



## ***Revista do Núcleo de Física do I.S.T.***



## **Entrevista com o Professor Orfeu Bertolami**



*O que é que um físico português faz hoje em dia?  
Gostarias de saber o que o futuro te reserva?  
Então vem conhecer o que os Centros de Investigação  
ligados ao Departamento de Física te têm para oferecer !*

## Ficha Técnica

**Pulsar:** Uma publicação do NFIST - Núcleo de Física do IST

**Sede:** Instituto Superior Técnico, Edifício Central, Sala de Alunos da LEFT.

Av. Rovisco Pais, 1096 LISBOA Codex

Telefone: 218419082

e-mail: [pulsar@fisica.ist.utl.pt](mailto:pulsar@fisica.ist.utl.pt)

**Site:** [www.fisica.ist.utl.pt/pulsar](http://www.fisica.ist.utl.pt/pulsar)

**Director:** Manuel João Mendes

**Secretário:** Jorge Miguel Vieira

**Gabinete de Artigos:** Filipe Cardoso e Filipa

Campos Viola

**Gabinete de Imagem:** Marta Morgado e Filipe

Marques

**Gabinete de Promoção e Divulgação:** João

Caiado Figueiredo e Joana Loureiro

**Responsável pelo sistema de Refereeing:**

Francisco Feijó Delgado

**Agradecimentos:** Prof. Manuel Alves Marques,

Prof. Carlos Fiolhais, Samuel Freitas Martins

**Tiragem:** 800 exemplares

Edição de Junho de 2003 - Número 19

## ÍNDICE

- <i>Editorial</i>	3
- <i>Entrevista ao Professor Orfeu Bertolami</i>	4
- <i>1ª Escola de Astrofísica e Gravitação</i>	7
- <i>Ondas Gravitacionais</i>	8
- <i>A minha experiência no LIP</i>	10
- <i>Viagens no tempo</i>	12
- <i>Um Summer Student no CERN</i>	15
- <i>AJC: A Juventude ao Encontro da Ciência</i>	16
- <i>Carta ao Editor</i>	17
- <i>CFN: O limiar do conhecimento ao serviço do Homem</i>	18
- <i>GOLP - Grupo de Lasers e Plasmas</i>	20
- <i>Info NFIST / Astro</i>	21
- <i>Secção Cultural:</i>	22
- <i>Cartoons</i>	
- <i>Puzzles e Enigmas</i>	
- <i>Bertolíadas</i>	
- <i>BD</i>	

## Apoios:



laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

**FCT** Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DO ENSINO SUPERIOR  
Portugal

Apoio do Programa Operacional "Ciência, Tecnologia, Inovação" (POCTI) do Quadro Comunitário de Apoio III.

# EDITORIAL



**Manuel Mendes**  
***pulsar@fisica.ist.utl.pt***

**N**o passado mês de Maio o Pulsar fez 8 anos de existência! Desde o seu primeiro lançamento, o Pulsar tem sido sempre um imprescindível motor impulsionador quer do NFIST, quer do próprio curso de Física.

Inicialmente tínhamos apenas uma tiragem de 250 exemplares a preto e branco, entretanto houve períodos mais produtivos e outros menos. No entanto, conseguimos subsistir nas piores alturas e agora possuímos um projecto que certamente terá um grandioso futuro pela frente. A apresentação gráfica tem vindo a melhorar substancialmente e este ano conseguimos atingir um objectivo há muito ambicionado: a Cor!

O trabalho que estamos a realizar é apenas uma pequena gota de água naquilo que poderia ser feito, mas creio que estamos a conseguir desenvolver uma iniciativa organizada e com boas bases, que certamente precisará do apoio e do empenho de todos os alunos do curso para a sua boa continuação.

A presente edição é dedicada aos centros de investigação relacionados com o departamento de física. Como tal, temos 5 artigos a falar um pouco de cada um dos centros que estiveram desde sempre mais ligados ao nosso curso: GOLP, CFIF, CFN, CENTRA e LIP.

Todos estes artigos foram escritos por alunos de LEFT que estão, de alguma forma, relacionados com o trabalho que está a ser desenvolvido pelos centros e que se dispuseram a elaborar um artigo focando as suas principais áreas de investigação, os projectos mais importantes que estão a ser desenvolvidos, as expectativas para o futuro, estágios e actividades para estudantes...

Gostaria também de salientar a óptima prestação de toda a organização do V ENEF, que decorreu entre 14 e 16 de Março aqui no IST, e que contou com a participação de mais de 80 estudantes de física de diversos pontos do país.

Para saberem todas as informações sobre o encontro vão a <http://enef.nfist.ist.utl.pt/>, onde poderão igualmente encontrar as fotos dos melhores momentos deste grande *meeting* nacional. Nesta página, em baixo, encontram-se algumas delas.

Uma maior participação por parte dos professores teria valorizado a iniciativa, tendo em conta que actividades como esta são tão importantes para a divulgação e promoção dos cursos de física em Portugal.

Para terminar, queria só deixar aqui uma frase que encontrei numa das antigas edições do Pulsar e que me pareceu que poderia ser tomada como um lema para o NFIST:

“O que nos une não é apenas um curso. É um gosto pela ciência que escolhemos estudar, tão grande que a queremos levar ao conhecimento de todos.” – *Hugo Gomes (Pulsar nº 7 – 1996)*

Boas férias a todos os leitores e contem connosco para o ano!

*A Redacção*



# Entrevista com o Professor Orfeu Bertolami

Conduzida por Filipe Cardoso e Manuel João Mendes e transcrita por Rui Alexandre de Sousa Franco



O Professor Orfeu Bertolami licenciou-se pela Universidade de São Paulo e obteve o doutoramento em Física Teórica na Universidade de Oxford.

Quando veio a Portugal gostou tanto deste singelo país que achou que seria um interessante desafio vir fazer investigação por cá. Actualmente é um dos nossos físicos teóricos mais conceituados na área da Cosmologia. Os seus principais interesses científicos são Gravitação, Teoria de Cordas Quânticas e Cosmologia.

Para mais informações: <http://alfa.ist.utl.pt/~orfeu/homeorfeu.html>

## 1- Foi sempre o seu sonho ingressar para o mundo da física ou tinha outras ambições quando criança?

Sempre foi um sonho fazer ciência, isso fortaleceu-se quando vi o filme “2001 Odisseia no espaço”. Eu era uma criança de 6 anos e, a partir de então, ficou claro que eu queria fazer ciência. Se ia fazer física ou não, foi uma dúvida que me perseguiu até à véspera de fazer o exame de ingresso na universidade; sempre tive um grande interesse pela biologia, mas achei que a física era muito mais geral. Penso que vai haver um momento em que a física se vai encontrar com a biologia. Curiosamente estamos vivendo isso nos nossos tempos! Mas eu pensei que isso aconteceria num futuro muito mais remoto, mas já está a acontecer!



Movimentos de galáxias espirais - como a ngc 5194, acompanhada de sua satélite ngc 5195, no interior da constelação de cães de caça - evidenciam presença de matéria escura para explicar a interação dinâmica

## 2- O que acha do ensino universitário em Portugal e como o compara com as outras universidades por onde passou, por exemplo com a Universidade de Oxford ou de Cambridge? Quais os aspectos fulcrais que acha que deveriam ser melhorados?

Eu penso que o ensino universitário das boas universidades portuguesas é de altíssimo nível. É tão bom como a Universidade de Oxford, não tenho a menor dúvida quanto a isso. Inclusivamente, eu penso que até temos vantagens, por exemplo em relação ao vosso curso de física tecnológica, ele dura 5 anos, talvez o ideal fosse quatro anos, mas isso é discutível, e isso é claramente uma vantagem para vocês.

Os vossos colegas em Oxford fazem um curso de 3 anos e são imediatamente estimulados a irem trabalhar na indústria ou a fazer um doutoramento. Na minha opinião é importante estar exposto o mais tempo possível à física geral e especializar-se depois. Também acho extremamente positivo esse 5º ano que vocês têm, e que funciona como um mestrado com

um projecto, onde se realiza trabalho original e que funciona como uma antecâmara para o doutoramento. Por isso não precisamos ter complexos de inferioridade em relação a outras universidades.

Quanto aos aspectos que poderiam ser melhorados ao nível da investigação, qualquer pessoa que tenha tido a oportunidade de trabalhar em grandes universidades no estrangeiro sabe que o problema não está intrinsecamente na investigação em si, em que é feita, se por A ou B. O problema está em como as coisas são feitas, na atitude que as pessoas têm.

A atitude da universidade portuguesa, de modo geral, é extraordinariamente irracional. Até hoje os nossos colegas discutem: Será importante fazer investigação? Será que é absolutamente necessário? Será que não seria

possível ter uma carreira onde nós todos seríamos professores profissionais, e houvessem outros que seriam investigadores profissionais, sem nada no meio do caminho? Muitos dos nossos colegas estão a discutir isso e frequentemente eu ouço isso enquanto almoço. Portanto, há aqui uma atitude em relação à criação do conhecimento que eu considero terrivelmente subdesenvolvida. Eu não creio que seja possível distinguir investigação de ensino. É ensinando que eu percebo quais são as deficiências naquilo que sei, e frequentemente são os alunos que vêm colocar as questões mais importantes, são eles que, ao trabalharem comigo, vão atacar os problemas mais interessantes, e esta interacção é absolutamente fundamental. Se não houver interacção entre ensino e investigação não vejo como iremos atingir qualquer progresso neste país do ponto de vista intelectual.

## 3- Quais lhe parecem serem os maiores entraves ao desenvolvimento da educação científica em Portugal?

Eu penso que a nível universitário fundamentalmente, o Estatuto da Carreira Docente Universitária precisa de ser

drasticamente alterado, não só na forma, mas na sua filosofia. Tal como este, existem actualmente leis que têm raízes fascistas e irracionais, subordinam os professores uns aos outros, num mundo onde a subordinação não é mais possível. O trabalho científico é hoje tão complexo que só pode existir em colaboração, não havendo hierarquização possível. É um sistema onde as pessoas devem evoluir automaticamente em função do que fazem.

O sistema português hoje é: faça tudo o que lhe é pedido, ou não faça absolutamente nada - recebe exactamente a mesma coisa. Escrever trinta artigos científicos, ou escrever zero, no sistema português, é exactamente a mesma coisa. No final do mês as pessoas recebem o mesmo salário e não há garantia nenhuma que no final de quinze anos aquele que escreveu artigos científicos, orientou estudantes e conseguiu bolsas de investigação para o seu departamento, venha a ser promovido. É possível passar vinte, vinte e cinco anos e ficar exactamente onde se começou, os salários são os mesmos, os direitos e os deveres são os mesmos; um sistema assim é impossível.

#### Então quais são os critérios de promoção?

São múltiplos; a lei diz que o critério de promoção é o desempenho científico e pedagógico. É tão vaga quanto isso! Não especifica quais os critérios de avaliação.

Em todos os lugares do mundo, todas as pessoas sabem quais os critérios de avaliação: são o número de artigos científicos, as citações literárias ou projectos científicos na qual a pessoa é líder, o número de estudantes de doutoramento, e, obviamente, a qualidade do trabalho pedagógico, a participação da pessoa na vida do departamento, ... Todos estes factores são considerados e contabilizados, alguns sendo mais importantes que outros.

O sistema português não; é baseado em simpatias e antipatias. Pode parecer caricatural mas é assim que funciona, e sem resolver este problema estamos sempre a dar a volta à questão fundamental. Julgo que isto é particularmente deprimente porque o sistema português hoje está completamente estagnado.



Palestra do Professor Orfeu Bertolami no ENEF 2003

#### 4- O Professor intervém regularmente em eventos de divulgação científica, como por exemplo aqueles que o NFIST costuma organizar. Para si, este tipo de encontros é apenas um passatempo ou encara mesmo a divulgação científica como um dever?

Eu penso que a divulgação científica é extraordinariamente importante, no sentido em que a pessoa que apresenta ideias científicas ao público, deve “iluminar” as pessoas que lá estão presentes. Tenho a crença de que a aprendizagem é algo espiritual. As pessoas saem diferentes do que quando entraram. Eu não diria que é um passatempo, eu diria que é um grande prazer. Também não diria que é um dever, não estou obrigado contratualmente a fazê-lo.

Muitos colegas, nomeadamente nos Estados Unidos, vêm as palestras públicas como uma forma de retribuir à sociedade aquilo que receberam. Houve um cientista estrangeiro muito conhecido que disse-me uma vez aqui em Lisboa: “Nós somos verdadeiramente pessoas



Um fim possível do universo é o Big Crunch, em que toda a matéria desapareceria num vasto e cataclísmico poço de gravidade.

privilegiadas, porque fazemos o que gostamos e ainda nos pagam por isso!”. Portanto, fazer ciência é um privilégio e temos de estar a altura desse privilégio.

#### 5- Quais os projectos mais importantes em que está presentemente envolvido?

Ultimamente tenho estado envolvido em projectos que eu chamo de obsessivos. Por exemplo, o problema da dinâmica do Universo que parece ser controlada por duas grandes componentes que nós desconhecemos, nomeadamente a matéria escura e a energia escura.

Estudar esses dois mistérios é, na minha opinião, irresistível do ponto de vista intelectual. O que é a matéria escura, como é que ela se manifesta, será que podemos atribuir à matéria escura uma partícula elementar, será que ela existe na forma de planetas, buracos negros gigantescos, como é que podemos equacionar esses problemas e quais são as implicações dos diversos cenários? O mesmo pode ser dito da energia escura. Na contabilidade da energia do Universo, a energia escura corresponde a 70 por cento da energia total. Tal facto implica que o Universo expande de forma acelerada e isto é confirmado pelos nossos colegas astrónomos.

Em relação ao problema da matéria escura, nós propusemos, há algum tempo atrás, um candidato, que corresponde a uma partícula elementar, que tem a característica de ser fortemente auto-interagente. O nosso candidato não interage com a matéria normal, ele só interage com partículas semelhantes e com o bóson de Higgs. É uma ideia original, porque frequentemente a matéria escura é uma partícula que interage muito fracamente com a matéria e que não tem auto-interacção entre si. Uma implicação disto, é que nas actuais experiências para detectar a matéria escura, nós nunca vamos ver essa partícula, temos que ir para um acelerador descobrir o bóson de Higgs e estudar os seus modos de decaimento. Seria por meio destes que veríamos o nosso candidato.

Matematicamente este candidato, este campo, é descrito pela letra grega  $\phi$  mas eu gosto

mais de chamá-lo de *Adamastor*, se virmos nos *Lusíadas* há uma passagem que diz que “...eu sou escuro... e impeço a vossa passagem através do Cabo das Tormentas...”, e por isso achei boa ideia chamá-lo de *Adamastor*.



**6- Recentemente os seus alunos dedicaram-lhe um “Poema Épico”, os Bertolíadas, que apresentamos na Secção Cultural deste número. O que achou dessa obra poética?**

Eu fiquei extraordinariamente satisfeito com essa singela homenagem dos meus alunos; achei-a muitíssimo divertida. Como, de facto, eles escreveram isso depois terem feito o exame da cadeira de Relatividade Geral e Cosmologia, eu encaro essa obra poética como um grande desabafo! Fiquei muitíssimo satisfeito, foi uma homenagem extraordinária e se vocês forem dar uma olhada na página da cadeira, eu já lá incluí essa contribuição.

**7- Quando está a trabalhar na formulação de uma dada teoria que envolva questões mais existenciais, como por exemplo a teoria de cordas ou a questão da energia escura, costuma deparar-se com pensamentos filosóficos que influenciem, de alguma maneira, aquilo em que está a estudar?**

Eu diria que não, embora quando eu era adolescente estudei muita filosofia, mas na minha vida científica penso que nunca fui guiado por problemas filosóficos.

Os problemas científicos têm uma vida própria, resultando da interacção entre as ideias, as propostas e a execução dessas propostas. Nesse ambiente científico surgem noventa e nove por cento das vezes mais perguntas do que respostas e o trabalho científico consiste em pegar numa dessas perguntas e tentar respondê-la, gerando mais perguntas e assim sucessivamente. Portanto, eu diria que o trabalho científico é mais como escrever um grande comentário sobre questões que são relevantes e que respondem a problemas da natureza, daí a diferença entre um problema científico e um problema filosófico.

Mas também acho que vocês têm alguma razão com esta pergunta. Porque quando tratamos do Big Bang, ou de coisas fundamentais, estamos naturalmente a tratar da origem do espaço-tempo, da origem da matéria, da origem de tudo. E estes são problemas que estavam restritos às discussões filosóficas até muito recentemente, e eu penso que isto é surpreendente: dá uma ideia de como o nosso pensamento evoluiu.

O filósofo Karl Popper dizia que os filósofos do século XX eram os físicos teóricos, e penso que essa afirmação é provavelmente correcta.

**8- Existe algum enigma da física que o fascina particularmente? Qual e porquê?**



Eu já vos disse que tenho algumas obsessões na física: o problema da matéria escura, energia escura e a construção de um modelo cosmológico completamente consistente. É uma grande ambição intelectual minha começar com uma teoria fundamental, como a teoria de cordas quânticas, e demonstrar

que dessa teoria surge inequivocamente a dinâmica do nosso Universo. Nós temos tentado isso durante muitos anos, mas nos últimos três anos essa preocupação esteve eclipsada, pelos problemas da matéria e energia escura.

Existe um problema que também nunca me deixou: é o problema da constante cosmológica. Porque é que a constante cosmológica é 120 ordens de grandeza menor que o valor teórico previsto!? Isso reflecte uma profunda ignorância em questões fundamentais relacionadas com o vácuo quântico. Esse é um problema que às vezes me toca, mesmo que eu não esteja pensando directamente nele. É um problema que me fascina e me atrai desde que sou estudante.

**9- Acha que poderá ser possível haver uma Unificação das 4 forças fundamentais da natureza (Gravítica, Electromagnética, Interação Forte e Fraca)?**

Estou convicto que existe uma teoria de unificação das quatro interacções fundamentais. Penso que seria uma simplificação extraordinária. Penso que responderia a inúmeras questões pendentes da física moderna. Por exemplo, porque existe a escala das interacções electrofracas em centenas de GeV, e a escala de Planck 17 ordens de grandeza acima?. Será que entre essas duas escalas não há nada? Como é que se resolvem os infinitos que surgem na parte dos fermiões e dos bosões no Modelo Standard das Interações Fundamentais?

Eu estou convicto que existe uma teoria de unificação que resolverá estes problemas.

**10- Para os estudantes que ambicionam ser famosos Físicos Teóricos, quais são os conselhos que lhes gostaria de deixar?**

Bem eu acho que não é a mim que devem perguntar isso, eu não sou famoso. Eu faço o que faço por prazer e penso que esse é um ingrediente fundamental para se fazer bem qualquer coisa na vida. Tem de se fazer com prazer, com boa disposição e, é verdade, com espírito de sacrifício. Eu acho para tudo na vida é necessário ter originalidade, inteligência e muita sorte. Não penso ser possível escapar a estas três componentes. Mas temos que lembrar que a sorte só favorece aqueles que têm a mente preparada, portanto é preciso estudar, é preciso manter-se activo o tempo todo e estar à altura daquilo que é conhecido em cada momento da História e então usar a sorte que tivermos.

# 1ª Escola de Astrofísica e Gravitação

por Joana Loureiro

Muitos saberão o que foi a Escola de Astrofísica e Gravitação (EAG), outros só se lembrarão de ter visto este nome algures pelo IST, mas outros, talvez, um pouco mais distraídos, nunca terão ouvido falar desta escola. Para todos vocês, aqui fica o relato de quem teve um contacto mais próximo com a EAG.

Durante o Verão, várias universidades proporcionam aos alunos a possibilidade de frequentar pequenos cursos com o intuito de dar a conhecer os trabalhos de alguns professores e as áreas de investigação dessas mesmas universidades, não só para que os alunos possam aprofundar os seus conhecimentos em áreas mais específicas, mas também para despertar o interesse, quiçá, de futuros investigadores. Foi precisamente isto que aconteceu no ano passado, entre 29 de Agosto e 3 de Setembro, na nossa universidade, organizado pelo Centro de investigação de Astrofísica (CENTRA), do IST. O CENTRA é um centro reconhecido internacionalmente em investigação na área de Astrofísica e organizou esta escola com o intuito de dar a conhecer o seu trabalho, para além de formar/incentivar novos talentos, actualizando aqueles que manifestam interesse nas áreas de Astrofísica e Gravitação.

Esta Escola de Verão (a EAG) dirigia-se a alunos universitários na área de Ciências (Física, Matemática ou Biologia) e de Engenharia, para professores de Física ou Matemática do 12ºano do Ensino Secundário, e excepcionalmente para alunos do 12ºano do Ensino Secundário que frequentassem a disciplina de Física com um excelente aproveitamento.

Apesar do curso ter decorrido no Verão, no período de férias, o número de inscrições foi muito elevado, tendo, as mesmas, sido alvo de selecção para que fosse assegurado o bom rendimento dos cursos teóricos e das observações astronómicas. Os participantes vieram de todo o país e, após a selecção, o grupo final incluiu 17 alunos universitários, 4 alunos do 12ºano do Ensino Secundário e 9 professores - um leque muito variado de participantes, com um nível de conhecimento bastante diversificado, o que correspondia, afinal, ao objectivo visado.

A formação estava dividida em 7 cursos diários, que decorreram nos três primeiros dias, tendo a duração de uma hora cada. Cada curso estava a cargo de um professor, cujo objectivo era transmitir um conhecimento mais aprofundado sobre determinado tema.

Alguns dos professores intervenientes são investigadores no CENTRA e leccionam no IST, nomeadamente a Prof. Doutora Ana Mourão, que foi responsável pelo curso de Astronomia Observacional, o

Prof. Doutor José Sande Lemos, responsável pelo curso de Relatividade Geral, Gravitação e Teoria de Cordas, o Prof. Doutor Domingos Barbosa, responsável pelo curso de Astronomia Extragaláctica,

o Prof. Doutor Alfredo Barbosa Henriques, responsável pelo curso de Cosmologia Observacional e Teórica, o Prof. Doutor Jorge Dias de Deus, responsável pelo curso de Interações Fundamentais no Universo, o Prof. Doutor Ilídio Lopes, responsável pelo mini-curso "O Sol e a sua Estrutura", o Doutorando Vítor Cardoso, responsável pelo mini-curso de Astrofísica Relativista, o Doutorando Óscar Dias, responsável pelo curso de Buracos Negros. A este grupo juntam-se ainda os Professores convidados do Observatório Nacional do Rio de Janeiro, Prof. Doutora Daniela Lazzaro, responsável pelo curso de Astrofísica do Sistema Solar, o Prof. Doutor Antares Kleber, responsável

pelo curso de Astrofísica Estelar, o Prof. Doutor Henrique Leitão, da Universidade de Lisboa, responsável pelo curso especial Pedro Nunes: "o Matemático e o Cosmógrafo" e o Comandante António Estácio dos Reis, da Academia da Marinha, responsável pelo curso especial "O Nónio de Pedro Nunes e Instrumentos Náuticos".

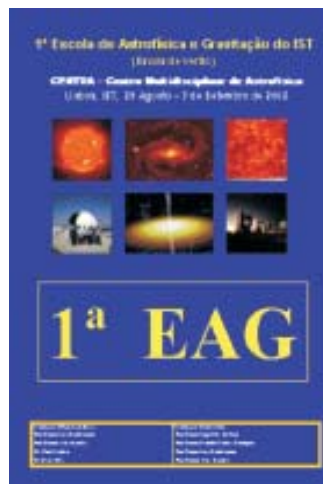
Apesar do elevado rigor científico de cada palestra, estas primaram pela boa disposição e camaradagem. Nos últimos dois dias decorreram os

três mini-cursos, os dois cursos especiais, sobre Pedro Nunes, e várias palestras abertas ao público. No final de cada dia, chegava a parte mais prática, com as observações astronómicas que decorreram no Observatório do Instituto Geográfico do Exército. Apesar da poluição lisboeta, foi possível obter algumas imagens imponentes com o telescópio,

como Albireo, M31, alguns enxames e nebulosas, com a ajuda fundamental da Prof. Doutora Ana Mourão.

Já que a Escola de Verão é bienal, espero contribuir, com este artigo, para despertar motivações e interesses no âmbito das áreas referidas e angariar novos participantes para futuras formações promovidas pela Escola de Astrofísica e Gravitação.

Joana Loureiro



# Ondas Gravitacionais

por João Pedro Rosa

Uma onda gravitacional consiste na propagação de uma perturbação do espaço-tempo. A sua existência foi prevista directamente a partir da Teoria da Relatividade Geral, formulada em 1915 por Albert Einstein (*Figura 1*). Analogamente às ondas electromagnéticas, que são produzidas devido à vibração de campos electromagnéticos, as ondas gravitacionais são consequência directa da oscilação de campos gravíticos. Prevê-se que a sua velocidade de propagação seja igual à velocidade de propagação da luz no vácuo –  $3 \times 10^8$  m/s. Além disso, as ondas gravitacionais propagam-se transversalmente tal como as electromagnéticas, ou seja, a oscilação dos campos responsáveis pela sua existência dá-se num plano perpendicular à direcção de propagação das ondas.

Uma diferença entre ambas reside no facto de as ondas gravitacionais não serem alteradas ao atravessar a matéria que encontram no seu percurso. Ao contrário das ondas electromagnéticas, que não necessitam de um meio elástico para se propagarem mas são alteradas por fenómenos relacionados com a presença de matéria (reflexão, refração, difracção, etc), as ondas gravitacionais obrigam à oscilação de todo o espaço-tempo circundante (*Figura 2*). Deste modo, as ondas gravitacionais impõem, através da sua passagem, os vários modos de vibração do espaço-tempo, enquanto que a vibração dos campos electromagnéticos é condicionada pelo meio envolvente.

Assim, as ondas gravitacionais atravessam a matéria sólida, como a Terra, depositando apenas uma ínfima fracção da sua energia, tornando quer a produção quer a detecção de ondas gravitacionais bastante complicadas.

Além do mais, para que se produza uma oscilação significativa nas curvaturas do espaço-tempo de modo a originar uma onda gravitacional, é imperativa a ocorrência de fenómenos extremamente violentos, tais como colisões entre estrelas em sistemas binários ou mesmo entre buracos negros e explosões de supernovas.

Mais concretamente, a produção de ondas gravitacionais significativas exige grandes massas e grandes acelerações, o que não significa que qualquer oscilação no campo gravítico não venha a originar ondas gravitacionais, mas apenas que a intensidade destas será de tal modo reduzida que se tornará impossível detectá-las.

Por outro lado, a sua detecção exige instrumentos de uma sensibilidade extrema, isolados de toda e qualquer perturbação exterior que não constitua uma onda gravitacional.

Senão, vejamos que uma onda deste tipo viajando na direcção da Terra irá alternadamente encolher e expandir distâncias, mas a uma escala muitíssimo pequena – segundo um factor da ordem de  $10^{-21}$  para fontes de pro-

dução muito fortes - o que é basicamente o mesmo que medir uma mudança das dimensões de um átomo na distância da Terra ao Sol.

O primeiro teste feito à Teoria da Relatividade Geral de Einstein decorreu no início do século XX aquando da ocorrência de um eclipse total do Sol, sendo possível provar a deformação dos raios luminosos provenientes de uma estrela devido à influência gravítica de uma grande massa como o Sol (*Figura 3*). Esta experiência foi liderada por Sir Arthur Eddington, que se tornou num dos maiores apoiantes desta teoria. No entanto, no que dizia respeito à existência de ondas gravitacionais, mostrava-se céptico e cauteloso, chegando a afirmar, sarcasticamente, “*As ondas gravitacionais movem-se à velocidade do pensamento*”.

Na época, muitos físicos consideravam as ondas gravitacionais como simples artificios matemáticos. De

acordo com a teoria newtoniana da gravitação, o período binário de um sistema de duas massas pontuais (e.g. duas estrelas) orbitando-se mutuamente é uma constante. Contudo, a Teoria da Relatividade Geral prevê que as duas massas sofram, nestas condições, acelerações que resultam na produção de radiação gravitacional (*Figura 4*). As ondas geradas transportam assim energia (equivalente a massa, segundo Einstein) e momento, obrigando o sistema a encurtar cada vez mais as suas órbitas e levando a que as duas estrelas espiralem uma em direcção à outra.

Nos anos sessenta, os físicos teóricos haviam já provado a diminuição da massa de um objecto devida à emissão de ondas gravíticas, mas foi só na década de setenta que a derradeira prova foi encontrada. Os investigadores americanos Russell Hulse e

Joseph Taylor, da Universidade de Princeton, ao estudarem o sistema binário PSR1913+16 constituído por duas estrelas de neutrões em órbita mútua, verificaram, através dos pulsos de rádio provenientes de uma das estrelas, que o seu período orbital diminuía cerca de 76 microssegundos por ano. Desta forma, as duas estrelas estavam em movimento espiral como fora previsto. Em 1993, os dois físicos receberam o prémio Nobel da Física pela

sua descoberta. Esta experiência permitiu assim à comunidade científica constatar, apesar de indirectamente, a existência da radiação gravitacional.

Porém, ainda hoje ninguém conseguiu de facto detectar uma verdadeira onda gravitacional, não obstante os esforços realizados nesse sentido.

Mas, afinal, que proveito trará a sua detecção para o futuro científico da Humanidade? Como foi explicitado anteriormente, a interacção das ondas gravitacionais com o meio

que atravessam é praticamente inexistente, e é esta característica que determina a tão grande importância deste tipo de radiação. Apesar de os fenómenos cosmológicos anteriormente referidos como passíveis de gerar ondas gravitacionais serem relativamente recentes quando comparados com a idade estimada do Universo - cerca de 15 mil milhões de anos - a origem das ondas gravitacionais é muito mais remota.

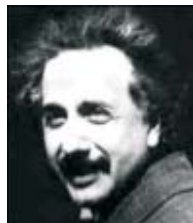


Figura 1 – Albert Einstein (1879-1955)



Figura 2 – Representação esquemática de uma onda gravitacional

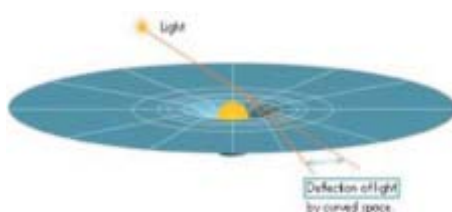


Figura 3 – Deflexão da luz devido à curvatura do espaço-tempo induzida pelo Sol



Figura 4 – Representação esquemática de ondas gravitacionais produzidas por um sistema de estrelas binárias

Em 1930, o físico alemão Erwin Schrödinger, conhecido como um dos fundadores da Mecânica Quântica, percebeu que, num Universo em expansão, há uma produção não desprezável de ondas gravitacionais dependente da aceleração com que essa expansão se dá. Contudo, decidiu abandonar todos os modelos em que esta produção tivesse necessariamente de ser tida em conta, por a considerar inadmissível. Só em meados dos anos setenta, através dos trabalhos de Leonid Grishchuk, foi possível entender a importância deste fenómeno. Uma vez que as ondas gravitacionais chegam até nós incólumes, observar as ondas produzidas pela expansão do Universo dar-nos-á informação incomparável sobre a dinâmica do Universo desde o seu início.

Nos modelos actualmente aceites, este princípio – ou *Big Bang* como é globalmente conhecido – envolveu enormes quantidades de energia e aceleração, tendo provavelmente originado grandes quantidades de ondas gravíticas, formando um fundo homogéneo de radiação, usualmente designado por *Fundo Cosmológico de Ondas Gravitacionais* (FCOG). A detecção do FCOG dará uma imagem primordial do nosso Universo, permitindo confirmar ou refutar as teorias actualmente aceites. Convém notar que a produção de ondas gravitacionais nos primórdios do Universo é um processo de natureza quântica que só poderá ser totalmente compreendido no contexto das chamadas Teorias de Campo. Da mesma maneira que, segundo a chamada dualidade onda-partícula, se associa a cada onda electromagnética uma partícula, o fóton, também a cada onda gravitacional se pode associar uma hipotética partícula, o gravitão, cujas propriedades descrevem os efeitos e a dinâmica destas ondas.

Estudos mais aprofundados revelam que o FCOG teve origem não exactamente no Big Bang mas uma pequeníssima fracção de segundo após a grande explosão, numa época designada por inflação. A existência desta época não está perfeitamente comprovada, mas todos os resultados apontam nesse sentido.

Desta forma, a detecção das ondas gravitacionais constitui uma peça fundamental no nosso conhecimento sobre as origens e dinâmica evolutiva do Universo. Mas como é que se pode proceder à detecção de ondas tão fracas e fugidias como as ondas gravitacionais? A tarefa, como já foi referido, é complicada. Contudo, por todo o mundo se combinam esforços para que seja possível a sua detecção directa.

Os interferómetros a laser são instrumentos de grandes dimensões em forma de L, com braços de quilómetros de comprimento, apoiados sobre a superfície da Terra. Os feixes de laser andam para trás e para a frente ao longo dos braços do interferómetro, sendo reflectidos por espelhos colocados nas extremidades. Estes espelhos estão suspensos por cabos e podem oscilar segundo a direcção do braço em que estão apoiados como se de massas livres se tratassem. Seguidamente, os feixes provenientes de ambos os braços são recombinados, e o seu padrão de interferência é monitorizado por um foto-detector (*Figura 5*). Uma onda gravitacional que atravesse o interferómetro provocará um deslocamento no padrão de interferência, deslocamento esse que será extremamente reduzido em relação ao comprimento dos braços do interferómetro – o equivalente à espessura de um cabelo em comparação com a distância do Sol às estrelas mais próximas.

Físicos de Glasgow, Hannover, Munique e Cardiff estão a desenvolver as ferramentas necessárias para que o processo seja levado a cabo: feixes laser com kilo-Watts de potência e uma cor

extremamente pura; espelhos de alta qualidade que reflectam apenas algumas partes por milhão da luz incidente; suspensões de tal maneira isoladas que mantenham os espelhos estacionários mesmo durante a ocorrência de um sismo; e técnicas de análise de dados que sejam capazes de distinguir sinais cerca de 100 vezes mais fracos que o ruído associado aos instrumentos utilizados.

O projecto GEO-600 será, quando a sua construção estiver terminada, o primeiro destes interferómetros a laser em

funcionamento, estando localizado perto de Hannover, na Alemanha.

Analogamente, o projecto americano LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory*) conta com um interferómetro com braços de 4 km de comprimento (contra 600 m do projecto GEO), sendo um trabalho conjunto do CalTech e do MIT, com instalações em Hanford e Livingston (*Figura 6*).

A missão LISA (*Laser Interferometer Space Antenna*), fruto da cooperação entre a NASA e a ESA, tem como objectivos a detecção e medição de ondas gravitacionais provenientes de possíveis buracos negros massivos e estrelas binárias compactas, bem como o

já mencionado FCOG. A missão será constituída por três naves espaciais idênticas colocadas nos vértices de um triângulo equilátero com 50 milhões de quilómetros de lado. Em cada um destes vértices encontrar-se-á uma fonte de laser e um divisor de feixes, ambos necessários à formação dos padrões de interferência pelo processo anteriormente descrito. Para evitar perturbações gravitacionais, o sistema das 3 naves será colocado 20 graus atrás da Terra na sua órbita à volta do Sol, estando o plano orbital do sistema ligeiramente inclinado em relação ao plano da eclíptica. Variações da luz solar e outros efeitos poderão obrigar as naves a percorrer distâncias maiores do que as ondas gravitacionais provocariam. Para diminuir este efeito, cada nave contém uma massa de prova protegida da incidência directa da luz solar. A interferometria de laser medirá a distância entre as 3 massas de prova. À medida que a luz solar faz com que cada nave se mova na direcção da respectiva massa de prova, o deslocamento relativo é medido e corrigido, fazendo accionar pequenos motores adicionais, sem que a posição da massa de prova seja alterada. A construção das naves está agendada para

2006, e o lançamento da missão para 2010 (*Figura 7*).

Assim se avizinha o futuro da investigação sobre ondas gravitacionais, um fenómeno com o qual ainda nos encontramos pouco familiarizados, mas que pode levar a grandes desenvolvimentos no nosso conhecimento sobre o Universo em que vivemos.

João Pedro Rosa

*Referências:*

- [archive.ncsa.uiuc.edu](http://archive.ncsa.uiuc.edu);
- [www.ligo.caltech.edu](http://www.ligo.caltech.edu);
- [lisa.jpl.nasa.gov](http://lisa.jpl.nasa.gov);
- [www.geo600.uni-hannover.de](http://www.geo600.uni-hannover.de);

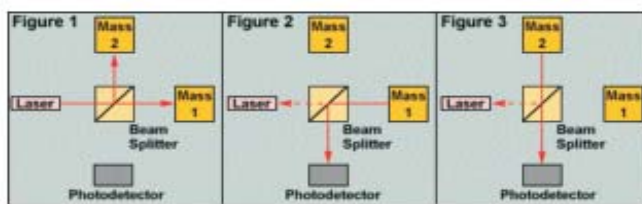


Figura 5 – Esquema de um interferómetro a laser



Figura 6 – O projecto americano LIGO

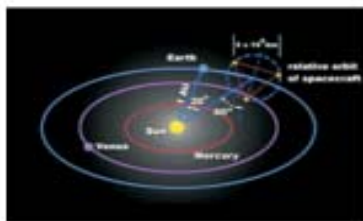


Figura 7 – Representação esquemática da órbita prevista para a missão LISA

# A minha experiência no LIP

por **Pedro Assis**

A minha associação com o LIP começou no quarto ano da licenciatura quando ainda não tinha uma ideia clara sobre o que queria fazer na vida (em termos académicos, claro!). Sabia apenas que queria seguir uma carreira experimental na área da física de partículas. Cheguei então à conclusão que a melhor aposta era o LIP e pedi ao Prof. Mário Pimenta que me ajudasse na escolha das cadeiras de quarto ano. Apercebi-me então que não existia, nessa altura, nenhuma cadeira de opção com uma componente experimental nesta área. Acabei por fazer o pacote usual das cadeiras teóricas e fenomenológicas.

Passado um ano estava deseioso de “meter as mãos na massa” e começar a desenvolver investigação experimental na área, cheguei ao LIP e apercebi-me que grande parte das pessoas estava a trabalhar nas experiências do CERN, a acabar a análise de dados, e que se estava ainda a preparar a entrada em novas experiências. No entanto, foi possível encontrar algo de “experimental” para realizar num ano, em ULTRA, uma experiência de suporte à EUSO – Extreme Universe Space Observatory, uma experiência de Raios Cósmicos, que estava em fase de estudo. A experiência ULTRA pretende medir a Luz UV gerada por uma cascata de Raios Cósmicos na atmosfera. Para tal, conta com um telescópio UV apontado para a área onde se encontra uma matriz de detectores de cintilação que detecta a cascata.

O objectivo inicial foi resolver o problema do sincronismo temporal dos diferentes módulos de detecção da experiência. Para tal começámos por investigar a possibilidade do uso do sistema GPS – Global Positioning System - para fornecer um sinal de sincronismo em cada segundo. De notar que pretendíamos que o sistema final a ser desenvolvido tivesse uma precisão melhor que 10ns (sim,  $10^{-8}$ s) pelo que seria necessário provar que o sistema GPS cumpria esta especificação. Este trabalho passou por compreender as características e limitações do sistema GPS e pela pesquisa de receptores comerciais, de custo aceitável, capazes de aproveitar as potencialidades do sistema GPS e que gerassem um pulso por segundo com a precisão necessária. Nesta altura o sistema de aquisição analógica seria desenvolvido “à parte” pelo grupo francês da colaboração. Como é óbvio, a questão do sincronismo sem fios das diferentes estações só seria relevante se fosse possível a

existência, em cada estação, de um sistema de aquisição analógica de custo comportável.

O receptor foi escolhido com base em relatórios sobre precisão temporal da experiência Auger. Seguiram-se os testes efectuados no telhado de Física (e noutros também), ficando demonstrada a possibilidade de uso desta solução. Faltava então passar de um pulso por segundo para uma etiqueta temporal dada aos eventos com uma precisão temporal da ordem do ns (nanosegundo). Isto significa medir um intervalo de 1s com uma precisão de 1ns (são 9 ordens de grandeza!!).

Entretanto o grupo francês não conseguiu apresentar um sistema distribuído de aquisição de dados, tentando então mostrar as vantagens de um sistema central de aquisição de dados.

Neste ponto surge a colaboração com o grupo do LIP que estava a desenvolver o Telescópio de Raios Cósmicos (TRC) e que não tinha uma solução para o sincronismo temporal sem fios, mas que tinha uma solução de baixo custo para o sistema de aquisição analógica distribuído. Surge então a possibilidade de desenvolver, numa placa PCI, um sistema integrado de aquisição de dados (analógico e temporal). Foi assim que me encontrei atirado para a Suíça com a indicação de sair do avião para apanhar o 10, o 9 e sair na última paragem. Como é óbvio, perdi-me no CERN. Finalmente encontrei o gabinete onde devia ir ter e numa semana foi possível definir a estrutura da placa a ser desenvolvida. O desenvolvimento da placa no CERN foi fundamental, pois beneficiámos da *expertise*

de quem já desenvolvia placas com a interface PCI há bastante tempo e de alguns serviços de electrónica do CERN, como seja a montagem dos componentes no circuito impresso. Tudo isto tornou possível a concretização da placa num curto espaço de tempo.

O passo seguinte foi convencer quem não queria ser convencido que o nosso sistema de aquisição de dados era perfeito para a experiência. Além das diversas apresentações nas reuniões internacionais, foi necessário demonstrar que um sistema que ocupa o espaço de um PC era capaz de adquirir

sinais dos fotomultiplicadores tão bem (na realidade é melhor) como o sistema proposto pelo grupo francês que cabia numa carrinha! Isso conseguiu-se num teste conjunto realizado nos Alpes franceses/italianos (estão sempre a mudar de dono), mais concretamente em Mont-Cenis. Fomos, durante algum tempo, o parente pobre, a quem ninguém ligava, mesmo durante os testes, as pessoas estavam mais interessadas nos dados do sistema tradicional.



Placa LIP-PAD



Planos para montar o detector no lago de Mont-Cenis

Mas, à parte de pequenas sabotagens (nevoeiro, avarias nos geradores, etc...) o teste correu bastante bem. Na reunião seguinte em Palermo, Sicília, Itália, o sistema finalmente brilhou quando se apresentaram os dados adquiridos pela LIP-PAD, que superaram alguns problemas do sistema tradicional, conseguindo-se reproduzir os dados adquiridos pelo sistema tradicional, e demonstrar problemas do sistema tradicional que não estavam presentes na LIP-PAD.



Mont-Cenis - Problemas com o gerador

Surge então um interesse enorme na placa. Com este interesse surge também uma pressão enorme sobre o sistema, porque é sempre possível fazer melhor. Queriam então ter tudo melhor, nomeadamente na taxa de aquisição. Tínhamos uma taxa máxima de aquisição de 20 Hz. Queriam 200Hz. Esqueci-me de referir que o sistema tradicional tinha 10Hz. Mais uma vez pusemos a mão na massa e demonstrámos que poderíamos atingir uma taxa de aquisição de 500Hz. Assim, nesse momento, ficou decidido, mais ou menos tacitamente, que o sistema de aquisição da experiência seria baseado na placa LIP-PAD, ficando o sistema tradicional como parente pobre - funcionará caso existam problemas... Mas, o LIP não é só isto...



EUSO na estação Internacional ISS

Actualmente o LIP tem três grandes áreas de investigação:

- As experiências de aceleradores no CERN, entre as quais se inclui, no quadro do LHC (Large Hadron Collider), a participação nas experiências ATLAS e CMS;

- As experiências de Raios Cósmicos, com participação em AMS e em EUSO, duas experiências que serão instaladas na estação espacial internacional (ISS);

- As aplicações médicas, nomeadamente, PEM – Positron Emission Mammography e simulação de doses de radiação para tratamentos oncológicos.

Mais informações sobre cada uma das experiências podem ser encontradas nas páginas www de cada área em <http://www.lip.pt/experiments>

Actualmente, a maior parte das experiências em que o LIP participa estão na fase de estudo e implementação, existindo a possibilidade de desenvolver trabalho na concepção, implementação, simulação, preparação do *software* de análise de dados e ainda o desenvolvimento de protótipos das diferentes experiências. Prevê-se que dentro de quatro anos grande parte destas experiências esteja na fase de aquisição de dados.

Pedro Assis

## CFIF WORKSHOP

### "Time Asymmetric Quantum Theory: The Theory of Resonances"

IST, 23 - 26 July 2003

*Topics:*

Resonance theory; the Rigged Hilbert space; group and semi-group representations; time evolution; time asymmetry; relativistic formulation.

*Applications:*

Experimental observation of resonances in various fields; the search for doublets and accidental degeneracy.

*Organizing Committee:*

Arno Bohm (Univ. of Texas, Austin)  
Lídia S. Ferreira (IST, Lisbon)  
M. Gadella (Univ. of Valladolid)  
Nathan Harshman (Rice Univ. Houston, Texas)

<http://gtae3.ist.utl.pt/~res2003/>

# VIAGENS NO TEMPO

por Miguel Paulos

“*Heavier-than-air flying machines are impossible.*” (Lord Kelvin, president, Royal Society, 1895).

Depois destas sábias palavras ditas na sua época por um físico dito ‘sério’, aconselho qualquer pessoa com uma mente aberta (não obstante um olhar crítico) a ler este artigo e também a não torcer o nariz perante um paper com “Viagens no Tempo” escrito no título...

## Relatividade Restrita e Creme Anti-rugas

Começo por abordar a viagem ao futuro. Desde 1905 que se sabe que é possível viajar para o futuro. Foi nesta data que Einstein publicou o seu célebre artigo, “Sobre a electrodinâmica dos corpos em movimento”. Escondido sob este título algo obscuro, jaz uma pérola da física do século XX: a Relatividade Restrita!

Para além da equação  $E = mc^2$ , pela qual é mais conhecida junto do público, uma consequência importante desta teoria é que as percepções do espaço e do tempo dependem do movimento relativo do referencial em que nos encontramos.

Em termos práticos, o que isto quer dizer é que para a próxima vez que virem alguém a fazer jogging, se olharem MUITO atentamente para o seu relógio, serão capazes de ver que os ponteiros parecem deslocar-se a uma velocidade 0.0000000000000014 vezes menor que o vosso! (apesar de para ele tudo se passar simetricamente... do seu ponto de vista, é o **nosso** relógio que anda mais devagar).

Assim, ao fim da corrida, o corredor envelheceu menos que vocês. Claro que já perceberam que não é por aí que vão ficar mais novos. Mas, se pudéssemos correr a velocidades próximas da da luz, como o fazem as partículas elementares, então os efeitos seriam bem visíveis...

Por exemplo, se eu saísse de casa às 17h e fosse dar uma corridinha a 97% da velocidade da luz durante 15 minutos, quando chegasse a casa seriam seis da tarde. De certa maneira viajei para o futuro! Este é o nosso primeiro resultado.

Assim, se treinarem as vossas pernas o suficiente para correr a 1047600000 km/h, os vossos amigos vão morrer de inveja, pois vocês só ganham uma ruga por cada quatro das deles...

## Nós mentais

Os inúmeros “paradoxos” inerentes às viagens no tempo são capazes de dar a volta à cabeça a qualquer um... Senão vejamos: imagine-se que um cientista inventa uma máquina do tempo. Como bom samaritano, resolve viajar para trás no tempo para resolver os grandes males do mundo. Decide começar

por tratar da saúde ao Hitler! Viaja no tempo até à infância do dito senhor, e submete-o a um tal tratamento de choque que este fica mais bonzinho que a Madre Teresa de Calcutá. E pronto, não há segunda Guerra Mundial, holocausto, etc. Ou será que... Vejamos. Se o cientista realmente pôs o Hitler bonzinho, então de certeza que quando inventou a sua máquina do tempo nunca tinha ouvido falar dele. Logo, nunca viajaria no tempo para o tornar uma pessoa melhor. Mas se ele não o tornar uma pessoa melhor, então ele fica o tirano conhecido de toda a gente que despoletou a segunda grande guerra. Confusos?! É normal!

O grande problema com as viagens para o passado, é que parecem impor restrições *a priori* no que se pode fazer, que não parecem nada naturais. Se quisermos evitar paradoxos, algo deve acontecer que nos previna ou de viajar para trás

no tempo, ou de provocar alterações no passado que sejam inconsistentes com o futuro. Apresento agora algumas perspectivas sobre estes paradoxos e a sua resolução.

## Topologia, pontos fixos e seus benefícios para a fotografia.

Imaginemos que conseguimos construir uma máquina do tempo. Um físico resolve experimentar o seguinte esquema. Coloca um filme fotográfico preparado de modo a captar a imagem do que quer que saia da máquina do tempo. Em seguida, revela o filme, ficando com o negativo.

Pega no negativo e envia-o para o passado, para o instante em que a fotografia foi tirada (ou seja, o filme fotográfico capta uma imagem de si próprio vindo do futuro).

Ora, o problema é que, como se sabe, um filme fotográfico ao ser revelado fica com o *negativo* da imagem ao qual é exposto. Isto parece provocar um paradoxo. Por exemplo:

- Sai uma fotografia da máquina, completamente em branco
- O filme capta a imagem da fotografia
- A filme é revelado e sai completamente negro (o negativo do branco)
- O filme revelado é enviado para o passado.
- Mas então a fotografia que veio do futuro não era branca?

No entanto, existe uma solução ao nosso paradoxo! A fotografia que sai da máquina é uniformemente



cinzenta. Desta forma, quando o filme captar a imagem também fica uniformemente cinzento e tudo é coerente, sem qualquer imposição nas condições iniciais! Este é o princípio básico da ideia que Wheeler e Feynman(1949) propõem: a solução de certos paradoxos invocando continuidade.

Em geral:

Começamos com um certo sistema que começa num estado  $S_1$ ; interage com um objecto que sai da máquina do tempo (que é a versão mais velha dele próprio); viaja para trás no tempo; interage com a sua versão mais nova; prossegue o seu caminho.

Assuma-se que os estados do sistema podem ser representados pelo produto cartesiano de  $n$  intervalos fechados de números reais (por exemplo, um quadrado ou um paralelepípedo), e que o processo de interacção é contínuo. Então, por um teorema de ponto fixo (Hocking and Young, 1961), para todo o estado inicial do sistema  $S_1$ , existe um estado  $S_3$  do sistema envelhecido, tal que  $S_1$  é transformado em  $S_3$ .

Conseguimos assim, sem impôr quaisquer condições iniciais, resolver o aparente paradoxo!

No entanto, o leitor mais atento nota imediatamente que este resultado não resolve todos os nossos problemas. Imaginem que um matemático chato (tinha de ser!), resolve, por exemplo, somar a um número inicial escrito num papel o número que sair da máquina do tempo. É fácil ver que existem infinitas soluções, desde que o número inicial seja 0. Se o número inicial não for zero, não existe solução! Assim, o matemático seria forçado a escolher o número zero como número inicial. A razão deste constrangimento não é nada óbvia...

Vemos que a hipótese de Wheeler e Feynman, apesar de não nos libertar de todos os paradoxos, dá-nos no entanto algumas pistas em como os resolver.

### Linhas Temporais Fechadas em Relatividade geral

Em relatividade geral, parece haver grandes possibilidades para viagens no tempo. De facto, parece haver muitos espaços-tempo compatíveis com as equações fundamentais da teoria em que existem curvas temporais fechadas, isto é, trajectórias no espaço-tempo em que nunca se ultrapassa a velocidade da luz, e em que ao fim de um certo tempo se volta a um ponto em que já se esteve (tanto no espaço como no tempo). Ou seja, viaja-se no tempo!

Com um modelo simples, podemos ver muitas coisas estranhas que podem acontecer...

Considere-se um espaço-tempo bidimensional, em que existe uma pequena bola. Este espaço-tempo é simplesmente o plano euclidiano. Para construirmos a nossa máquina do tempo, alteramos a topologia, "colando" uma linha  $L_-$  a uma outra  $L_+$ , de tal maneira que partículas que "entrem" em  $L_+$ , "saiam" em  $L_-$ :

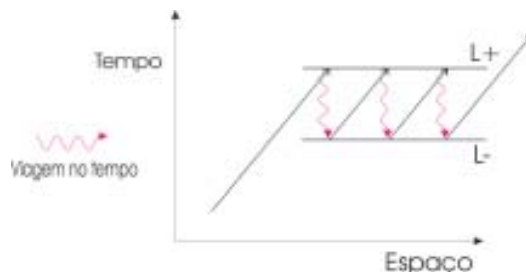


A questão agora é saber se existem constrangimentos no tipo de informação que podemos colocar em  $t=0$ , devido ao facto de existir uma região em

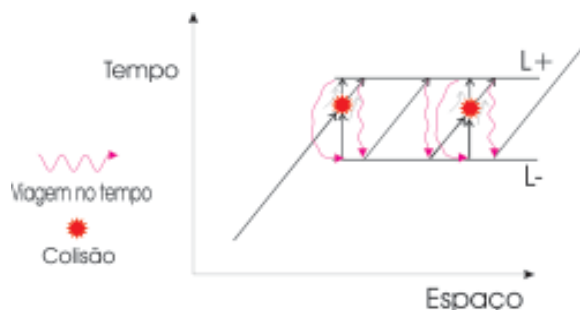
que existem viagens no tempo (designada abreviadamente por RVT - Região de Viagens no Tempo).

Uma outra é, se de facto houver sempre solução, esta é única?

As respostas são respectivamente sim e não. Ou seja, podemos colocar inicialmente o que quisermos, mas existem infinitas soluções! Por exemplo, a solução mínima para uma partícula que entra na região de viagem do tempo vinda da esquerda é a seguinte:



Mas, como o único constrangimento imposto é que o que sai de  $L_-$  tem de entrar em  $L_+$ , adicionar linhas verticais cria uma nova solução:



Qual a interpretação desta solução? A partícula entra na região de viagem no tempo. Aí, encontra uma versão velha de si própria em repouso. Choca com ela, e fica por sua vez em repouso. Passado algum tempo, encontra uma versão mais nova de si própria que choca consigo e lhe dá momento. O processo repete-se novamente até que a partícula sai da RVT.

Vemos assim que, ao contrário do que se possa pensar, o problema aqui não é o paradoxo, a inexistência de solução, mas sim a indeterminação!! Um resultado deveras surpreendente. De facto, existem infinitas soluções que satisfazem as condições iniciais... A maneira de como a natureza escolheria a solução correcta não pode ser prevista por este modelo.

Vamos tentar criar um paradoxo. Fazemos o seguinte: enviamos a partícula para a RVT. Ora, a partícula é enviada de tal maneira, que volta atrás no tempo, choca consigo própria no passado, prevenindo-se de viajar no tempo! Isto é feito colocando um espelho perfeitamente reflector do lado direito.

Assim:

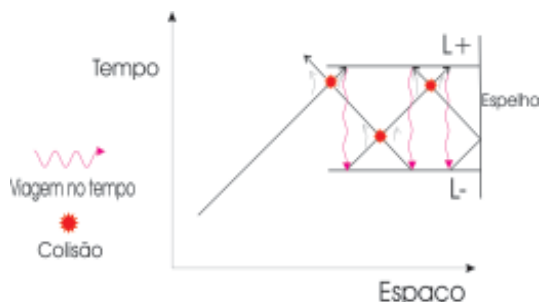
Se a partícula entrar na RVT, é deflectida e não entra.

Se a partícula não entra, não existe nada para a deflectir, e então entra.

Como resolver o paradoxo? De facto existem várias soluções. Uma delas seria o seguinte diagrama:

Como podemos ver, a partícula nunca chega a entrar na RVT. É deflectida por uma OUTRA partícula confinada à RVT. De facto, existem agora 4 partículas no

diagrama: a partícula original, mais cinco que estão aprisionadas nas curvas temporais fechadas.



O paradoxo surge por assumirmos que o facto de apenas existir uma partícula fora da RVT implica que dentro desta região a partícula só poderá interagir com a sua versão mais nova (ou antiga). Mas não há maneira de prever o que vai sair de L-. A única suposição que é feita é que o que sai de L- tem de coincidir com o que entra em L+.

Assim, se alguma vez construírem uma máquina do tempo, pode ser que sejam simplesmente prevenidos de entrar nela, por qualquer fenómeno estranho que saia de lá de dentro!

### Conjectura de Protecção Cronológica, a.k.a. 11º Mandamento: “Não viajarás para o passado”.

Esta conjectura foi proposta por Stephen Hawking para designar o que ele prevê que seja a maneira da Natureza resolver todos estes paradoxos. Do seu ponto de vista, sempre que se tentar construir uma máquina do tempo deverá acontecer alguma catástrofe que previna algo de entrar nela.

Esta hipótese é apoiada por alguns cálculos, que apontam que no preciso momento em que a máquina do tempo fica pronta, explode antes que alguma coisa possa passar por ela!

A construção de uma máquina do tempo surge de uma ideia de Kip Thorne (<http://www.astro.caltech.edu/people/bluebook/thorne.html>), em 1980, enquanto efectuava um estudo para Carl Sagan. Este queria arranjar uma maneira plausível da protagonista de *Contacto* viajar no espaço interestelar de um forma rápida, com as leis da física conhecidas. Kip Thorne respondeu com as pontes de Einstein-Rosen, mais conhecidas por *wormholes*. Estas são passagens de uma região no espaço-tempo para outra, com o “pequeno” inconveniente de só durarem uma fracção de segundo e serem mais estreitas que o núcleo de um átomo. Nem um fóton conseguiria atravessá-las! Não demorou muito a se perceber que tal como os *wormholes* permitiam viajar de um local para outro, também permitiam viajar no tempo. Restava o problema de manter um *wormhole* estável...

A solução é a chamada “matéria exótica”. Esta funciona como uma espécie de energia negativa, como a que aparece no efeito Casimir (esta energia negativa foi medida experimentalmente por este mesmo efeito; ver também <http://www.hawking.org.uk/lectures/warps3.html>).

O interesse deste tipo de matéria é que funciona como antigravidade, alargando o *wormhole* o suficiente para algo passar através dele. O problema é que a quantidade de energia necessária para isto seria equivalente à massa de Júpiter!



Wormhole

Não obstante este problema ‘menor’, como fazer a nossa máquina? Thorne propõe pegar nas duas bocas de um *wormhole* e levar uma numa viagem a velocidades elevadas. Como já vimos, o tempo passa mais devagar num referencial em movimento, e assim teríamos duas regiões no espaço-tempo ligadas, mas em tempos diferentes. Voilá! Uma máquina do tempo!

A conjectura de protecção cronológica surge, porque no preciso momento em que um fóton por exemplo tenta entrar na máquina, os cálculos indicam que surge uma espécie de efeito fonte em que o fóton ganha cada vez mais energia, e a máquina rebenta!

Assim, pode ser que a própria natureza previna as viagens no tempo para garantir a auto-consistência da história...

### Conclusão

Ainda haveria muito para dizer sobre viagens no tempo, mas já não há espaço para isso! Desde que Kip Thorne, cientista reconhecido, publicou os seus resultados, muitos outros papers foram publicados em revistas científicas de renome, com discussões altamente técnicas sobre viagens no tempo.

Existe muito material também na Internet, mas aconselho o leitor a ter cuidado com as fontes a que se dirige, pois é sabido o lixo intelectual que flutua na rede...

Despeço-me assim, com o desejo de que o leitor tenha ficado com uma mente mais aberta, e que “não negue à partida uma ciência que não conhece” ;)

Miguel Paulos

### Referências:

- <http://plato.stanford.edu/entries/time-travel-phys/>
- [http://www.biols.susx.ac.uk/home/John\\_Gribbin/](http://www.biols.susx.ac.uk/home/John_Gribbin/)
- <http://www.pbs.org/wgbh/nova/transcripts/2612time.html>
- <http://www.hawking.org.uk/lectures/warps3.html>



# Um *Summer Student* no CERN

por **Pedro Martins**

Sou estudante do 5º ano da LEFT e estou a fazer o TFC (Trabalho de Fim de Curso) no CFIF, que é o centro de investigação de que vou falar. A verdade seja dita, eu não devo ter conhecimento de mais do que 20% do que lá se faz, mas vou dar o meu melhor.

O CFIF (Centro de Física das Interações Fundamentais) é um centro pertencente ao IST que trabalha essencialmente em temas relacionados com Física das Altas Energias, Física Nuclear e Física Hadrónica, Física da Matéria Condensada, Geometria Diferencial, Relatividade e Cosmologia... O que é que isso significa? Há uns tempos atrás, eu teria pensado: "Mais um centro teórico... nada que me interesse". Afinal, acabei por verificar que as coisas não são bem assim. O CFIF envolve-se há já bastante tempo (tanto quanto eu saiba) em Física Experimental "a sério", tanto a nível de pessoas como financeiro. Este envolvimento fomentou a recente formação de um grupo interno de Física Experimental. Como qualquer centro do Departamento de Física, o CFIF também aposta na formação de alunos (licenciatura, mestrado, doutoramentos e pós-graduações).

Como fui lá parar? O meu caso (assim como o do Ricardo Fradinho, o meu colega de grupo) foi engraçado e inovador. Nós fizemos a cadeira de Sistemas de Aquisição de Dados numa experiência do CERN chamada NA60, aproveitando a oportunidade para integrar o programa de *Summer Students* (Estudantes de Verão) do CERN. Esta experiência possui um elevado número de colaboradores portugueses, o que tornou a adaptação ao ambiente de trabalho mais simples. Além de nós, neste Verão estiveram mais três alunos a integrar o programa de Estudantes de Verão, através do CFIF.

Um Estudante de Verão é basicamente um aluno de licenciatura (acho que também havia uns alunos de mestrado) que é inserido numa experiência do CERN, sendo-lhe atribuído um interno do CERN como supervisor. Entre as tarefas que nos foram atribuídas (e as festas organizadas), também houve tempo para assistir a conferências dadas por investigadores, especificamente concebidas para nós, num grande leque de temas diferentes.

Para mim, foram dois meses sensacionais, onde aprendi muito nas áreas que de facto eu gosto (electrónica, informática e física) e conheci pessoas de todo o mundo. E não, não me estou a esquecer do pormenor turístico! Afinal de contas, não é todos os dias que se vai a Genebra!

Após o tempo que passei no CERN, fiquei interessado pela Física de Partículas e decidi continuar a trabalhar pelo CFIF em NA60 (pelo menos, até me mandarem embora...). Foi assim que acabei por escolher um TFC relacionado com essa experiência e que, do meu ponto de vista, é exactamente o que eu queria, porque tem a dose certa de teoria e de experimentalismo (não necessariamente numa proporção de  $\frac{1}{2}$ , :)

Habitualmente, o primeiro contacto que o aluno da LEFT tem com o CFIF é em cadeiras relacionadas com a Física Moderna, como as nossas "queridas" Mecânicas Quânticas, Introdução à Teoria de Campo e Introdução às Teorias de Unificação, entre outras. Pessoalmente, a ideia que eu tive dos Centros de Investigação mudou muito quando comecei a integrar uma equipa onde senti que, de facto, era útil e que aquilo não era apenas mais uma aula de Física Experimental ou uma avaliação qualquer. É evidente que este sentimento não se aplica apenas ao CFIF. Colegas meus que trabalham no GOLP, CFN, LIP, etc..., já me disseram exactamente o mesmo.

Antes de acabar, gostava de desmascarar um mito: não é preciso ser um "grande cromó", um excelente aluno para integrar um centro de Física (eu não sou...). É evidente que as pessoas são escolhidas, mas essa escolha é feita através duma ponderação da capacidade de trabalho da pessoa, dos conhecimentos adquiridos e da sua adaptabilidade ao ritmo de trabalho que pretendem, entre outros.



CERN - Vista de topo



CERN - LEP (interior)

Pedro Martins

# A Juventude ao Encontro da Ciência

por **Ricardo Monteiro**

Fruto do gosto pela Ciência e da iniciativa juvenil, a AJC (Associação Juvenil de Ciência) é uma associação formada e dirigida exclusivamente por jovens. A sua finalidade é a promoção e difusão de actividades culturais, científicas e educacionais entre os jovens em geral e os sócios em particular (Pt. Nº 1, Art. 2º dos Estatutos).



Apoiada em quatro Núcleos Regionais (Lisboa, Porto, Coimbra e Braga), a AJC organiza regularmente um conjunto de actividades únicas para a juventude portuguesa. Pela sua dimensão e longevidade, destacam-se as três principais:

- O Encontro Juvenil de Ciência (EJC). Desde 1983, cerca de 70 rapazes e raparigas, entre os 15 e os 23 anos, reúnem-se anualmente em Setembro para o maior congresso de Ciência juvenil do País. Concorrem à participação com um trabalho de carácter científico, de tema, tratamento e extensão livres. O programa, normalmente para 10 dias, compreende: palestras com alguns dos mais notáveis professores/investigadores do panorama nacional, grupos de trabalho práticos de acordo com as áreas de interesse dos participantes, visitas de interesse científico e lúdico, muito convívio e, o mais importante, a apresentação dos trabalhos pelos participantes. É a actividade emblemática da AJC e o marco do ano associativo.

- O Encontro de Jovens Investigadores (EJI). Em crescente afirmação e já com nove edições, o EJI persegue um dos principais objectivos da Associação: o contacto com as escolas. Por volta da Páscoa, durante um fim-de-semana prolongado, Clubes de Ciência de todo o País juntam-se e divulgam os trabalhos que têm desenvolvido através da montagem de uma Feira de Ciência. Trabalhos esses regularmente premiados em concursos e mostras internacionais. Escolas que pretendam criar um Clube de Ciência podem também participar e tirar daí algum proveito. Outra particularidade do EJI que enriquece o programa e reforça a natureza do encontro é o modelo da sua organização: é feita em parceria com uma escola que, para tal, se auto-propõe.



*Nono EJI - Encontro de Jovens Investigadores*

- A revista CiênciaJ. Distribuída gratuitamente pelas escolas de ensino básico e secundário de Portugal, pelos sócios da AJC, por instituições dedicadas à juventude e por todas

as pessoas e entidades que a solicitam, este periódico conta já com mais de 5 anos de edição regular (agora trimestral) e uma tiragem superior a 3000 exemplares. Nele são divulgadas as principais actividades da Associação e outras de divulgação científica, mas o seu conteúdo consta fundamentalmente de artigos dos Grupos da AJC, de sócios particulares ou de quaisquer cidadãos interessados e de trabalhos apresentados nos encontros.

Mais informações podem ser encontradas na página (quase toda) actualizada da AJC: [www.ajc.pt](http://www.ajc.pt). É possível encontrar aí o Relatório de Actividades do XX EJC, realizado em Lisboa, em Setembro passado, e, em breve, a apresentação da vigésima primeira edição, este ano no Porto; os últimos testemunhos do IX EJI, organizado em Abril, na Covilhã, em (excelente) parceria com a Escola Secundária Campos Melo; e todas as edições da revista CiênciaJ, online mesmo antes de chegar a casa! Isto apenas no referente às actividades acima mencionadas. O restante fica para os curiosos.

Mas não é só dos grandes projectos que vive a AJC. É da responsabilidade dos Núcleos Regionais organizar localmente outros eventos, como os Cursos de Construção e Lançamento de Microfoguetes, ministrados pelo Grupo de Técnicas Aeroespaciais da AJC, os Cursos de Introdução à Fotografia, pelo Grupo de Imagem e Fotografia, sessões de esclarecimento e educação sexual, para os mais e os menos novos, e os míticos Jantares Científicos, amenos debates à mesa com convidados que têm muito para ensinar. Actividades como estas podem ser incluídas em iniciativas para as quais a AJC é solicitada.

E assim é, com algumas variações, nomes diferentes e melhores ou piores momentos, desde 1987, ano em que a envergadura dos já firmes Encontros Juvenis de Ciência levou à fundação da AJC. O tempo tem também revelado o destaque no campo da investigação e da divulgação alcançado pelos “antigos jovens”.

O que custa então ser sócio? Espírito científico, capacidade de empreendimento e 7 € por ano (apenas a partir dos 18 anos de idade). Os arquivos da AJC contam hoje com mais de 1400 sócios, embora as primeiras centenas tenham já sido “reformadas”: os 30 anos são a idade limite para um jovem cientista...

Como não poderia deixar de ser, os alunos do Técnico sempre tiveram um papel fundamental na AJC. As últimas moradas da Sede nunca se afastaram muito das redondezas da Alameda e a nova, em Picoas, quase à

saída do Metro, que esperamos estar já em pleno funcionamento quando este artigo for publicado, foi escolhida com a incontornável preocupação da facilidade de acesso para os universitários lisboetas.

\*\*\*\*\*

Conheci a AJC em 1999, tendo participado no XVII EJC, e é com empenho que continuo ligado a uma Associação que, no meu entender, tem um papel importante. Uma Associação que procura ser um ponto de encontro para todos os jovens com interesse em Ciência&Tecnologia e um apoio para os professores que não ganham mais do que cabelos brancos por acompanharem seriamente os seus alunos.

O associativismo juvenil é normalmente uma das primeiras vítimas de



uma situação financeira difícil. Procuramos agora concentrar esforços no essencial. Como sempre, importa divulgar – chegar aos interessados. Todos os recursos são poucos. E a divulgação mais eficaz é ainda a palavra directa. Poderíamos formular aqui um lema, que seria mais uma interpelação ao leitor: connosco ou a falar por nós.

O Presidente da AJC,

*Ricardo Monteiro*

Contactos:

Associação Juvenil de Ciência

Rua Tomás Ribeiro, 40, RC

Tel. 218 162 597/8

Tlm. 962 357 837 / 962 694 607 / 933 376 072

Página: [www.ajc.pt](http://www.ajc.pt)

E-mail: [ajc@ajc.pt](mailto:ajc@ajc.pt)

---

## *Carta ao Editor*

No exemplar do Pulsar, Número 17 de Outubro de 2002, foi publicada uma entrevista ao Nobel da Física Dinamarquês Professor Ben Mottelson, conduzida por Luís Silva e traduzida por Marta Correia. Gostava de chamar a atenção para os seguintes pontos.

O Professor Mottelson, esteve em Lisboa como um dos Professores da XIX Escola de Outono do CFIF sobre “New trends in nuclear radioactivity”, que reuniu os especialistas mundiais mais importantes desta área. Não veio para um conjunto de conferências, como está escrito.

A segunda questão que gostava de fazer notar foi o corte infeliz de duas perguntas da entrevista, onde se fazia referência à Física Nuclear (FN) em Portugal e à importância das suas técnicas noutros campos. O Prof. Mottelson é físico nuclear, ganhou o Nobel pelo trabalho desenvolvido em F.N. e, portanto, as suas opiniões sobre a FN são necessariamente relevantes. São estas opiniões que passo a transcrever.

“What do you think about Nuclear Physics in Portugal, the study and the applications?”

Prof. B. M.: “I don’t even know what’s going on. It’s the first time that I come to Portugal! I’ve known Lídia since her time in Copenhagen. I learned much about what is going on. It’s very high quality so I enjoy the chance to talk to the people here.”

“And about Physics, not nuclear Physics, the other fields of Physics?”

Prof. B. M.: “Well, these many body problems are an amazing thing that there is so much structure and so many marvelous and subtle correlations and collective motions that can be discovered and then learned about in nuclear physics and found again in these other systems. It’s a big change also in a way that Physics spends so much time studying things that are very far from objects that are of our size or that we can use. Artificial nuclei or artificial atoms that can be created by ingenuity of scientific techniques open a whole new world of challenging problems and marvelous and subtle connections. It’s a marvelous challenge for us.”

É muito importante que a Física Nuclear mereça também em Portugal a atenção que tem internacionalmente.

*Lídia Ferreira*  
*Professora do Dep. Física/IST*



# Centro de Fusão Nuclear

## O limiar do conhecimento ao serviço do Homem

por João Figueiredo

Quem disse que a Física é uma ciência distante e complexa, à qual só se dedicam génios que se embrenham em cálculos e deduções abstractas? Todos os dias no Instituto Superior Técnico prova-se que a realidade é bem diferente!

O CFN (Centro de Fusão Nuclear) é um dos centros de investigação que nisto mais se destaca, dando provas que a Física não é uma forma de saber desligada do real.

Aprendendo com o passado, empenhando-se com o presente, e a pensar no futuro estão uma série de cientistas que, trabalhando em áreas como as Micro-Ondas, a Electrónica Rápida, o Vácuo, a Óptica Aplicada, os Plasmas, etc, constituem e dão forma ao CFN.

O objectivo principal destes Físicos é, em conjunto com os seus colegas a nível internacional, possibilitar a construção de reactores onde, de forma estável, se obtenha energia eléctrica, dando uso a uma fonte na prática inesgotável: a Fusão Nuclear.

A Fusão Nuclear é, por excelência, a fonte de energia do Universo. Todas as estrelas e, em particular, o nosso Sol “funcionam” a Fusão.

A meta a atingir é a fusão num plasma, de iões de trítio e deutério (isótopos mais pesados do Hidrogénio). Isto, de modo a conseguir na Terra uma reacção controlada e estável no tempo. Este processo será, num futuro próximo, uma fonte de produção energética alternativa aos métodos convencionais.

O combustível para este processo, o Hidrogénio, é virtualmente inesgotável dado que é o elemento mais abundante do Universo. A inexistência de emissões de gases de estufa e a não produção de resíduos radioactivos de longa duração, são outras importantes vantagens da Fusão Nuclear.

A principal desvantagem deste processo está na dificuldade actual de manter uma reacção durante longos períodos de tempo. O confinamento do plasma de uma forma estável, o seu aquecimento e

manutenção a temperaturas ele-vadíssimas (centenas de milhões de graus Kelvin) não é tecnicamente fácil!

Posto isto, e à semelhança do que se faz noutras áreas da investigação científica, conjugam-se esforços a nível mundial. Deste modo, as dificuldades financeiras são superadas e tecnologia mais eficaz é rapidamente desen-volvida.

O CFN é, em Portugal, o centro de investigação que, de forma mais activa, coordena e realiza o trabalho de investigação decorrente da associação de Portugal com

a EURATOM (European Atomic Energy Community) e em acordos como a EFDA (European Fusion Development Agreement).

Um dos frutos da associação da EURATOM com o IST é o projecto Tokamak-ISTTOK. Este garante a existência dum pólo experimental, a nível universitário, baseada na operação de um pequeno reactor do tipo Tokamak. Esta experiência permite a formação e o estudo de Física de Plasmas e de tecnologias associadas à fusão nuclear.

É este “trabalho de equipa” que permite a realização de grande projectos internacionais e a participação do CFN em actividades experimentais, em

reactores do tipo Tokamak de média ou grande dimensão, como o ASDEX, o TJ-II, o MAST, o TCV e, destacando-se destes, o JET (Joint European Torus).

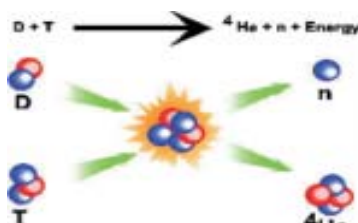
O JET é o maior reactor Tokamak (forma toroidal) em funcionamento e o único onde se verificam reacções do tipo deutério-trítio. É igualmente o JET que detêm os records de potência produzida por fusão e de tempo máximo de uma reacção de fusão em laboratório.

Os resultados obtidos no JET, e nos vários reactores tokamak no mundo, forneceram uma sólida base técnica e científica para se dar o passo seguinte, a construção dum novo reactor, o ITER.

O ITER que, em latim, significa “o caminho”, será o reactor experimental que poderá, segundo os especialistas, preceder já o protótipo de reactor comercial para produção eléctrica. Apesar de ser ainda um reactor de testes experimentais, já possuirá o que se julga vir a ser a tecnologia



Imagem do interior do Reactor JET em repouso e em funcionamento



Reacção de Fusão Deutério - Trítio  
 $D+T \Rightarrow He + n + 17,6 \text{ MeV}$



Diagrama de Perfil do JET

empregue num reactor de fusão numa central energética num futuro bem próximo.

Este novo reactor terá cerca de 2 a 3 vezes o tamanho do JET. Ao contrário deste que consome mais energia do que aquela que produz, o ITER fornecerá aproximadamente 10 vezes mais energia do que a que consome para obter fusão. Em termos técnicos, designa-se a esta razão, entre a energia produzida e a energia obtida, por quociente Q. Actualmente no JET obteve-se um máximo para o quociente Q de 0,6, ou seja, o JET devolve “no máximo” 60 % da energia que utiliza.

Apesar de ser preciso mais energia para aquecer o plasma do ITER, dado que o reactor será maior e trabalhará a temperaturas superiores ao JET, os campos magnéticos que garantirão o confinamento do plasma serão produzidos por fios supercondutores. Estes praticamente não precisam de consumir

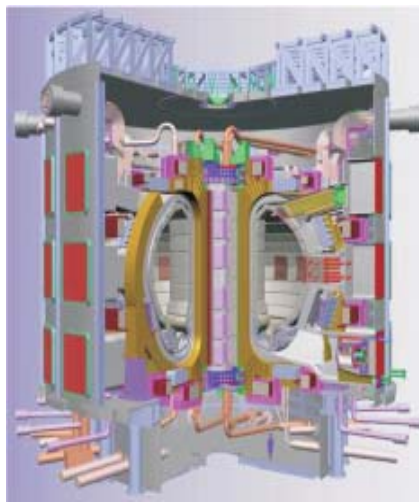


Imagem esquemática do ITER

energia para manter a corrente e, consequentemente, o campo magnético criado.

O início da construção do ITER aproxima-se assim a grande velocidade. A localização do ITER será escolhida de entre um dos 4 locais candidatos: Cadarache, França; Vandellós, Espanha; Rokkasho-Mura, Japão; Clarington, Canadá.

Recentemente (18 de Fevereiro) em São Petersburgo, o ITER “ganhou” dois participantes de “peso”, a China e os Estados Unidos que aderiram à União Europeia, Canadá, Japão e Rússia no projecto.

O financiamento do projecto está já previsto no Sexto Programa

Quadro da União Europeia que, num orçamento de 750 milhões de Euros para a investigação em Fusão, inclui já 200 milhões de Euros para a construção do ITER.

Os resultados deste esforço científico serão os alicerces para a construção da primeira central eléctrica alimentada a Fusão Nuclear. Pela segunda metade deste século, a Fusão poderá estar a fornecer parte significativa da produção mundial de energia! Com satisfação vê-se Portugal, pelo punho do CFN, a dar o seu empenhado contributo em mais uma área científica e tecnológica de ponta.

João Caiado Figueiredo



Cadarache, França

Clarington, Canadá

Rokkasho-Mura, Japão

Vandellós, Espanha

Para saberes mais:

- <http://www.cfn.ist.utl.pt/>
- <http://www.iter.org/>
- <http://www.jet.efda.org/>
- [http://europa.eu.int/comm/research/energy/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/energy/index_en.html)

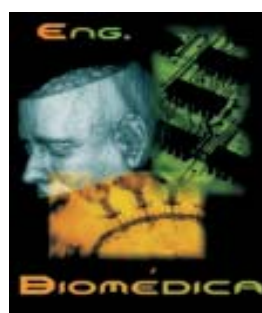
## 2º ENCONTRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA

A Coordenação da licenciatura de Engenharia Biomédica está a organizar o 2º Encontro de Engenharia Biomédica IST/FML que desta vez se realizará no Instituto Superior Técnico no dia 1 de Outubro de 2003.

O Encontro irá decorrer ao longo do dia (das 9h às 18h) e, embora ainda não seja possível revelar muitos pormenores, estão desde já todos convidados para uma iniciativa que pretenderá divulgar o curso, bem como dar a conhecer esta nova área ainda pouco explorada em Portugal.

Contamos convosco, estejam atentos às próximas divulgações onde poderão saber mais informações acerca deste evento.

Visitem também a página oficial de LEBM: [www.fisica.ist.utl.pt/~biomedica/](http://www.fisica.ist.utl.pt/~biomedica/)



# Grupo de Lasers e Plasmas

por Jorge Santos

Com este pequeno artigo pretendo dar a conhecer um dos grupos de investigação pertencentes ao Técnico, Grupo de Lasers e Plasmas, GoLP. O GoLP é constituído por dez doutorados, onze estudantes de pós-graduação e oito estudantes de licenciatura num total de vinte e nove pessoas.

Este grupo, liderado pelo Professor Tito Mendonça, e integrado no Centro de Física de Plasmas, está essencialmente dividido em duas frentes de investigação: uma vertente experimental e uma vertente teórica, na qual me integro, que por sua vez também tem uma componente de simulação. É por isso natural que no meu artigo se mencione com maior frequência o modo de funcionamento da vertente teórica. Devo, no entanto, salientar que no GoLP existe uma forte interligação entre o trabalho teórico e experimental.

Anualmente o GoLP lança estágios para não licenciados do segundo ao quarto ano de licenciatura. No quinto lançamento de estágios candidatei-me a um lugar neste grupo de investigação. Segue-se então uma entrevista, onde, entre outras coisas, decidimos onde gostaríamos de trabalhar e finalmente o veredicto. A selecção dos candidatos não é feita só com base nas notas alcançadas até então, mas depende de muitos outros factores avaliados durante a entrevista.

O que levou candidatar-me foi o facto de não ter experiência de trabalho científico, e ainda porque gostava de perceber como se faz investigação. Quando chegamos ao GoLP, ficamos a saber com quem vamos trabalhar, e qual o assunto onde nos vamos debruçar. O professor com que trabalhamos, no meu caso o professor Luis Silva, é o nosso orientador de estágio. O assunto a estudar pode ser muito variado, engloba, entre outros, os seguintes temas: aceleradores de plasma, aceleração de fotões, física da interacção neutrino-plasma, plasmas complexos, óptica quântica, simulações particle-in-cell (PIC), etc... Todos estes problemas têm um grau de dificuldade bastante variado. Quando começamos, propoem-nos sempre um trabalho à medida dos nossos conhecimentos, no qual aprendemos conceitos necessários ao nosso desenvolvimento no seio do grupo. Este trabalho permite-nos aprender novos conceitos que também serão muito úteis no plano académico. É ainda necessário referir que no GoLP existe um forte incentivo para se continuar a obter boas notas no decorrer do curso.

Temos uma reunião por semana, na qual falamos dos nossos avanços no problema que nos foi proposto, e discutimos a melhor forma de o atacar. É também nessa reunião que tomamos conhecimento com o que os nossos colegas estão a fazer, e dos respectivos avanços, ou contratemplos. Durante o decorrer da semana estamos em contacto com o nosso orientador, e qualquer dúvida que apareça é prontamente respondida. Existe ainda uma forte colaboração com os colegas que trabalham em assuntos próximos, o que nos permite uma fácil

integração no grupo. Uma das grandes vantagens de se trabalhar no GoLP é o excelente ambiente de trabalho. No GoLP trabalham pessoas de diversas faixas etárias, e pessoas de diversas nacionalidades, o que permite um partilha de conhecimentos e culturas bastante cosmopolita. No entanto, a faixa etária dominante é a mais jovem.



Fig. 1 - Zona de interacção na câmara de vácuo

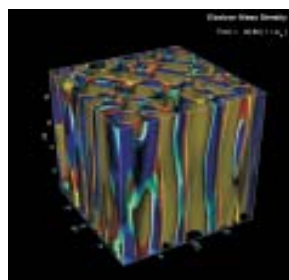
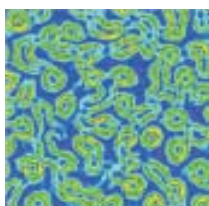
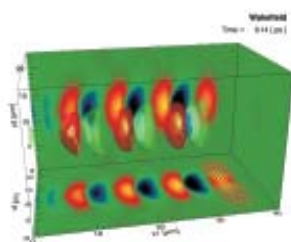
Um dos grandes exlibris do nosso grupo é o Laboratório de Lasers Intensos, o L<sup>2</sup>I. O L<sup>2</sup>I alberga um laser que produz impulsos na ordem dos Terawatt ( $10^{12}$  W), o que permite desenvolver experiências referentes à aceleração de electrões e fotões por interacção com plasma, geração de raios X, segundas e terceiras harmónicas por interacção laser-sólido, estudo do mecanismo de propagação de lasers em sólidos, etc... Temos a relatividade restrita em cima de uma mesa! Na figura 1 podemos observar a zona de interacção no centro da câmara de vácuo. Contudo, este laboratório pode estar em qualquer lugar... Não é óbvio que a ligação de metro entre a estação da Alameda e a estação do Saldanha, não interfira na estabilidade do laboratório... É algo a que todos devemos estar atentos.

Em suma, o GoLP permite que alunos de licenciatura trabalhem com equipamento avançado, como por exemplo L<sup>2</sup>I, o cluster de computadores do GoLP, ou supercomputadores nos Estados Unidos, etc...

Até agora a experiência de trabalho tem um balanço bastante positivo, pois temos a oportunidade de experimentar novas formas de trabalhar e de pensar. O facto de já começarmos a escrever artigos, de preparar e fazer apresentações públicas do nosso trabalho, e de alguns dos nossos trabalhos já serem conhecidos por outros grupos de investigação, proporciona-nos uma óptima experiência a nível profissional. Tal facto ajuda-nos a responder a certas questões relativamente ao futuro, como, por exemplo, a de seguir uma carreira de investigação. Ficamos ainda a conhecer a forma de se fazer ciência, e a conhecer um pouco da ciência de fronteira. Sabemos que fazemos parte de um grupo no qual o trabalho é estimulante, em que contribuímos para o esforço global do grupo, e em que sentimos que continuamente trabalhamos em prol da Ciência Universal.

Para mais informações consulte <http://cfp.ist.utl.pt/GoLP>.

Jorge Eduardo Santos



# Info NFIST

Caros Colegas,

Durante este ano lectivo, foram inúmeras as actividades promovidas pelo NFIST. De todas estas, destacam-se 26 dias de actividades do Circo (sem exagero) quer em escolas, quer em eventos como a Semana da Ciência e Tecnologia, o Fórum Estudante, a Feira do Livro ou ainda na bem conhecida Semana da Física! A Astro também não tem parado, organizando semanalmente, e por vezes mais do que uma vez por semana, observações astronómicas. O Pulsar, contando com esta, editou três edições com um novo formato e integralmente a cores! Além do mais, e como vocês bem o sabem, o NFIST foi organizador oficial do 5º Encontro Nacional de Estudantes de Física, decorrido de 14 a 16 de Março de 2003 (a propósito, para os participantes, os diplomas estão na Sala de Alunos à vossa espera).

Era nosso objectivo, assim que entrámos em funções, o ressuscitar da Secção de Informações, mais conhecida pela "A Informativa". Pois bem, é com muito orgulho que inauguramos a nova Informativa em todo o seu esplendor: esta consiste numa página da Internet interactiva, de seu endereço <http://nfist.ist.utl.pt>. Esta página contém toda a informação referente a cada ano do nosso currículo, como sejam datas de exame, testes, páginas de cadeira, ou avisos dos delegados. Lá também pode encontrar uma secção lúdica e desportiva ou anúncios diversos.

Como foi dito, a página é totalmente interactiva, pelo que a informação que lá está é posta por ti... Para inserir informação na página, é necessário fazer o login, que está disponível para os sócios do NFIST. Quem não o é, basta fazer a inscrição.

O NFIST oferece-vos ainda mais uma novidade: O Circo da Física tem uma nova página, renovada desde raiz; com uma nova imagem, mais conteúdo e uma série de links curiosos. Torna-se uma página de navegação leve e interessante. Vale a visita a <http://circo.nfist.ist.utl.pt>.

Com o ano a terminar, e com o novo ano no horizonte, novos projectos estão na calha! Portanto, caros amigos, para quem queira participar, quer nas saídas do Circo, quer no trabalho para o Pulsar, nas páginas da Internet ou nos programas da Astro (e muito mais!), é tão fácil quanto inscreverem-se como colaboradores... e colaborar.

Com o desejo do maior sucesso para os exames,

O NFIST  
(O nfixe é fist!)

PS: O NFIST tenciona tratar da recepção aos caloiros e portanto conta convosco para, juntos, organizarmos uma comissão de recepção e recebermos os nossos novos amiguinhos à boa maneira leftiana.



## Astro

Olá colegas. A Astro andou bastante atarefada desde a última edição. Neste momento temos uma página renovada com as seguintes novidades:

- Dados astronómicos mensais para Portugal
- Constelação do mês
- Programas de interesse astronómico
- Página de Links
- Notas sobre Astronomia/Astrofísica
- Actividades (observações IST/IGeoE/...)
- Fotografia

Podem visitá-la em <http://astro.nfist.ist.utl.pt>

De momento não foi possível dinamizar muito mais a Astro, uma vez que para isso são necessários colaboradores dispostos a ceder um pouco do seu tempo de estudo. O projecto de rádio-deteção de meteoros está em standby por falta de fundos.

A Astro organizou igualmente um fim de semana de observação em Beja nos passados dias 21 a 23 de Fevereiro. Apesar do tempo se ter apresentado pouco favorável, o fim de semana foi uma agradável experiência para os 16 participantes. Estamos a contar organizar uma nova saída para este semestre, por isso fiquem atentos.

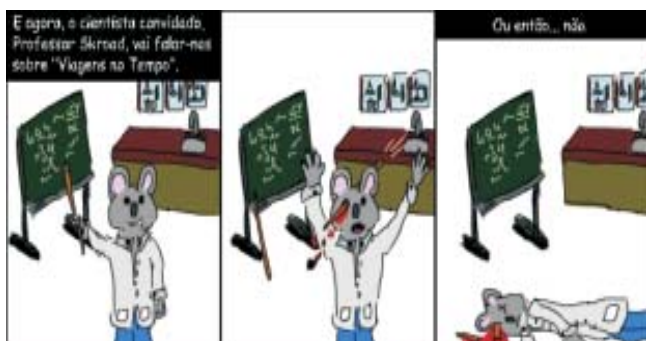
Para o futuro a ideia é iniciar contacto com outros grupos de astronomia do país, bem como passar a participar frequentemente nas actividades astronómicas a nível nacional, como a Astrofesta.



Passeio da Astro a Beja - Fevereiro de 2003

# Secção Cultural

## Cartoons



Finalmente, a equação simplifica-se se assumirmos que o espaço-tempo tem 92 dimensões. Não é fantástico?

COSMOLOGY MARCHES ON



## Puzzles e Enigmas!

por Miguel Paulos

### Torre de Pisa reinventada

Qual é a máxima distância na horizontal passível de ser transposta, apenas empilhando as cartas de um baralho umas em cima das outras? E se tivermos um stock infinito de cartas?

### Ponteiros de Relógio

Num relógio de ponteiros, quantas vezes se cruza o ponteiro das horas com o dos minutos, no período compreendido entre as 00h00m00s e 23h59m59s ?

### Corrida de Fórmula -(menos) 1

Uma interessante alternativa às habituais corridas de carros foi proposta há pouco tempo... Decidiu-se que o condutor cujo carro chegasse em último seria aquele que ganharia a corrida! É claro que os pilotos ficaram todos baralhados, sem saber o que fazer, e a corrida prometia demorar BASTANTE tempo! Até que finalmente o brilhante Michael Shoemaker-Levy (piloto número 9) teve uma ideia... Falou com os seus colegas, que imediatamente ficaram prontos para a competição.

Qual foi a ideia...?

### Cheia ou Não-Cheia (vulgo oca)?

Como distinguir duas esferas em tudo iguais, massa, volume e aspecto, mas em que uma é oca e a outra não ?

# Os Bertoliadas

Prefácio dos autores:

"Escrito no dia 2 de Fevereiro (domingo) quando já estávamos um bocado fartos de resolver o exame de Relatividade e Cosmologia"

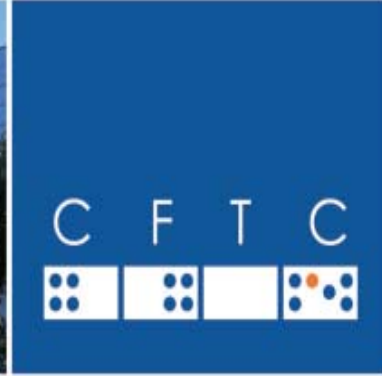
As métricas e os tensores assinalados  
Que da ocidental curvatura riemanniana  
Por buracos negros nunca dantes navegados  
Passaram ainda além da membrana  
Em conexões e acções calculados  
Mais do que permitia a força newtoniana  
E entre gravitões remotos edificaram  
Novo dilatão, que tanto anti-simetrizaram



Da autoria de Luís Resende, Marta Garrido e Hugo Pereira.



da autoria de Francisco Delgado



# CENTRO DE FÍSICA TEÓRICA E COMPUTACIONAL

## ❖ O QUE SOMOS ?

O Centro de Física Teórica e Computacional é uma nova unidade de I&D da UL que tem como objectivo promover a investigação e o ensino em física computacional.



## ❖ O QUE TEMOS ?

O CFTC está instalado no Complexo Interdisciplinar da Universidade de Lisboa, onde dispõe de recursos computacionais próprios e boas infraestruturas comuns, incluindo acesso permanente à melhor biblioteca de física e matemática de Lisboa.



## ❖ O QUE FAZEMOS ?

Nos últimos três anos, a actividade científica dos investigadores do CFTC foi financiada por projectos da FCT e redes da UE nas seguintes áreas:

- matéria condensada, auto-organização e nano-estruturas;
- dinâmica não linear e ondas;
- física de partículas e teoria quântica dos campos;
- sistemas dinâmicos e gravitação.

A produção do grupo neste período inclui publicações nas prestigiadas *Physical Review Letters* e *Nature*.



## ❖ O QUE OFERECEMOS/PROCURAMOS ?

O CFTC oferece-se para acolher estudantes e post-docs competitivos e procura parceiros para projectos interdisciplinares envolvendo a simulação numérica de sistemas não lineares com muitos graus de liberdade, com aplicações à física, à biologia e à química.

- ❖ Margarida Telo da Gama  
Coordenadora do CFTC  
<http://cftc.cii.fc.ul.pt>