وقد تخلى آينشتاين في وقت لاحق عن هذا الثابت، بل واعتبر إضافته أكبر خطأ في حياته.

تمدد أم إنكماش؟

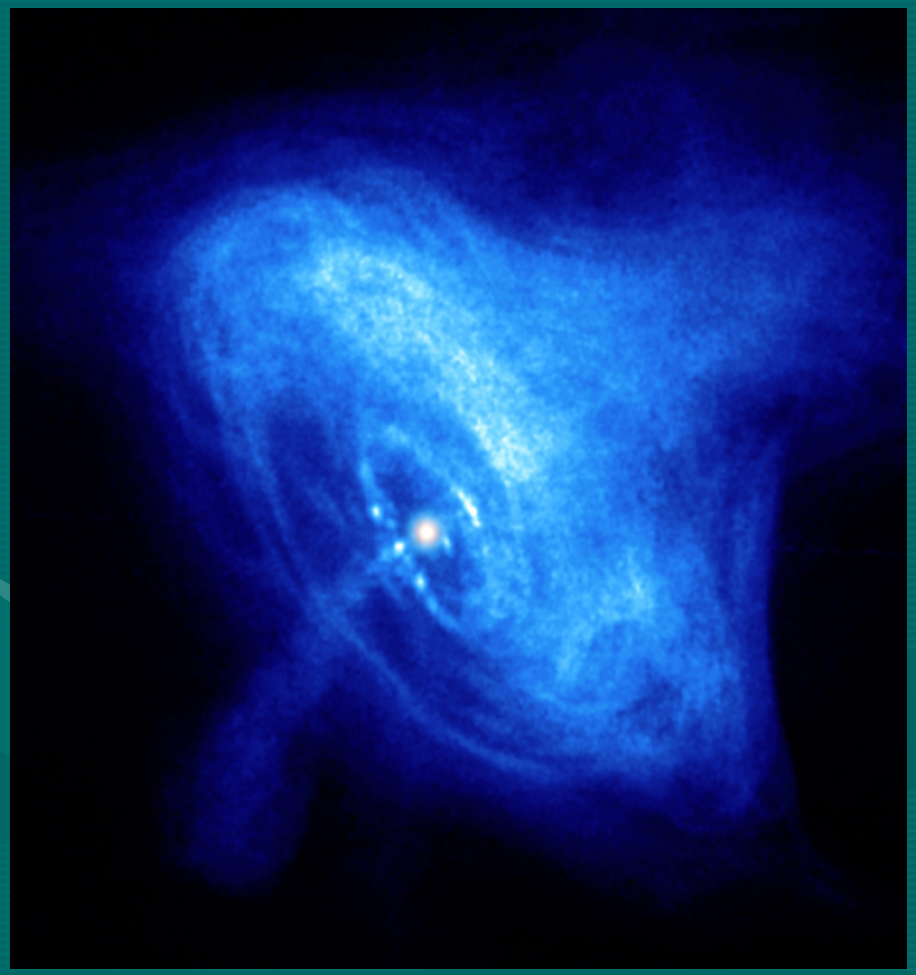


تنبأت نظرية النسبية العامة أيضاً بأنه في منظومة الزمكان يوجد منطقة لها صفات شاذة، أي تخالف القواعد والقوانين الفيزيائية. ولم يستطع آينشتاين أن يتقبل هذه النتيجة أيضاً، فأضاف بعض الشروط الحدودية للتخلص من النقطة الشاذة. وقد تم التعامل لاحقاً مع معادلات آينشتاين بدون هذه الشروط لتفسير بعض الظواهر مثل ظاهرة الثقوب السوداء . وهي منطقة في منظومة الزمكان لها صفات شاذة، أي تخالف القواعد والقوانين الفيزيائية، ولها قوة جاذبية جبارة يستحيل على أي شئ الإفلات من جاذبيتها بما في ذلك أشعة الضوء. لذلك تبدو هذه المنطقة غير مرئية. وهي تعتبر من النجوم التي أفِلت .

ثقب أسود

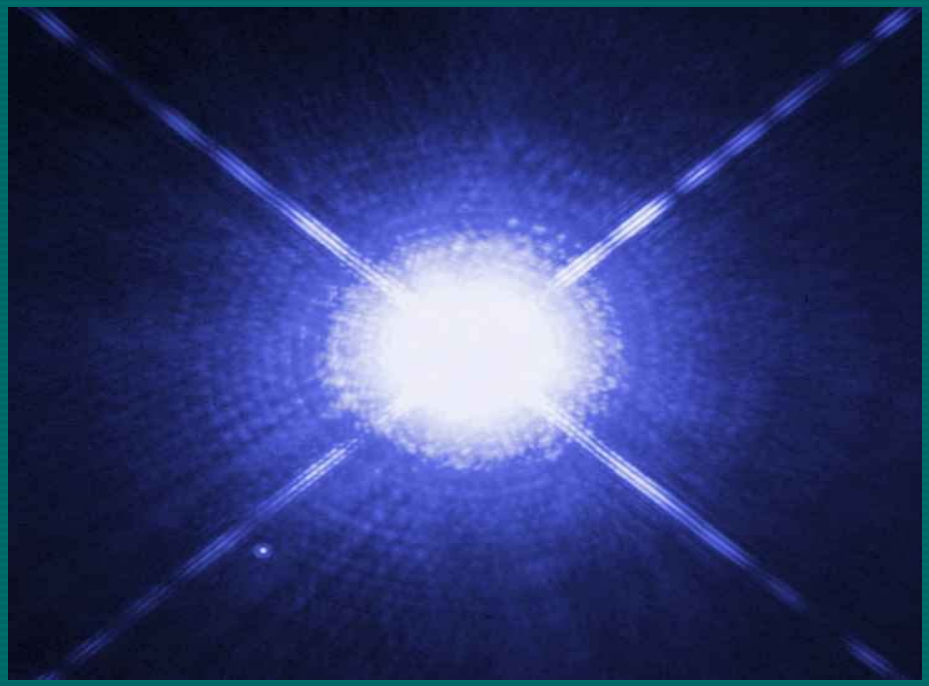


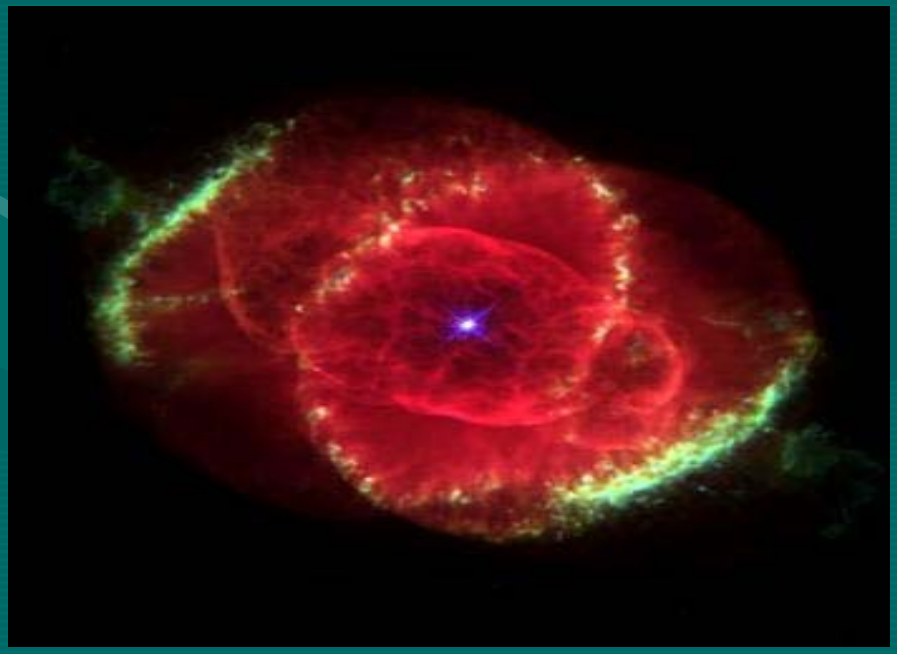
تطبيقات أخرى



1. النجم النيتروني (Neutron Star)

نجم وصل إلي مرحلة الشيخوخة. يتكون كلية فى الغالب من نيترونات، وهو صغير الحجم لا يزيد قطرة عن بضعة أميال وكثافته مرتفعة جداً.

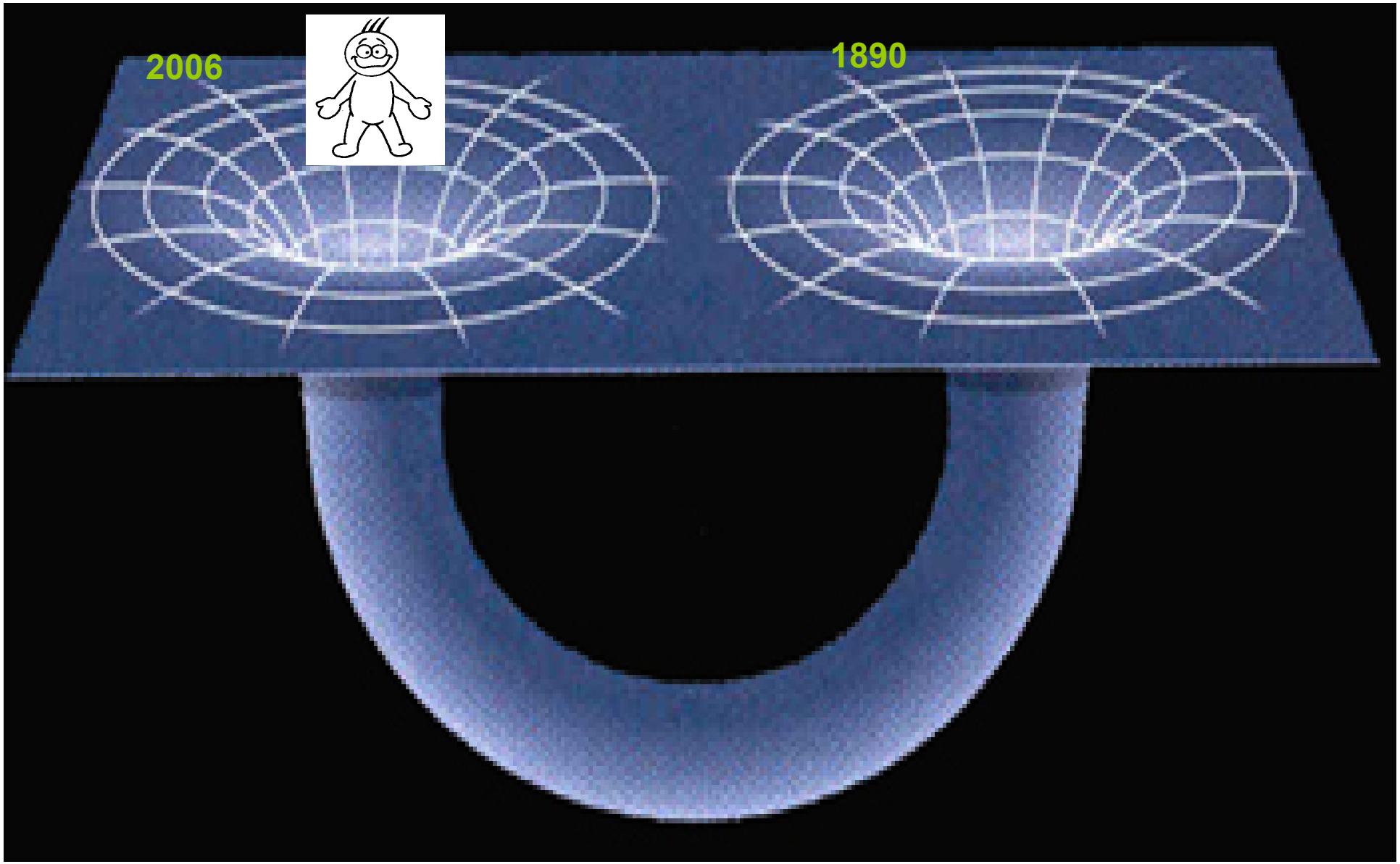




القزم الأبيض (White Dwarf)

نجم وصل إلي مرحلة الوهن.
يتكون كليةً في الغالب من إلكترونات، وكتلته أكبر قليلاً من كتلة الشمس ولكن حجمه أكبر قليلاً من حجم الأرض وكثافته مرتفعة جداً.

السفر الكوني عبر الزمان



If my theory of relativity is proven successful, Germany will claim me as a German and France will declare that I am a citizen of the world

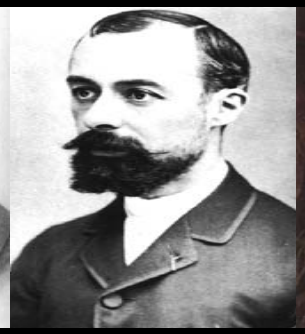
Albert Einstein

المراجع:

- من آيات الإعجاز العلمي في القرآن الكريم "السماء"، زغلول النجار، دار المعرفة، بيروت، ٢٠٠٥.
- المنهج الدراسي الأول لميكانيكا الكم، إبراهيم ناصر وعفاف السيد عبد الهادي، مكتبة النهضة المصرية، القاهرة، ٢٠٠٣.
- الكون والنظرية النسبية، إبراهيم ناصر وإبراهيم عبد الرحمن، تحت الطبع.
- السفر في الزمان الكوني (Cosmetic time travel: A scientific odyssey)، تأليف باري باركر، ترجمة مصطفى محمود سليمان، الهيئة المصرية العامة للكتاب، الألف كتاب الثاني، ١٩٩٩.
- المفهوم الحديث للمكان والزمان (Space and Time in the Modern Universe)، تأليف ب. ديفيز، ترجمة السيد عطا، الهيئة المصرية العامة للكتاب، الألف كتاب الثاني ٢٢٧، ١٩٩٦.
- آينشتاين والنسبية، مصطفى محمود، دار المعارف، ٢٠٠٠.

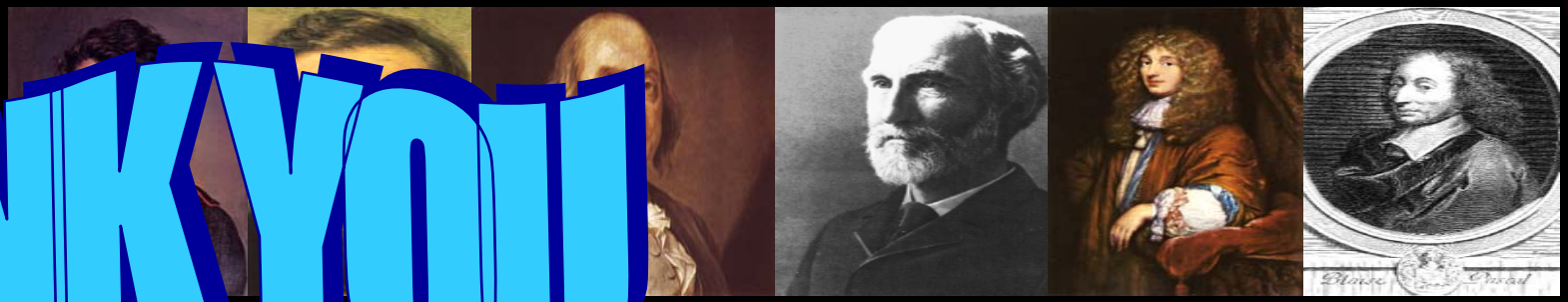
FROM ALL THE SCIENTISTS

L. Boltzmann


H.A. Bequerel

R. Boyle

Lord Kelvin



J.W. Gibbs

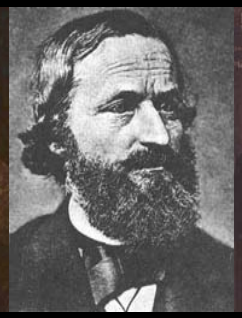
Ch. Huygens

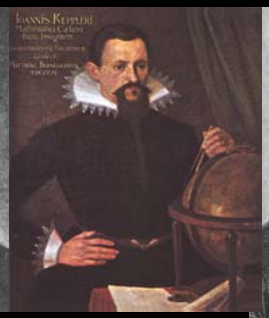
B. Pascal

A. Volta

J.C. Maxwell

I. Newton


G.R. Kirchoff


J. Kepler

J.P. Joule

J.H. Lambert

M. Farady