Curso Avançado em Astronomia e Astrofísica do Observatório Astronómico de Lisboa

Enigmas e Paradoxos da Teoria da Relatividade

Paulo Crawford

Início a 7 de Setembro de 2013

Objectivos e Estrutura do Curso

Nos últimos anos têm surgido na literatura da especialidade vários trabalhos sobre “Máquinas do Tempo", isto é, construções geométricas do espaço-tempo, soluções das equações de Einstein da Gravitação, que admitem curvas temporais fechadas, ou sejam, curvas ao longo das quais qualquer observador que as percorram poderia re-visitar o seu passado, e portanto, viajar no tempo. Na sequência dessa discussão voltaram a aparecer artigos sobre o chamado **paradoxo dos gémeos**, que tanta tinta já fizeram correr. A primeira vez que esta questão foi debatida foi durante a Primeira Conferência de Solvay realizada em Bruxelas em 1911. As Conferências de Solvay, financiadas pelo rico industrial belga, Ernest Solvay, eram consideradas as conferências científicas mais importantes da época pois reuniam alguns dos cientistas mundiais mais eminentes. Note-se que naquela época não existia a profusão de Congressos Científicos que existe actualmente. Nessa primeira conferência, o físico francês Paul Langevin anunciou uma simples experiência de pensamento que ponha à prova algumas das aparentes contradições da TRR. Einstein tinha já feito menção dos estranho paradoxos relacionados com a dilatação do tempo. Esta conferência, deu a Einstein a primeira oportunidade de encontrar e trocar ideias com alguns dos maiores físicos do seu tempo. Na sua experiência de pensamento Langevin considera dois gémeos que vivem na Terra. Um deles - o viajante - afasta-se da Terra a uma velocidade próxima da velocidade da luz e mais tarde regressa à Terra à mesma velocidade para verificar que era agora mais jovem que o seu gémeo sedentário, e tanto mais quanto maior fosse a sua velocidade.
São estas e outras questões que vamos discutir no curso, começando por analisar o conceito de tempo absoluto e de tempo relativo, bem como explicar o carácter relativo da simultaneidade de acontecimentos distantes, para depois compreender que o chamado “paradoxo dos gémeos"é um falso paradoxo. Veremos ainda que os outros paradoxos, associados às viagens no tempo, ocorrem sempre que estamos na presença de velocidades superiores à da luz ou a existência de energias exóticas. Na sequência destas questões aproveitamos para clarificar alguns dos enigmas associados aos buracos negros e ao Big Bang. Em resumo:

Falaremos de viagens no tempo, buracos de minhoca (“wormholes"), buracos negros e de vários tipos de horizontes. 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.

O curso constituído por 4 aulas de 2h30m cada, que ocorrem aos sábados entre as 10:00 e as 12:30.

Programa do Curso

Aula n° 1

Relatividade Restrita

- Cinemática Relativista:
  - O Princípio da Relatividade e a Invariância da velocidade da luz no vácuo (Os postulados de Einstein).
  - Carácter relativo do conceito de simultaneidade de acontecimentos distantes.
  - Observadores (inerciais) que se deslocam com velocidade constante (Transformações de Lorentz).
  - Composição de velocidades.
  - Consequências cinemáticas: a dilatação do tempo e a contracção do espaço. Exemplos.
- A Invariância das leis físicas:
  - Aceleradores de partículas e a vida média das partículas instáveis.
  - A relação $E = mc^2$ e a conservação da energia-momento.
  - Observadores acelerados na teoria da Relatividade Restrita.
  - O caso particular da *aceleração própria* constante e a existência de horizontes, tipo buraco negro em relatividade restrita.

Aula n° 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. Túneis no espaço-tempo (*wormholes*).
  - Buracos de minhoca transitáveis.
- Como resolver os paradoxos do tempo:
  - Viagens ao futuro e viagens ao passado.
  - Tipos de paradoxos.
  - Como conciliar a causalidade e o livre arbítrio.

Aula n° 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 Gravítica e curvatura do espaço-tempo
  - Campo gravitacional estático com simetria esférica.
  - Deslocamento para o vermelho e encurvamento dos raios luminosos.
- O Funcionamento do GPS:
  - Os três módulos que constituem do GPS.
  - A geometria de Schwarzschild.
  - O avanço dos relógios dos satélites.
- As propriedades de um buraco negro:
  - A existência de um horizonte
  - O tempo nas proximidades do horizonte
  - Órbitas em torno de um buraco negro
  - A queda num buraco negro

Aula n° 4

O *Big Bang* e a Expansão do Universo

- Dinâmica e Evolução do Universo:
  - Hubble e o Universo em expansão.
  - O raio de Hubble e os horizontes. Dimensão e Idade do Universo.
  - A radiação cósmica de fundo (RCF).
  - Os enigmas do Universo e a matéria escura.
  - A energia escura e a expansão acelerada do Universo
- Os Primeiros Minutos:
  - A época inflacionária.
  - A nucleosíntese cósmica.

Paulo Crawford
(Investigador do CAAUL-FCUL)