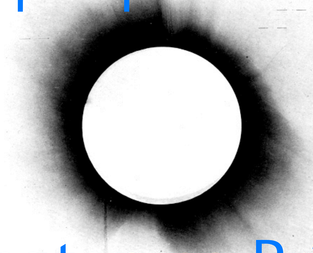
Um eclipse para a história:



Eddington no Príncipe

Albert Einstein publica em 1915 a sua teoria da Relatividade Geral, revolucionando a compreensão da Gravitação e da Física como um todo.

Em 1919, o astrónomo britânico Arthur Eddington coloca esta teoria à prova, observando um eclipse total do Sol na ilha do Príncipe e em Sobral (Brasil).

Os resultados confirmam a ideia genial de Einstein e colocam a ilha do Príncipe no mapa das grandes descobertas intelectuais da Humanidade!

Em 2009 comemora-se o Ano Internacional da Astronomia, declarado pela Organização das Nações Unidas: celebra-se assim o quadricentenário da publicação da obra *Astronomia Nova*, do astrónomo alemão Johannes Kepler, das primeiras observações do italiano Galileu Galilei com um telescópio, e os 90 anos da expedição histórica de Eddington.

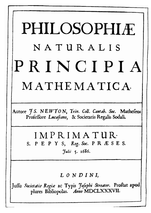
Teoria da Gravitação Universal

Desenvolvida por Sir Isaac Newton(1687)

Os corpos caem porque a Terra os atrai

- 2 corpos quaisquer com massas M e m, separados por uma distância r, atraem-se com força F_G :

$$F_G = -G\frac{Mm}{r^2}$$



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA

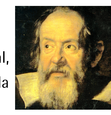
Autore J. S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Jul. 5. 1686.

LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

- Nada une os dois corpos: é uma acção à distância

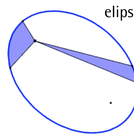
Princípio da equivalência (Galileu):



- Corpos caem com aceleração igual, independentemente da sua composição, posição ou velocidade

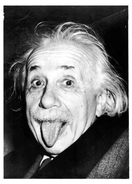
Gravitação Universal→ Leis de Kepler (1605):

- Órbitas dos planetas (e não só): elipses com Sol num dos focos



- Distância média ao Sol R e período de translação T relacionados através de $R^3 \propto T^2$
- Planetas varrem áreas iguais em tempos iguais

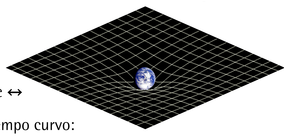
Teoria da Relatividade Geral



Criada por Albert Einstein (1915)

Expande Relatividade Restrita, que diz que leis da Física não dependem da velocidade (constante) dos referenciais usados pelos observadores

Inclui referenciais acelerados e a Gravitação

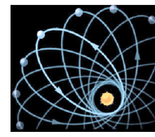


Gravidade ↔

Espaço-tempo curvo:

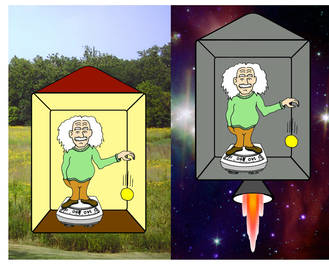
- Matéria e energia deformam linhas rectas
- Partícula segue caminho mais curto entre 2 pontos, que não é recta (é uma curva chamada geodésica)

- Geodésica elíptica → órbitas
- Lento avanço da rotação da órbita: avanço da precessão do perihélio



Princípio da equivalência:

- Gravidade é equivalente a aceleração



Um eclipse para a história: Eddington no Príncipe

Deflexão da luz

Segundo a Gravitação Universal:

- Luz comporta-se como partículas muito rápidas
- Curva devido à atração gravitacional do Sol
- Previsão: desvio de 0.875 segundos de arco

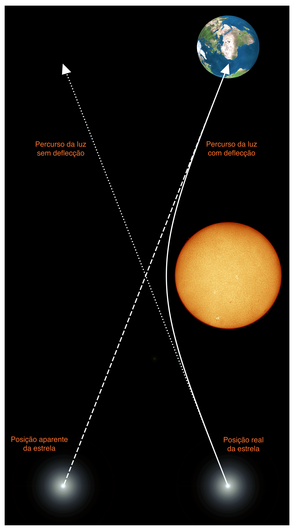
Segundo a Relatividade Geral:

- Luz curva devido à deformação do espaço-tempo

- A velocidade da luz ($c = 300\,000\ km/s$) é limite máximo → luz é "diferente" da restante matéria

- Geodésica seguida por luz ≠ trajectória de corpos
- Previsão: desvio de 1.750 segundos de arco

Previsão Relativística = 2 x Previsão Newtoniana!



Sir Arthur Eddington

28 de Dezembro 1882: Nasce em Kendal, Inglaterra

1902: Ingressa na Universidade de Cambridge

1905: trabalha no famoso Laboratório Cavendish

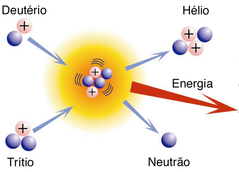
1906: Assistente do Astrónomo Real no Observatório Real de Greenwich

1913: Director do Observatório e membro da Real Sociedade de Londres

1918: Pacifista e muito religioso (*quaker*), recusa lutar na 1ª. Guerra Mundial; defende colaboração científica com colegas dos países inimigos

1916: Desenvolve primeiro modelo do interior do Sol; defende que a energia solar provém da fusão nuclear:

- Átomos ionizados de hidrogénio, agitados pela temperatura muito elevada no interior do Sol



- Pressão enorme comprime os átomos entre si

- Um átomo de deutério colide com um de trítio (isótopos de hidrogénio (*H*)) e fundem-se num átomo de hélio (*He*) que liberta energia luminosa segundo a famosa equação de Einstein

$$E = \Delta mc^2$$

sendo $\Delta m = m_{He} - 2m_H$ a diferença entre as massas

29 de Maio de 1919

Organiza com o Astrónomo Real Frank Dyson as expedições ao Sobral (Brasil) e ilha do Príncipe para observar eclipse solar total e medir deflexão da luz

- Roça Sundy, onde se realizou a experiência

- Zona de ocultação total do Sol

6 de Novembro de 1919: Numa reunião da Real Sociedade de Londres, o físico polaco Ludwig Silbertstein diz a Eddington:

"*Você é um dos três homens que compreende a Relatividade Geral*"

ECLIPSE SHOWED GRAVITY VARIATION

Diversion of Light Rays Accepted as Affecting Newton's Principles.

HAILED AS EPOCHMAKING

British Scientist Calls the Discovery One of the Greatest of Human Achievements.

1920: Publica resultados a confirmar Relatividade Geral e Einstein torna-se mundialmente conhecido

1920 a 30: Escreve várias obras de divulgação científicas e ensaios filosóficos sobre ciência

22 de Novembro de 1944: Morre em Cambridge

Um eclipse para a história: Eddington no Príncipe

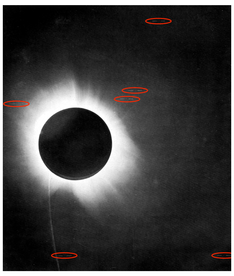
Porquê um eclipse?

Para observar uma estrela e comparar a sua posição...

- real: a luz viaja em linha recta (noite)
- aparente: a luz curva devido à influência gravitacional do Sol (dia)

Sol não permite ver estrelas... excepto num eclipse!

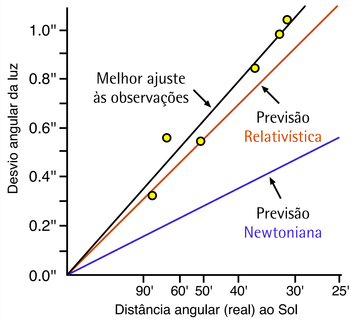
Luz curva mais se passar muito próximo do Sol



- Fotografia do eclipse de 1919 obtida no Príncipe, assinalando posição real e aparente de seis estrelas

Resultados

- Símbolos ● assinalam observações de Eddington
- Luz curva mais se passar muito próximo do Sol

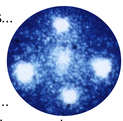


Resultados comprovam Relatividade Geral!

"Lentes" gravitacionais

Luz de estrelas "cobertas" por galáxias é desviada

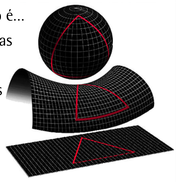
- Galáxias funcionam como lentes... gravitacionais!
- Estrela pode ter várias imagens



As lentes gravitacionais permitem...

- Focar imagem de objectos mais distantes (funciona como telescópio)
- Determinar massa de galáxias e outros objectos muito massivos no Universo
- Estudar a expansão do Universo desde o *Big-Bang*

- Determinar se o Universo é...
  - fechado (rectas paralelas aproximam-se)
  - aberto (rectas paralelas afastam-se)
  - plano (rectas paralelas mantêm distância)



Observações sugerem que o Universo é plano

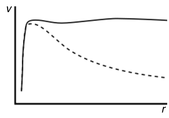
Matéria Escura

A matéria "normal" (estrelas, Terra, Lua e seres vivos, *etc.*) é pequena parte da massa total de uma galáxia:

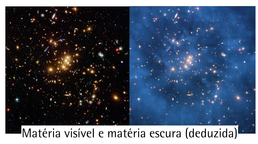
- As estrelas na periferia da galáxia movem-se em torno do centro mais depressa do que o esperado: a velocidade *v* devia diminuir com a distância ao centro r, mas é aproximadamente constante!

$$\frac{mv^2}{r} = G\frac{Mm}{r^2}$$

$$\rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$



- Matéria normal é insuficiente para que tenham surgido galáxias, enxames e super-enxames de galáxias quando o Universo era muito jovem
- Galáxias desviam a luz mais do que o esperado: há mais matéria a curvar o espaço-tempo!



Matéria visível e matéria escura (deduzida)

- Lentes gravitacionais permitem sondar quantidade e características da matéria escura

Jorge Páramos e Orfeu Bertolami Instituto Superior Técnico

SCIENTISTS IN THE WORLD

DESCOBRE O TEU UNIVERSO — ANO INTERNACIONAL DA ASTRONOMIA 2009

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia — MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

Bibliografia

"Einstein e a descrição unificada da natureza", O. Bertolami e J. Páramos, *Gazeta da Física*, Vol. 28-3 (2005)

"O Livro das Escolhas Cósmicas", O. Bertolami, *Colecção Ciência Viva*, Ed. Gradiva (2006)

Ligações

www.siw.org www.astronomia2009.org web.ist.utl.pt/orfeu.bertolami