



CURSO AVANÇADO EM  
ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA

NO

OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DE LISBOA

PARADOXOS DA TEORIA DA RELATIVIDADE

MÓDULO: CAOAL–TR

Paulo Crawford



Março de 2014

# Conteúdo

Objectivos e Estrutura do Curso . . . . .	2
<b>Programa do Curso</b> . . . . .	<b>3</b>
1: Relatividade Restrita . . . . .	3
1.a- Cinemática Relativista: . . . . .	3
1.b- Dinâmica e colisões de partícula: . . . . .	3
2: Como construir uma máquina do Tempo . . . . .	3
2.a- Viagens no Espaço-tempo . . . . .	3
2.b- Como resolver os paradoxos do tempo . . . . .	3
3: O Espaço-tempo curvo: do GPS aos Buracos Negros . . . . .	4
3.a- O Princípio da Equivalência: . . . . .	4
3.b- O Funcionamento do GPS. . . . .	4
4: O <i>Big Bang</i> e a Expansão do Universo . . . . .	4
4.a- Os Primeiros Minutos . . . . .	4
4.b- A Dinâmica e Evolução. . . . .	4

Este curso destina-se a qualquer pessoa interessada em Astronomia. Idealmente, o curso adapta-se muito bem a quem já frequentou um curso introdutório de Astronomia no OAL, mas é perfeito para pessoas ávidas de conhecimento. Familiarização com noções de física básica poderá ser uma vantagem e por isso o curso é muito recomendado a docentes do EBS.

*Se tem vontade de conhecer o pensamento de Einstein, a Teoria da Relatividade e suas aplicações à Cosmologia Moderna... apareça!*

## Objectivos e Estrutura do Curso

Serão introduzidos os conceitos de tempo relativo, a relatividade da simultaneidade de acontecimentos distantes, o paradoxo dos gémeos e os paradoxos associados às viagens no tempo, bem como a existência de velocidades superiores à da luz, etc.

Falaremos também de viagens no tempo, buracos de minhoca e buracos negros. Explicaremos o papel da teoria da Relatividade no funcionamento do GPS e mostraremos como as velocidades de recessão dos grupos de galáxias, no quadro da expansão do universo, poderão ser muito maiores que a velocidade da luz.

Pretende-se com este curso mostrar a importância da teoria da Relatividade na aplicação ao GPS ou na interpretação dos Modelos Cosmológicos de Big Bang.

Serão fornecidos materiais de estudo.

**Aulas:** O curso é constituído por 4 aulas de 2h30m cada, que decorrem aos sábados das 10:00 às 12:30 no *Edifício Leste* do OAL, de 8 a 29 de Março de 2014. Não haverá alteração do horário e dias das aulas. Contudo, se por razão de força maior for combinada uma substituição, esta será também informada por email aos participantes.

**Propina:** o valor total é de 80€ pagos no acto de inscrição.

**Inscrições:** são *exclusivamente* efectuadas na página web

<http://oal.ul.pt/educacao-e-divulgacao/cursos-de-astronomia-e-astrofisica/>

**Contactos:** Suzana Ferreira, [cursos@oal.ul.pt](mailto:cursos@oal.ul.pt) (secretariado).

Edifício Leste, (<http://oal.ul.pt/inicio/localizacao-e-como-chegar/>)

Observatório Astronómico de Lisboa

Tapada da Ajuda

1349-018 Lisboa

Tel.: (+351) 21 361 67 34

Fax: (+351) 21 361 67 52

# Programa do Curso

## Aula n<sup>o</sup> 1

### RELATIVIDADE RESTRITA

- Cinemática Relativista:
  - Os postulados de Einstein (Princípio da Relatividade e Invariância da velocidade da luz no vácuo).
  - Carácter relativo do conceito de simultaneidade para acontecimentos distantes.
  - Transformações de Lorentz entre observadores inerciais.
  - Composição de velocidades.
  - Consequências cinemáticas. Exemplos de dilatação do tempo e contracção do espaço.
- Dinâmica e colisões de partícula:
  - Vida média das partículas instáveis. Aceleradores de partículas.
  - Observadores acelerados em Relatividade Restrita.
  - Caso particular de aceleração própria constante e a existência de horizontes, tipo buraco negro.

## Aula n<sup>o</sup> 2

### COMO CONSTRUIR UMA MÁQUINA DO TEMPO

- Viagens no Espaço-tempo
  - Velocidades superiores à da luz no vácuo. Taquiões
  - Como visitar o futuro. Ciência ou ficção.
  - Como visitar o passado. Buracos de minhoca.
  - Buracos de minhoca transitáveis.
- Como resolver os paradoxos do tempo
  - Ideias e soluções.

### Aula n<sup>o</sup> 3

#### O ESPAÇO-TEMPO CURVO: DO GPS AOS BURACOS NEGROS

- A Física do Espaço-tempo curvo.
- O Princípio da Equivalência:
  - Referenciais inerciais locais (RIL).
  - Força Gravitica e curvatura do espaço-tempo.
  - Campo gravitacional estático com simetria esférica.
  - Deslocamento para o vermelho e encurvamento dos raios luminosos.
- O Funcionamento do GPS.
  - O avanço dos relógios dos satélites.
- O tempo nas proximidades de um buraco negro.
- A queda num buraco negro.

### Aula n<sup>o</sup> 4

#### O *Big Bang* E A EXPANSÃO DO UNIVERSO

- Uma expansão desacelerada.
- Os Primeiros Minutos
  - A época inflacionária.
  - A nucleosíntese cósmica.
- A Dinâmica e Evolução.
  - Dimensão e Idade do Universo.
  - A energia escura e a expansão acelerada do Universo

Paulo Crawford  
(Professor e Investigador da  
FCUL – CAAUL)