

# (PULSAR)

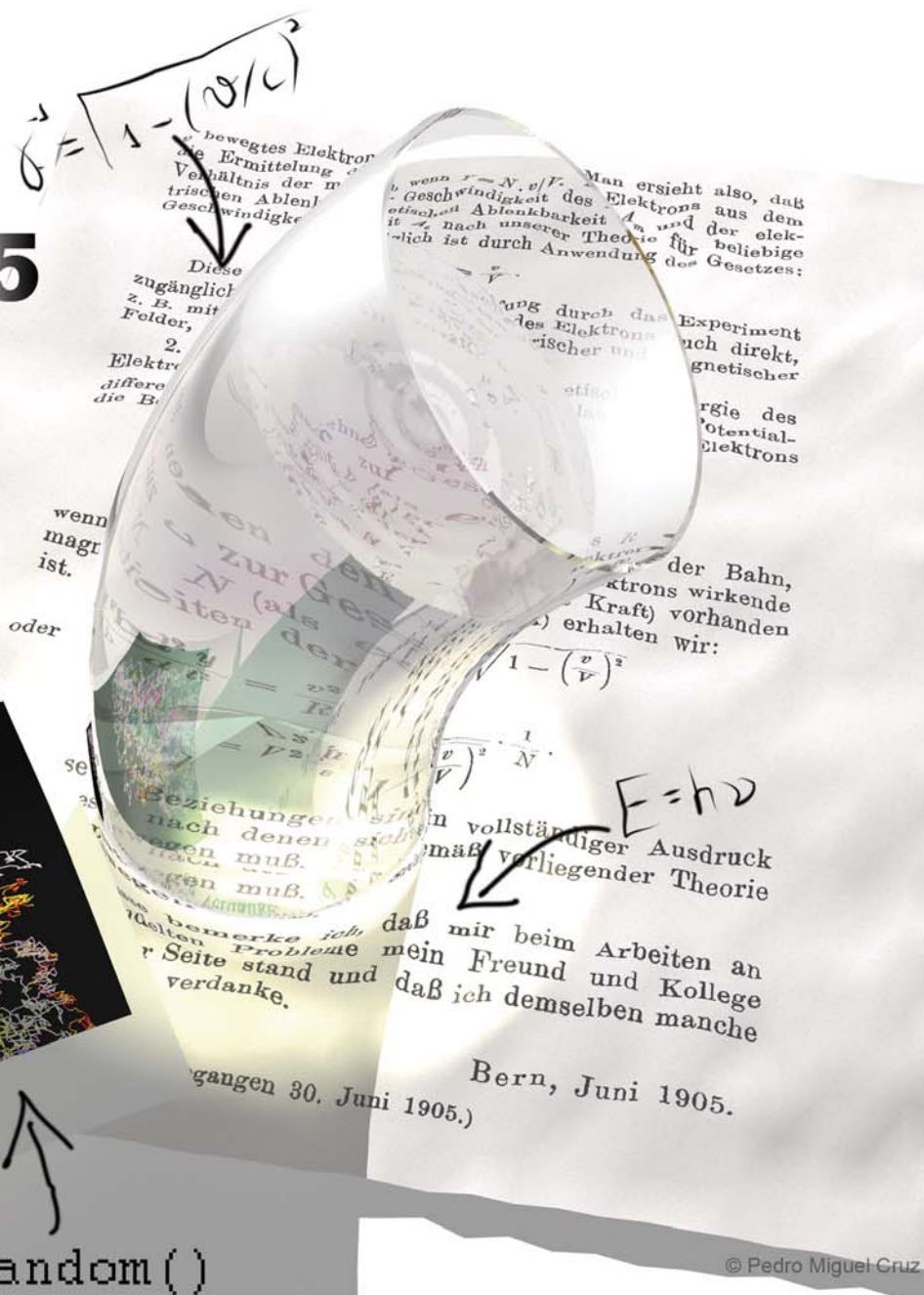
REVISTA DO NÚCLEO DE FÍSICA DO I.S.T.

1905-2005

Centenário do  
Ano Milagroso  
da Física



random()



© Pedro Miguel Cruz



## Pulsar

A Pulsar é uma publicação do NFIST de distribuição gratuita.

Edição de Março de 2005.

### Direcção:

João Mendes Lopes  
Tiago Guerra Marques

### Gabinete de Imagem:

Gonçalo Pereira - Montagem  
Pedro Cruz - Capa

### Gabinete de Artigos:

Raquel Pinto  
Francisco Burnay  
Maria João Rosa  
Vanessa Batarda

### Secção Biomédica:

Joana Coelho

### Site:

[http://nfist.ist.utl.pt/  
pulsar\\_index.html](http://nfist.ist.utl.pt/pulsar_index.html)

### Morada:

Instituto Superior Técnico,  
Edifício Ciência, piso 2 -  
Secretaria de Física, Avenida  
Rovisco Pais, 1096 Lisboa  
codex

### Telefone:

218419075

### Fax:

218419013

### E-Mail:

[pulsar@nfist.ist.utl.pt](mailto:pulsar@nfist.ist.utl.pt)

### Tiragem:

1500 exemplares

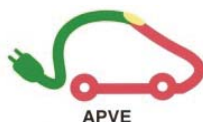
Edição Física Sobre Rodas -  
II Road Trip



## APOIOS:



MOTOROLA  
intelligence everywhere



Instituto Português da Juventude



**FCT** Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, INOVAÇÃO E ENSINO SUPERIOR



## Notícias

- Editorial **3**
- Instantâneos **4**
- NFIST **5**

## Circo da Física

- Como fazer o seu próprio detector de partículas **6**

## Local

- CFTP **8**
- Prémio “Humboldt Research Award” **8**

## História da Física

- 1905 - O Ano Milagroso da Física **9**

## Entrevista

- Professor Manuel Paiva **11**

## Artigos

- O presente da LEFT **13**
- Gravidade Quântica Canónica **14**
- Visualização da Relatividade Restrita **16**
- Paradoxo EPR **19**

## Tecnologia

- Segurança Automóvel **20**

## Reportagem

- Verão no CERN **24**

## Secção Biomédica

- Radioterapia - A Utilização da Física moderna na Medicina **26**

# Editorial

Com a escolha do ano corrente para as comemorações do ano Internacional da Física, espera-se que 2005 seja um ano em cheio para a Física. Faz um século que o então jovem Einstein publicou três artigos científicos que viriam a alterar a forma como o Homem via a realidade. Foi graças a esses três artigos e a todas as importantes descobertas que sucederam, que se deu o enorme avanço científico que o século XX assistiu. Desde o aparecimento dos primeiros circuitos electrónicos ao nascimento do computador, passando pela aplicação da Física na Medicina, pela exploração espacial e pelas Energias Renováveis, chegando finalmente ao Microondas que todos nós usamos para descongelar a comida, a Física alterou o quotidiano do Homem. Na nossa opinião seria mais correcto comemorar todo um século em que a Física esteve sempre presente no nosso dia-a-dia. É com o objectivo de divulgar a ciência em geral e em



A direcção da Pulsar reunida em trabalho

particular a Física que se vai realizar ao longo deste ano uma série de conferências e exposições. E qual a importância da Pulsar na divulgação científica em Portugal? Pensamos que a Pulsar e o nosso núcleo de Física (NFIST) terão um papel relevante a promover a Física em Portugal. Levar a Física não só a alunos do Secundário, mas também a todos os curiosos de espírito inquieto que desejam sempre saber mais e combater o actual panorama português onde cada vez mais os jovens se desinteressam pelas ciências.

A um nível mais interno, 2005 é um ano que coincide também com as

comemorações do vigésimo aniversário da nossa LEFT (Licenciatura em Engenharia Física Tecnológica) com a Física Sobre Rodas – II Roadtrip e com possíveis aventuras do NFIST por Moçambique e Timor. Como tal, a Pulsar toma novo rumo, mais virado para a divulgação científica e a aplicação da física no mundo da tecnologia. No âmbito desta última surge a colaboração com o “renovado” Núcleo de Engenharia Biomédica (NEBM), resultando numa nova secção.

Quanto a nós, como nova direcção da Pulsar, só nos resta esperar que esta revista seja do teu agrado.



## Huygens aterrou em Titan

Dia 14 de Janeiro de 2005, após uma viagem de 7 anos, a sonda Huygens da Agência Espacial Europeia (ESA) aterrou na maior lua de Saturno, Titan. Foi um feito histórico na exploração espacial uma vez que é a primeira vez que uma sonda efectua uma descida num astro do sistema solar longínquo e também devido às características do satélite. Titan tem uma atmosfera muito semelhante à da Terra Primitiva, rica em matéria orgânica. Os primeiros dados recolhidos foram impressionantes,

mostrando evidência de rios e mares de metano líquido. Durante os próximos meses cientistas irão analisar em pormenor todas as medições efectuadas durante a descida ficando assim a conhecer melhor este tão familiar mundo alienígena. Huygens aterrou numa espécie de lama extra-terrestre a uma temperatura de 180°C negativos. A ESA está de parabéns.



Imagem artística da aterragem de Huygens

<http://www.esa.int/SPECIALS/Cassini-Huygens>

Foto: ESA

### Ano Internacional da Física

2005 foi declarado como o Ano Internacional da Física com o objectivo de alertar o público por todo o mundo para todas as ciências Físicas. Esta data coincide ainda com as comemorações do centenário do ano milagroso de Einstein.



<http://www.wyp2005.org/>

### Site do NFIST e NEBM

O Núcleo de Física do Instituto Superior Técnico tem um novo site, reestruturado. Lá podes consultar todas as actividades do Núcleo bem como das suas secções (Circo da Física, Astro e Pulsar).

Quem também tem um novo site é o renovado

Núcleo de Engenharia Biomédica. Lá pode-se encontrar os próximos eventos na área de Biomédica, links interessantes sobre esta área e ainda como surgiu a ideia de formar o núcleo.

<http://www.nfist.ist.utl.pt>

<http://mega.ist.utl.pt/nebm/>

### Prémios da SPF

A Sociedade Portuguesa da Física, no âmbito das comemorações do Ano Internacional da Física criou dois concursos. O Concurso Eureka destinada a todos os alunos das Escolas Básicas e Secundárias do País e o Prémio Rómulo de Carvalho cujo objectivo é reconhecer os Professores também do Ensino Básico e Secundário. O regulamento está disponível no seguintes sites.

<http://www.spf.pt>



<http://www.spf.pt/eureka.html>

<http://www.spf.pt/premRoCa.html>

### Encontro Nacional de Estudantes de Física

Nos próximos dias 18, 19, 20 e 21 de Março de 2005, a Physis (Associação Portuguesa de Estudantes de Física) vai organizar o ENEF VII na Universidade de Coimbra. O Encontro terá, além de conferências dadas por Professores de Física, um concurso de apresentações científicas por parte dos participantes. Os autores das duas melhores palestras serão convidados a apresentá-las no Encontro Internacional de Estudantes de Física

(ICPS) de 2005 que se vai realizar em Agosto em Coimbra.

<http://physis.fis.uc.pt/enef2005/>

### A Gravidade tem pés de barro

O Professor Orfeu Bertolami, do Departamento de Física do IST, em colaboração com M. Tajmar da Áustria concluiu que, mesmo que hipoteticamente a força Gravitica pudesse ser alterada as vantagens desta alteração não seriam significativas para a propulsão de naves espaciais. O trabalho resultou de um contrato entre a Agência Espacial Europeia e o IST e explora as implicações de alguns dos conceitos mais exóticos de propulsão associados à manipulação da gravidade.

<http://dx.doi.org/10.1038/news050124-8>

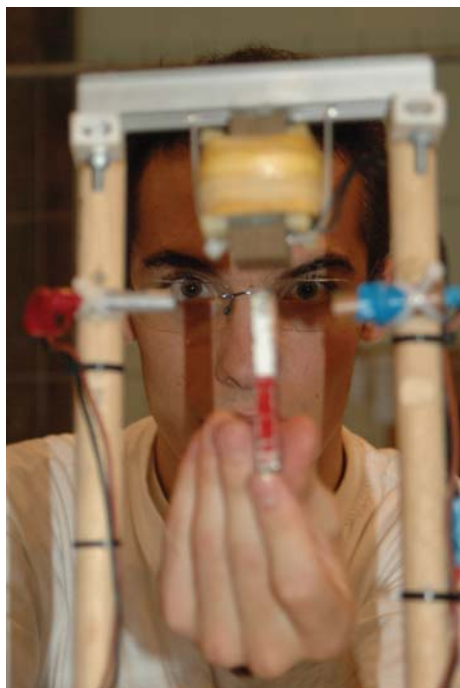
# Actividades do NFIST

A Direcção do NFIST

## VIII Semana da Física

É verdade, mais uma Semana da Física! A oitava, desta feita! Quem diria que aquela primeira aventura dos pioneiros do NFIST iria originar réplicas de frequência quase anual? Nesta edição, optámos por dedicar o primeiro dia às Comemorações do Vigésimo Aniversário da Licenciatura em Engenharia Física Tecnológica, curso que é nosso berço.

Assim, durante os dias de 19 a 22 de Outubro, a exposição acolheu cerca de 1200 alunos do ensino secundário oriundos maioritariamente de escolas da zona da Grande Lisboa, mas também de Setúbal e de Santarém. A inércia (leia-se apreensão) daqueles que normalmente vêm na Física uma barreira de potencial infinito (inultrapassável) era, misteriosamente, vencida às primeiras descargas eléctricas do Van der Graaff, “artefacto” histórico e de poderes lendários cujos segredos de acumulação de electricidade estática só os mais audazes conseguem desvendar.



Quem conseguirá equilibrar o prego flutuante?

## Road Trip

7/Mar (2.a feira) - Beja  
8/Mar (3.a feira) - Portalegre  
9/Mar (4.a feira) - Santarém  
10/Mar (5.a feira) - Santarém

15/Mar (3.a feira) - Viseu  
16/Mar (4.a feira) - Castelo Branco  
17/Mar (5.a feira) - Lisboa, Pavilhão do Conhecimento  
18/Mar (6.a feira) - Lisboa, Pavilhão do Conhecimento

<http://fsr2.nfist.ist.utl.pt>



## Física Sobre Rodas - II Road Trip

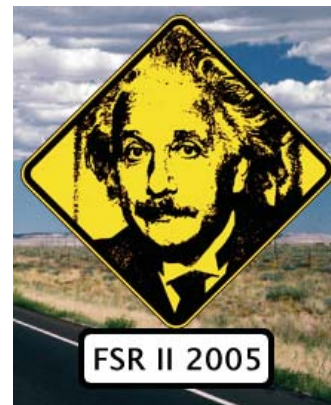
No entanto, está aí a Física Sobre Rodas – II RoadTrip, versão portátil e ambulante da Semana da Física que circula pelo país nas semanas de 7 a 18 de Março.

Organizar uma actividade da ordem de grandeza da Física Sobre Rodas implica uma conjunto de despesas e esforços logísticos que seriam totalmente impossíveis de concretizar sem o apoio das entidades que patrocinam este evento e às quais aproveitamos aqui para deixar o nosso profundo agradecimento.

A vontade de levar um evento promovido pelo NFIST a visitar várias cidades do país é consequência natural do facto de não conseguirmos, para grande pena nossa, aceitar os convites de várias escolas a nível nacional para visitar os seus alunos ou das mesmas não terem hipótese de se deslocar até Lisboa para assistir, por exemplo, à Semana da Física.

## Aventuras do NFIST

O facto deste se tratar do Ano Internacional da Física dá-nos uma vontade extra de fazer ainda mais pela a ciência de Newton, Einstein, Feynman! Literalmente, mostrar ao mundo a importância da curiosidade insaciante e da atitude de quem não se contenta com explicações superficiais ou pouco consistentes. Assim, é talvez esta combinação de factores que nos faz sonhar alto e levar pela primeira vez o NFIST para além das fronteiras do território nacional e visitar os nossos colegas aspirantes a físicos moçambicanos e ensinar (e aprender!) em Timor como explicar Física onde o que escasseia em recursos é compensado em vontade de experimentar! ■



# Como fazer o seu próprio detector de partículas

Hoje em dia existem muitos tipos de detectores que permitem ver as trajetórias das partículas e também conhecer a sua identidade e energia. Alguns são extremamente complexos, como os usados no CERN (*Centre Européen de Recherche Nucléaire*) para detectar as partículas aceleradas no LHC (*Large Hadron Collider*). No entanto, antes de se estudarem colisões de partículas de altas energias, usavam-se detectores menos imponentes como a Câmara de Bolhas ou a Câmara de Nevoeiro, que permitiam traçar o rasto das partículas observadas. A primeira deste tipo foi a Câmara de Wilson, inventada em 1911 por um escocês, Charles Thomson Rees Wilson, que tentava estudar a formação de nuvens na atmosfera. Quando demonstrou que um só electrão podia ser visto na sua invenção, a Real Academia Sueca de Ciências decidiu atribuir-lhe o prémio Nobel “pelo seu método de tornar visível o percurso de partículas electricamente carregadas por condensação de vapor”. A câmara pode ser facilmente construída.

## Material necessário para a construção da Câmara de Wilson:

- Uma caixa transparente de vidro ou plástico de dimensões 20x20x40 (cm) e aberta no topo (num dos lados com 20x40 cm<sup>2</sup> de área); Não esquecer de vedar as entradas da caixa para que esta não deixe passar ar nenhum;

- Uma base em esferovite para a caixa; A caixa irá encaixar em recortes feitos à medida nesta base (como no empacotamento de material informático);

## Para isolar electrotermicamente:

- Uma folha de metal (cobre por exemplo) com as dimensões do recorte na base de esferovite;
- Uma folha de cartolina (de uma caixa de cereais por exemplo) com as mesmas dimensões que a folha de metal;
- Fita eléctrica isolante;

## Para produzir o nevoeiro:

- Feltro;
- meio quilo de gelo seco, com as dimensões do recorte na esferovite. O gelo seco pode em geral ser encontrado nas geladarias;
- Isopropanol ou álcool isopropílico puro (i.e., a 100%);

## Como montar a câmara:

**Primo:** prender o feltro no topo da câmara; Atenção! No caso de usar cola ou fita-cola, tomar cuidado para que esta não seja solúvel em álcool, se for, o feltro será embebido no mesmo.

**Secundus:** colocar o gelo seco no recorte da base de esferovite;

**Tertius:** colocar a folha de metal sobre o gelo seco; cobrir um dos lados da cartolina com fita isolante e

colocar a mesma sobre a folha de metal, com o lado sem fita para baixo;

**Quartus:** pousar a caixa com a abertura sobre as folhas (de preferência colá-la a estas e encaixá-la no recorte da base) após ter devidamente embebido o feltro em álcool e molhando também o lado da cartolina coberto com a fita; Vedar bem toda a câmara.

## Cuidados a ter:

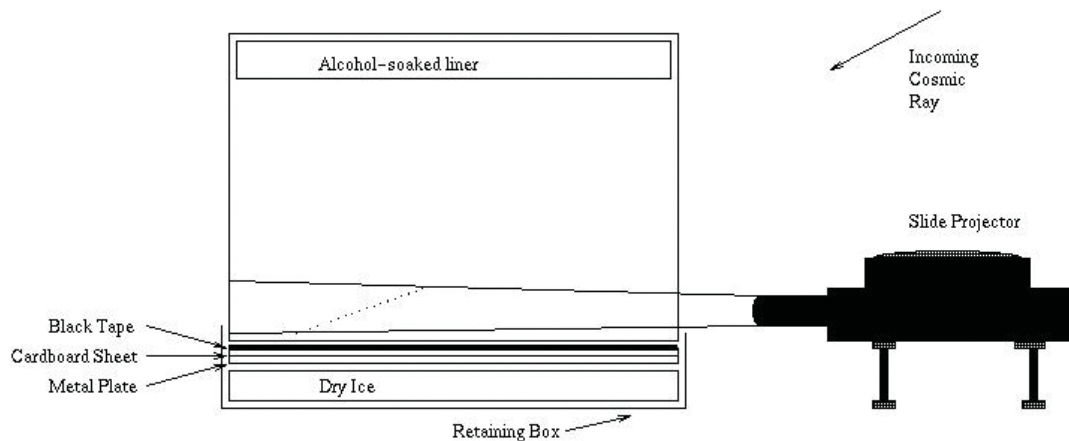
Toda a câmara deve estar bem vedada para impedir fugas de ar; Verificar que o metal repousa directamente no gelo e que o gelo é menos elevado que os lados do recorte.

## A câmara está assim pronta!

## O que vamos ver?

Ao início não se observará nada. Após aproximadamente 15 min, começarão a aparecer os primeiros rastos de partículas no chão da câmara. Devem-se apagar as luzes e usar um projector forte a incidir numa das paredes da câmara para melhor ver os rastos. Numa câmara com estas dimensões devem ser observados por volta de um rasto por segundo.

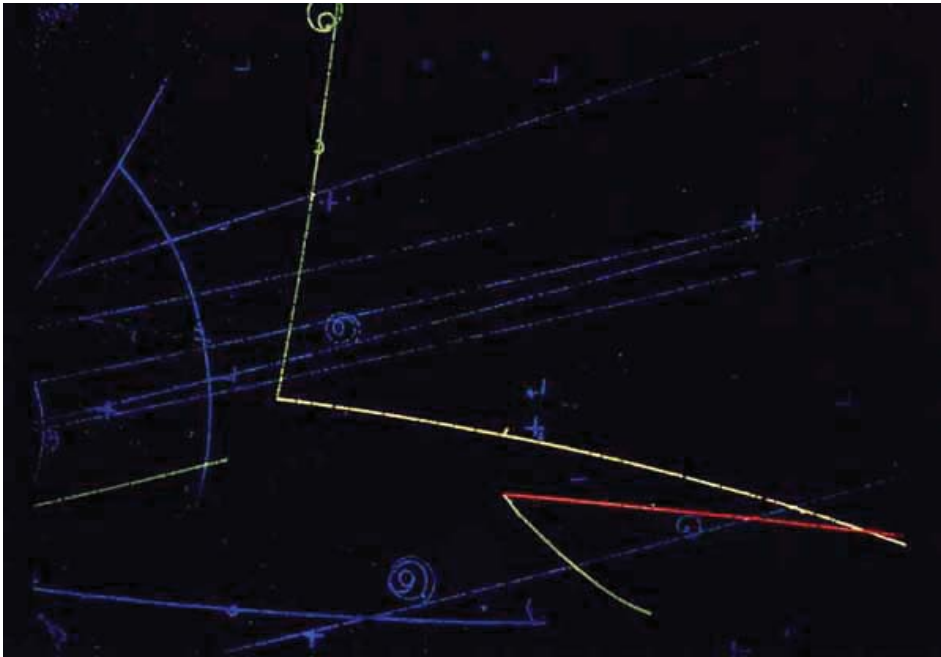
Os rastos serão deixados por partículas de raios cósmicos. Os raios cósmicos são constituídos por vários tipos de partículas. As que podemos ver são muões e electrões. É nomeadamente interessante observar:



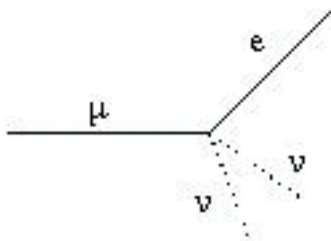
Montagem experimental - a nossa câmara de Wilson



## Fotografia de rastros de partículas obtida numa câmara de Wilson

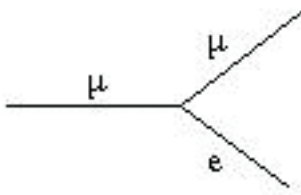


- O decaimento de muões:

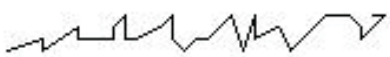


Um muão decai num electrão e em dois neutrinos (que não são visíveis);

- Colisões entre raios cósmicos e electrões:



- “Difusão múltipla” de um raio cósmico pelos átomos no ar, ou seja, o embater deste de átomo em átomo:



- Colocar ímanes e ver a acção destes sobre os raios (pois, sendo partículas carregadas, estão submetidas à acção de campos electromagnéticos);

- Colocar placas verticais de metal e ver quantas placas os raios são capazes de atravessar;

### O princípio de funcionamento da Câmara de nevoeiro:

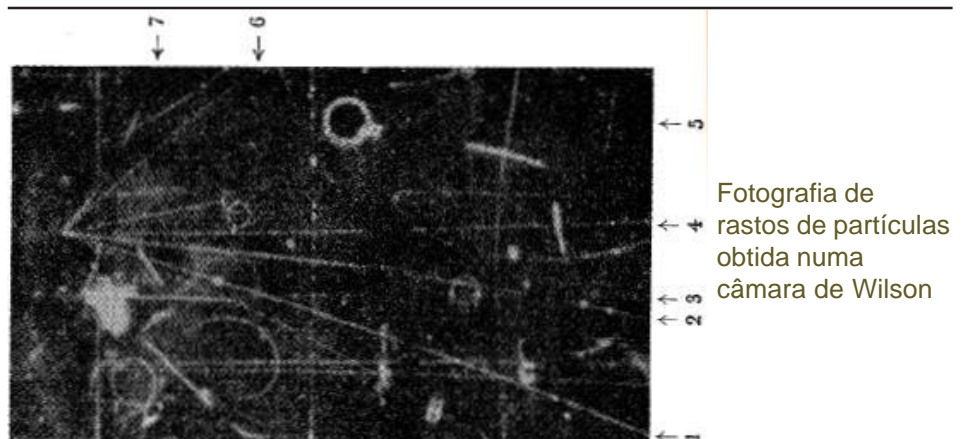
O princípio básico está no estado em que se encontra o álcool na câmara. Se observarmos bem, o que vemos é um nevoeiro denso que ocupa toda a câmara. De facto, este nevoeiro é vapor de álcool que se escapa do feltro no tecto da câmara, pois está à temperatura ambiente, onde o álcool se evapora. Ora quando chega ao chão da câmara, o vapor passa subitamente para um ambiente onde a temperatura é muito inferior, graças ao gelo seco que se encontra a  $-78,5^{\circ}\text{C}$ . Quando isto acontece, diz-se que o vapor de álcool está num estado

supersaturado, isto é, que a diferença térmica entre os dois meios foi demasiado elevada e súbita para que este pudesse condensar, encontrando-se assim em estado gasoso a uma temperatura inferior àquela em que se evapora em condições normais (como se tivéssemos vapor de água a uma temperatura inferior a  $100^{\circ}\text{C}$ ). Nestas condições, o vapor condensa para o estado líquido muito facilmente, por existir a uma temperatura à qual não deveria existir em condições normais.

Quando um raio cósmico electricamente carregado atravessa este meio, ioniza os átomos do gás (i.e., arranca electrões aos átomos do vapor que se encontram no seu caminho, ao embater contra eles). Ficam assim no seu caminho núcleos positivamente carregados que vão atrair os átomos à sua volta. Este processo é suficiente para desencadear a condensação do vapor de álcool num estado supersaturado à volta deste agrupamento de átomos. É assim possível ver o rasto de uma partícula carregada na câmara de Wilson, que é portanto constituído por gotinhas de álcool resultantes da condensação do vapor. Constate-se que isto explica porque é que um neutrino, por não ter carga eléctrica, não é visível na câmara de Wilson.

Rutherford considerou a invenção de Wilson: “o instrumento mais original e maravilhoso da história da Ciência”. ■

Caso tenhas alguma dúvida podes contactar-nos em [circo@nfist.ist.utl.pt](mailto:circo@nfist.ist.utl.pt)



Fotografia de rastros de partículas obtida numa câmara de Wilson

# CFTP

por Professor Gustavo Castelo Branco, Dep. Física e CFTP, IST

O Centro de Física Teórica de Partículas (CFTP) é a Unidade de Investigação N° 777 da FCT, tendo a sua criação sido aprovada em Julho de 2004, com a classificação de “Excelente”. O CFTP tem 12 membros efectivos permanentes para além de 9 membros com posições de pós-doutoramento num total de 21 doutorados.

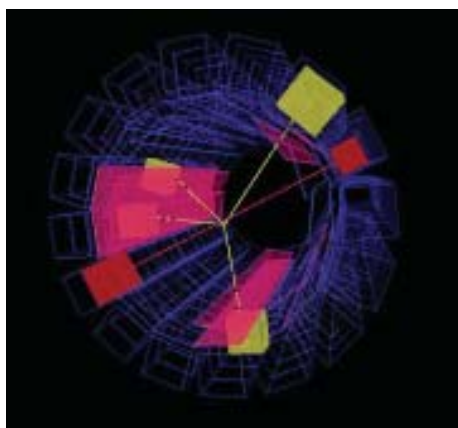


Imagem do CERN

O CFTP desenvolve investigação em Física Teórica de Partículas e Áreas afins tais como a Cosmologia, Astropartículas, a Física Nuclear/Hadrónica, incluindo as componentes teórica e experimental da Física dos Iões Pesados. Esta investigação inclui alguns dos temas mais excitantes e actuais da Física de Partículas, tais como a compreensão da massa dos fermiões elementares, a supersimetria, o fenómeno de violação de CP (conjugação de carga e transformação de Paridade), a criação de matéria no Universo (bariogénese e leptogénese), as teorias de unificação das interacções fundamentais, a física dos neutrinos, dimensões extra, e a física do LArge Hadron Collider (LHC).

O CFTP tem uma intensa actividade de investigação com uma produção de cerca de 35 trabalhos por



ano, publicados nas melhores revistas internacionais da especialidade. O CFTP encoraja os alunos de licenciatura (e muito em particular os alunos da LEFT) interessados em Física de Partículas e Áreas Afins a prosseguir o seu trabalho de doutoramento no âmbito do CFTP, onde encontrarão um excelente ambiente de trabalho. Após o doutoramento, os nossos doutorados prosseguem a sua carreira científica em posições de pós-doutoramento em algumas das melhores universidades estrangeiras. ■

## Prémio “Humboldt Research Award”

O Prof. Gustavo Castelo Branco, Professor Catedrático do Departamento de Física do Instituto Superior Técnico, foi distinguido com o prémio “Humboldt Research Award”, atribuído pela “Alexander Von Humboldt Foundation”, Fundação com origem na Alemanha. Este prémio anual tem como objectivo distinguir cientistas de grande prestígio internacional e premiar os feitos e resultados obtidos ao longo de toda a carreira científica. É conhecido por ser um revelador de talentos, e tal afirmação é sustentada pelo facto de, desde a sua criação em 1953, 34 investigadores que foram homenageados com este prémio receberam posteriormente o prémio Nobel. Quem sabe se o próximo prémio Nobel não será português?



O Professor Gustavo Castelo-Branco pertence, actualmente, ao Centro de Física Teórica de Partículas (CFTP) tendo feito o Doutoramento no City College of the City University of New York em 1976. Já ocupou posições em prestigiadas Universidades e centros de investigação na Europa e nos Estados Unidos da América. Para além do Von Humboldt Award conta ainda

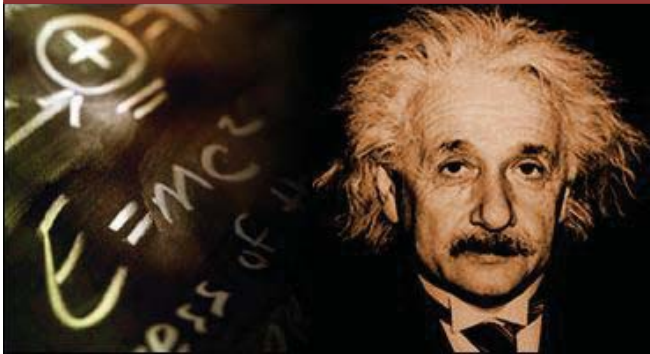
com o importante Prémio Gulbenkian de Ciência em 1981. Publicou mais de uma centena de artigos nas melhores revistas da especialidade, tendo 2600 citações, bem como o livro “CP Violation” pela Oxford University. ■

A Pulsar felicita o Professor Gustavo Castelo Branco pelo prestigiado prémio.



# 1905 - o ano milagroso da Física

por Alexandra Gouveia, 2º Ano LEFT



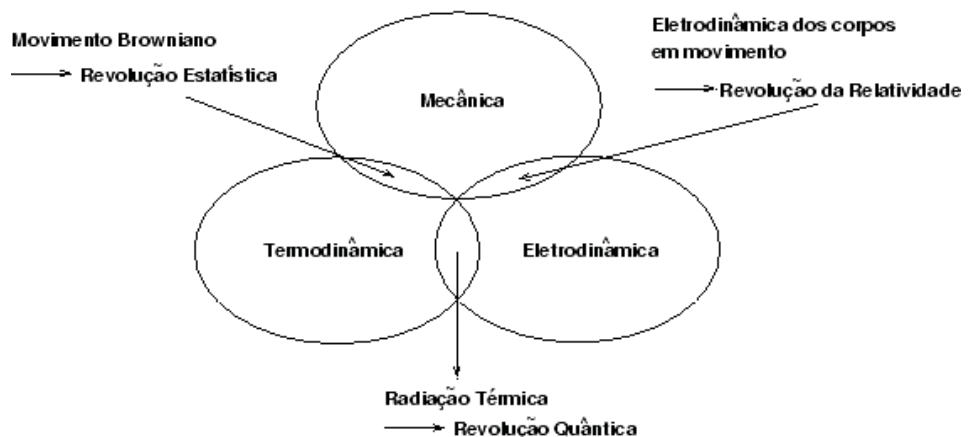
Celebra-se este ano o centenário do chamado “ano milagroso” da produção científica de Albert Einstein e para comemorar o acontecimento, 2005 foi declarado pela ONU como o Ano Internacional da Física. Considera-se 1905 um ano milagroso já que entre Março e Junho desse ano foram publicados pelo então desconhecido Albert Einstein três artigos de extrema importância para que se estabelecessem as bases da Física moderna.

## Março de 1905

Em Março desse ano Einstein, na altura um técnico da Repartição de Patentes de Berna com 25 anos, enviou um artigo a um dos jornais científicos mais importantes da época, o Annalen der Physik. Neste artigo, Einstein enunciava a teoria que iria revolucionar a forma como se entendia a luz. Até então esta era tomada como um fenómeno de carácter ondulatório, o que correspondia aos efeitos de interferência observados por Thomas Young em 1801. O estabelecimento das equações de Maxwell em 1861 e os resultados observados por Heinrich Hertz em 1887, que confirmavam a existência das ondas electromagnéticas com as quais se identificava a luz, estabeleceram a crença de que a luz possuía natureza ondulatória.

Curiosamente, nestas mesmas experiências Hertz observou um fenómeno que não era sustentado pela teoria ondulatória da luz: o efeito fotoelétrico. No seguimento deste trabalho seguiram-se outros que forneceram dados importantes para a física mas que, ainda assim, se revelaram inúteis na explicação do fenómeno: a experiência de Thomson levou à conclusão de que as partículas emitidas no efeito fotoelétrico são electrões, determinando-se a razão entre a sua carga e a sua massa e os

## Problemas de fronteira da Física Clássica



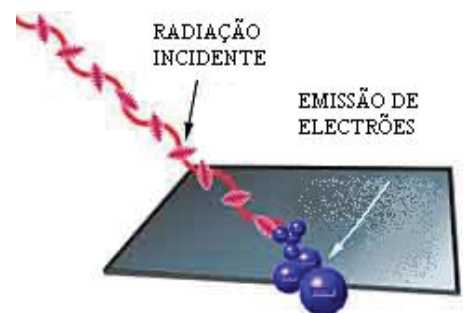
trabalhos de Lenard permitiram concluir que a energia dos electrões emitidos não dependia da intensidade de luz incidente. Foi principalmente com base nos trabalhos deste último e de Max Planck, que Einstein publicou o seu artigo. Nele encontrava-se a solução para o problema do efeito fotoelétrico. Einstein mostrou que a luz podia ser interpretada como formada por partículas de energia independentes, discretas e oscilantes, com energia proporcional à sua frequência de oscilação:

$$E = h\nu$$

Esta ideia, apesar de revolucionária, retomava a teoria corpuscular da luz defendida por Newton, bem como por Max Planck que sugerira anteriormente que a energia era descontínua e formada por quantum ou seja, pequenas unidades quantizadas de energia. A estes quanta de luz, Einstein chamou fotões

estabelecendo com a sua teoria uma base para a mecânica quântica.

Comparado com os artigos que se seguiram, talvez este seja o menos conhecido do público leigo. Foi, no entanto, aquele que o levou a receber o prémio nobel da Física em 1921.



Efeito Fotoelétrico

## Maio de 1905

O segundo artigo foi publicado em Maio no mesmo jornal sob o título: “Sobre o movimento de partículas suspensas em repouso como postulado pela teoria molecular do calor”. Neste trabalho Einstein

propõe uma alternativa ao cálculo do número de Avogadro e estabelece as leis do Movimento Browniano.

Este problema foi observado pela primeira vez no século XVIII mas foi em 1828 que ele foi descrito com rigor pelo botânico Robert Brown. Este observou que o pólen de diversas plantas se dispersava na água sob a forma de um grande número de pequenas partículas, que apresentavam um movimento aleatório; este movimento errático aumentava quando o tamanho das partículas, a sua densidade e a viscosidade diminuíam e a temperatura aumentava.

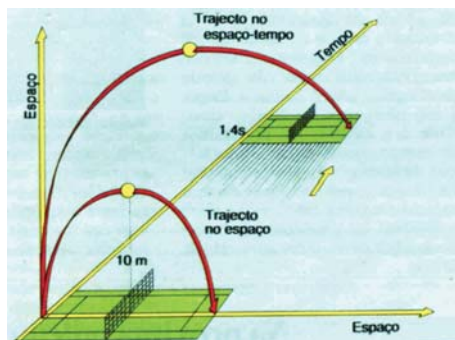
Com base nos resultados obtidos antes de 1905, e utilizando a já conhecida teoria cinética, Einstein elaborou um modelo matemático que explicava em detalhe as observações experimentais dos movimentos destas partículas. A elaboração de métodos estatísticos para a análise deste movimento veio a ser ponto de partida da moderna mecânica estatística e foi um importante contributo para a termodinâmica.

## Junho de 1905

Um terceiro artigo e talvez o mais revolucionário foi publicado em Junho no mesmo jornal sob o título “da electrodinâmica de corpos em movimento” e estabeleceu os princípios básicos da Teoria da Relatividade Restrita.

Desde a época de Galileu que se conhecia um Princípio da Relatividade segundo o qual a medida dos objectos se mantinha quer o corpo estivesse em movimento a velocidade constante, quer estivesse em repouso. Contudo, a teoria electromagnética desenvolvida por Maxwell e por Lorentz previa que a luz não obedecia este princípio e que a velocidade da luz sofreria efeitos do movimento. Tais efeitos nunca tinham sido detectados e daí resultava que a velocidade da luz era invariável. Mas Einstein acreditava que o Princípio da Relatividade deveria aplicar-se a todos os fenómenos, inclusive à luz. A

Teoria da Relatividade Especial ou Restrita surge assim da revisão dos conceitos de espaço e tempo, de forma a que também estes, considerados absolutos e universais por Newton, sejam abrangidos pelo Princípio da Relatividade. A velocidade da luz ( $c$ ) substitui nesta teoria as grandezas invariáveis postuladas por Newton e Galileu.



Outra consequência desta teoria é o tratamento da luz como um campo contínuo de ondas. Do confronto deste artigo com o que fora publicado em Março surge uma nova interpretação da natureza da luz: o dual onda-corpúsculo.

Este artigo será complementado com outro, no qual Einstein elabora o princípio da equivalência entre massa e energia expresso na famosa fórmula:

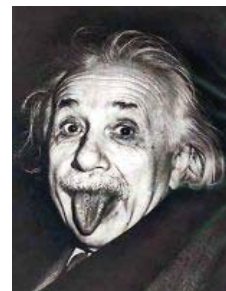
No final de 1905 estavam estabelecidos os princípios da relatividade especial cujas bases matemáticas seriam trabalhadas em 1907 por Minkowsky. Estas estiveram ainda na base da teoria da relatividade geral, publicada em 1915.

A primeira verificação experimental dos resultados previstos pela teoria da relatividade surgiu apenas em 1919, durante um eclipse solar em Sobral no Brasil. A teoria previa que a matéria “distorce” o espaço e o tempo nas suas proximidades. Uma consequência dessa distorção é o desvio de um feixe de luz que muda a sua direcção de propagação se passar perto de uma grande massa. Quando a lua oculta o sol provocando um eclipse solar é possível observar as estrelas, apesar

de elas se encontrarem no mesmo local do céu que aquele. A luz das estrelas chega até nós pois encurva e desvia-se, devido à gravidade do sol, como previsto por Einstein.

Os três artigos publicados em 1905 fundaram os alicerces e os principais conceitos da Física moderna. A Teoria da Relatividade fez a síntese da mecânica clássica, da óptica e da teoria electromagnética de Maxwell, permitiu uma ruptura com as noções de espaço e tempo absolutos e do espaço euclidiano rígido, introduzindo o conceito de um universo curvo, de uma medida do tempo e do espaço que varia conforme a velocidade a que se deslocam diferentes observadores em diferentes referenciais e da correspondência entre matéria e energia. A explicação do efeito fotoeléctrico e a introdução de um novo conceito para a natureza da luz está na base da Mecânica Quântica e as Leis do Movimento Browniano resultaram em importantes dados para a Termodinâmica e Mecânica Estatística.

Por todas estas contribuições para a Física, 1905 é considerado um “ano milagroso”, tanto mais quanto elas surgiram de um só cientista, na altura completamente desconhecido e afastado da comunidade científica. O centenário destas descobertas foi declarado o Ano Internacional da Física com os objectivos claros de divulgar esta ciência em todo o mundo, mostrando a jovens estudantes em vias de escolherem a sua carreira e a adultos de outras áreas, o quanto a Física pode ser fascinante e importante para o desenvolvimento da humanidade, contribuindo para a evolução da criação e do pensamento humanos. A comunidade científica espera de 2005 um “ano milagroso” para a divulgação da Física no mundo. ■



# Entrevista ao Professor Manuel Paiva

por Tiago Guerra Marques, 2ºAno LEFT

No passado mês de Setembro de 2004, o Professor Manuel Paiva, que recentemente publicou o livro “Como respiram os astronautas?” pela Gradiva, veio ao Instituto Superior Técnico dar uma conferência com o título “Exobiologia: a Vida no exterior da Terra” durante a segunda Escola de Astrofísica e Gravitação. A Pulsar não perdeu a oportunidade para falar com o professor sobre o seu trabalho e sobre a Exobiologia.



**Quando é que começou o seu gosto pela Física? Descreva brevemente o seu percurso académico.**

O gosto pelo Espaço começou quando eu tinha 14 anos com o lançamento do Sputnik em 1957, ainda estava no Porto no liceu D. Manuel II. A Física foi um pouco depois. Ainda no liceu tive a sorte de ter uma excepcional professora de Física, a Dr<sup>a</sup> Joana Baldac. Nos antigos 6º e 7º anos, os últimos anos do ensino secundário, foi onde verdadeiramente descobri a Física. Nessa altura eu já tinha 18 anos e deu-se a transição entre uma física muito qualitativa que tinha umas poucas fórmulas que não se percebia bem de onde vinham, com a física mais específica como a física atómica, isto tudo aliado ao facto de ter uma muito boa professora de Física. Frequentei a Universidade do Porto durante 3 anos e depois em 1964 fui para a Bélgica, onde tirei a licenciatura em Física entre 1964 e 1968. Depois fiz o doutoramento e comecei a trabalhar na Universidade de Bruxelas.

**Onde trabalha actualmente?**

A Universidade de Bruxelas, como qualquer outra Universidade tem diferentes faculdades. O nosso

laboratório, o laboratório de Física Biomédica pertence à faculdade de Medicina. Há mais ou menos, metade engenheiros, metade físicos. Actualmente somos uma dezena. Lá dou o curso de Física Geral para os alunos do primeiro ano de Medicina que é um curso de 90 horas, o que é tradição na nossa Universidade. Lá o primeiro ano de Medicina consiste em cursos fundamentais de Matemática, Física, Química e Biologia.

**Em Portugal, não existe essa ligação entre Física e Medicina. Acha que a Física é fundamental para a preparação de um Médico?**

Acho que quando se utilizam aparelhos que são baseados na Física, como é o caso dos médicos, estes deveriam compreender pelo menos os princípios sobre os quais esses mesmos aparelhos trabalham. Muitas vezes a vida dos pacientes depende da capacidade do médico de compreender os resultados desses aparelhos. Portanto, a meu ver, é essencial que o médico compreenda, não o funcionamento, mas os princípios desses aparelhos. Mas sei que recentemente, têm vindo a aparecer em Portugal cursos que têm essas duas componentes, a Física e a Medicina, como é o caso da

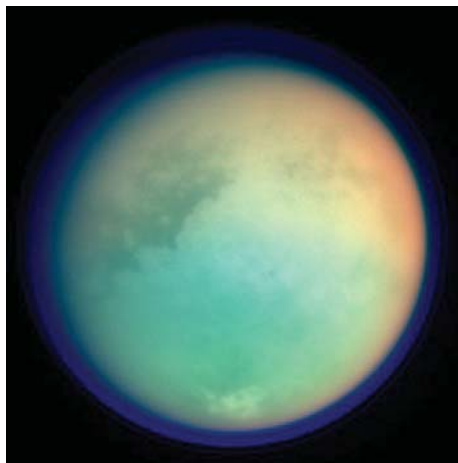
Licenciatura em Engenharia Biomédica do I.S.T. Isso é muito importante uma vez que na Europa as estruturas estão muito divididas, muito compartimentadas e há pouco contacto interdisciplinar. A meu ver, o futuro da investigação consiste numa investigação interdisciplinar e isso, hoje em dia, só se adquire depois de se ter o diploma. Enquanto que o curso de Biomédica, permite ter essa relação interdisciplinar desde o princípio. Agora, a outra atitude, que foi a que eu escolhi, que também acho importante é primeiro ter uma preparação sólida em Física pois é muito mais difícil adquirir esses conhecimentos mais tarde. Ou seja, primeiro ter uma licenciatura em Física, Matemática ou Engenharia e só depois começar as colaborações na investigação noutras áreas.

**O Professor Manuel Paiva também trabalha com a ESA (Agência Espacial Europeia). Na sua opinião qual o motivo da Agência Espacial Europeia continuar pouco conhecida cá em Portugal?**

Quer dizer, a Agência Espacial Europeia em termos de orçamento é 20 ou 25% da NASA, portanto é muito mais pequena. Só o que a NASA gasta com os vaivéns é



## Titan



equivalente ao orçamento da ESA. Além disso, é menos conhecida em Portugal porque Portugal só aderiu há pouco tempo. Nos outros países, acho que é muito conhecida. A ESA foi um motor muito importante de desenvolvimento e de unificação industrial no panorama espacial europeu. Isto porque as indústrias europeias habituaram-se a trabalhar juntas para um objectivo comum. No entanto, Portugal só aderiu à ESA à volta de 10 anos, sendo, portanto normal que seja muito menos conhecida por cá.

### **Há muitos portugueses a trabalhar na ESA?**

Relativamente poucos, porque o orçamento dos portugueses é muito limitado e em princípio o número dos lugares está ligado à contribuição financeira. Além disso, Portugal entrou na ESA recentemente e é preciso que haja tempo e competências portuguesas no domínio espacial. Mas os portugueses lá chegarão.

### **Sei que esteve envolvido no início do projecto da sonda Cassini-Huygens. Há quanto tempo foi isso?**

Não estive envolvido directamente. Mas era, em 1985/86, Presidente da Comissão Ciências da Vida da Agência Espacial Europeia. Foi nessa altura que se tomaram decisões sobre

esta missão que vai aterrar em Titan a 14 de Janeiro de 2005. Portanto, foram 20 anos entre o princípio da missão e os resultados, o que mostra que é preciso uma grande continuidade e muito tempo. É por isso que eu gosto também muito desta missão porque dá a ideia aos jovens que a exploração espacial precisa exactamente dessa continuidade. Consiste no esforço com uma finalidade a longo prazo. São coisas que são indispensáveis hoje no ensino e na investigação. Só faz sentido investir a longo prazo e uma das grandes dificuldades com que nos debatemos, é convencer os políticos em geral e em particular os portugueses, que vêm as coisas na perspectiva do mandato eleitoral de 4 anos. Portanto, a exploração espacial necessita de uma enorme continuidade e a missão Huygens-Cassini demonstra precisamente isso.

### **Qual vai ser a importância desta sonda e quais os seus resultados?**

Para mim o mais espectacular é a análise da atmosfera de Titan, pois esta é parecida com a atmosfera terrestre quando a vida apareceu na Terra. Há moléculas orgânicas complexas em Titan. Quando a sonda Huygens descer na atmosfera vai analisar essas moléculas, transmitindo os dados à sonda Cassini, que já se encontra em órbita de Saturno. A sonda Cassini vai, então, transmitir para a Terra, permitindo descobrir como é que uma atmosfera, que recebe os raios solares do mesmo tipo que a Terra recebia quando apareceu a vida, transforma moléculas muito simples, em moléculas orgânicas que são indispensáveis para o desenvolvimento da vida.

**Para terminar duas questões também relacionadas com a Exobiologia: acha que existe ou já existiu vida, nem que tenha sido primordial, nalgum planeta ou satélite do sistema solar que não a Terra e se algum dia o homem se**

### **poderá aventurar para fora do seu planeta colonizando outro?**

Eu por acaso prefiro a palavra explorar a colonizar. (risos) Marte já está a ser explorado e o homem daqui a cerca de 200 anos, estará lá em permanência. Eu não tenho dúvida nenhuma. É uma questão de tempo. Nada pára o gosto da exploração do Homem. Também em Marte é plausível que tenha havido formas de vida muito primitivas mas que depois devido às condições atmosféricas do planeta não tenham evoluído. No entanto, é muito importante saber isso pois se já existiu vida em dois planetas do sistema solar então poder-se-ia generalizar para os outros sistemas estelares. Agora, que haja vida hoje noutros sistemas, eu estou convencido. Simplesmente é mais uma convicção pessoal porque não se pode provar. Mas, como as leis da Física são as mesmas em todo o Universo, seria extraordinário que só aqui é que a vida se tivesse desenvolvido. Portanto, estou convencido que a vida se desenvolveu noutros planetas e sobre formas de inteligência talvez muito diferentes da nossa. ■



Um mundo extraterrestre.

Fotos: ESA

# O presente da LEFT

por Professor Pedro Bicudo, Dep. Física e CFIF, IST

Ao fim de 20 anos de existência, durante os quais o País e o mercado de trabalho mudaram, a LEFT amadureceu. Os alunos de qualidade ímpar continuam a ser o maior trunfo da LEFT, que é incontornável para o desenvolvimento científico e tecnológico.

Aqui apresentam-se críticas construtivas, que espelham meramente a opinião do autor.

## I O Funcionamento da LEFT

Presentemente a LEFT tem dois ramos, um tecnológico e outro mais científico. Na prática, pela sua duração, profundidade da matéria e pelos 4º e 5º ano com cadeiras de opção e trabalho de fim de curso (TFC), a LEFT equivale mais a um Mestrado europeu do que a uma licenciatura.

O número elevado de opções e de cadeiras experimentais com pequenas turmas torna a LEFT muito cara em recursos humanos. O Departamento de Física de esforça-se seriamente para manter o nível da LEFT. Por exemplo, um professor da LEFT, ao leccionar apenas 4h semanais, tem de dar aulas em mais de uma cadeira para completar o seu horário de trabalho. Por outro lado, muitos professores esforçam-se por dar cadeiras consistentes, que elevem e desenvolvam o nível técnico dos alunos.

A LEFT poderia melhorar se os todos os professores conseguissem cultivar uma atitude dinâmica, afim de preparar alunos para o tempo presente. Os obstáculos a vencer são a inércia dos próprios professores, a possível fraca formação de base dos alunos, e a falta de recursos financeiros da Universidade. Por exemplo, se os laboratórios pudessem disponibilizar o seu sofisticado material aos alunos, estes desenvolveriam qualidades como a iniciativa e a autonomia.

## II Os alunos, grande trunfo da LEFT.

O grande trunfo da LEFT, para além do prestígio e qualidade do IST, consiste no grande número de alunos excelentes que frequentam o curso. Presentemente alunos, virados para a investigação e desenvolvimento, chegam a escrever 3 artigos para revistas internacionais durante o TFC! Estes alunos já sabem desde muito novos o que querem, e começam tão cedo quanto possível, bem antes do projecto, a investigar.

No entanto, há sempre um ou outro aluno que, chegando do liceu como aluno excelente, baixa de nível na LEFT. Seria bom que todos os alunos tentassem seguir as cadeiras com a formação contínua, treinando exercícios ou laboratórios regularmente, para beneficiar do esforço do professor e do “pelotão” de alunos mais activos. Mas o melhor conselho que se pode dar a um aluno é o de escolher o seu caminho muito cedo, e de cultivar a auto-disciplina, a iniciativa e o espírito de equipa.

É neste cenário que se destaca o NFIST, que quase se poderia chamar núcleo de alunos da LEFT. O NFIST é uma autêntica escola de iniciativa em diversos aspectos cruciais para a futura actividade profissional dos alunos, pois promove:

- técnicas de construção de dispositivos físicos, criatividade e invenção,
- a divulgação científica e técnicas de comunicação,
- o trabalho de equipe, a gestão, a logística e o financiamento das actividades do NFIST
- o conhecimento dos actores e instituições nacionais: professores, IST, FCT, escolas, empresas, onde tudo é feito com diversão, amaradagem e boa disposição!

## III Saídas profissionais - LEFT, e o papel da LEFT no desenvolvimento nacional

As estatísticas mostram que os alunos da LEFT, tal como os outros bons alunos do IST, conseguem um emprego sem muita demora, em diversos sectores da economia nacional, ou acabam ainda por seguir uma carreira científica de sucesso em instituições dos EUA, ou da UE, onde abundam instituições, públicas e privadas, que estão abertas a bons profissionais.

No entanto, um emprego estável em Universidades e Laboratórios nacionais é incerto. Por comparação, os primeiros licenciados da LEFT ainda tiveram, quase todos, o seu emprego “tenure track” assim que se licenciaram. Mas onde a I&D nacional é mais fraca é no sector privado, ao contrário de outros países onde existem grandes laboratórios “high-tech” privados, muitos de multinacionais, cada um com milhares de doutorados! Mas, aparentemente, estes centros ficam no país de origem da empresa. Origem que foi a garagem, celeiro, cave ou sótão de um indivíduo realmente empreendedor.

Ora, cursos como a LEFT, (ou como a Biomédica, ou a Aeroespacial), fariam mais sentido se vários alunos tentassem “ganhar a lotaria”, registando patentes ou criando empresas “high-tech” de sucesso. Só assim acabará o ciclo de menor desenvolvimento do País. Na verdade, há muito por desenvolver, pois em certos sectores estamos 60 anos atrasados em relação aos países de ponta.

Para concluir, imagino que muitos alunos (e professores) da LEFT ficarão felizes se puderem continuar a apreender Física a vida toda. Realmente, vários alunos da LEFT já foram mais longe que a maioria dos seus professores em carreiras científicas internacionais. Mas o que nos falta na LEFT é quem queira ser como o Edison ou o professor Pardal. Cabe aos professores potenciar o espírito empreendedor dos alunos. ■

# Gravidade Quântica Canónica

por Marco Robalo e Sérgio dos Santos, 1º ano LEFT

*O que é o espaço? O que é o tempo?*

*“Os materiais têm apenas propriedades espaciais mas não uma capacidade inerente de existência Temporal. É Deus que recria um corpo, em cada instante, numa acção contínua.”*

– René Descartes

*“Espaço e o tempo são o pano de fundo de todos os acontecimentos e existem independentemente destes. Não são substâncias materiais.”*

– Newton

*“O intervalo de tempo entre dois acontecimentos depende dos observadores. Não existem referenciais absolutos.”*

– Einstein

Como (possíveis futuros) Físicos, pensamos no tempo e no espaço mais como escravos dos conceitos previamente introduzidos, usando e abusando destas entidades sem nos preocuparmos com a sua Natureza, com aquilo que estas realmente representam. De que são feitos (se é que são feitos de alguma coisa)? Porque existem?

É possível descrever, em certas condições, o movimento de matéria utilizando como parâmetro de evolução a sua posição no tempo e no espaço em que se movimenta. Numa visão tipicamente newtoniana, o tempo e o espaço são meros panos de um fundo absoluto onde decorre toda a acção. Cada acontecimento é um ponto no espaço, podendo ou não evoluir no tempo deslocando-se a matéria neste pano de fundo.

Até ao aparecimento da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein o tempo e o espaço eram considerados como imutáveis, algo que, contra-intuitivamente, Einstein viria a negar. No entanto, a relatividade restrita apenas descrevia como o espaço-tempo se modificava para um determinado observador, tendo em conta somente referenciais inerciais. Não tardaria até que Einstein efectuasse as considerações relativamente a referenciais que não o fossem, o que viria a ser expresso na sua Teoria da Relatividade Geral onde, a estas entidades, foi atribuído um carácter dinâmico cuja evolução

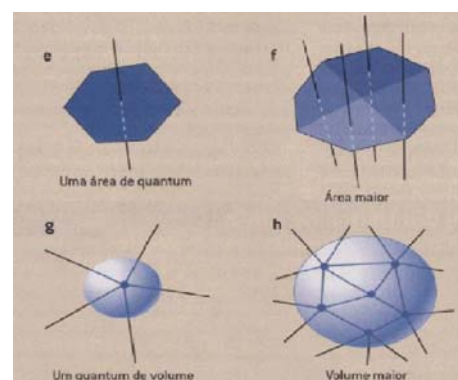
está directamente relacionada com a existência de matéria e energia. A *métrica* de um determinado local do espaço-tempo apresenta-se, portanto, em função da densidade energética desse mesmo local:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

É precisamente esta questão que torna evidente a necessidade de uma teoria unificadora que seja *independente do fundo*, i.e., que não tome como fixa uma métrica para todos os pontos, já que esta é variável consoante a densidade energética de cada ponto, como implica a Teoria da Relatividade Geral.

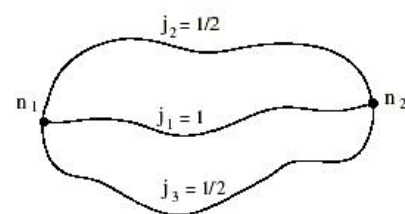
Em meados dos anos 80, uma nova formulação Hamiltoniana da teoria (por Abhay Ashtekar) permitiu novos avanços no sentido da gravidade quântica, entre os quais a tentativa de uma quantificação da métrica do Espaço-Tempo. Desta, resulta uma discretização dos volumes e das áreas mínimas no Universo, tendo em conta o comprimento de Planck. Uma das interpretações para este fenómeno foi apresentada por Lee Smolin no início dos anos 90, baseando-se no modelo de **Redes de Spin** proposto nos anos 50 por Roger Penrose. Nestas redes, cada nóculo representa um volume e cada linha uma área de Planck, funcionando como um grafo onde a posição de cada nóculo é função apenas da posição de outros nóculos,

e não do espaço de imersão da rede. Cada volume maior poderá apenas



existir como múltiplo de um volume de Planck, como representa a figura.

Neste modelo, a matéria existe nos nóculos da rede e os campos e interacções (electromagnética, forte, fraca) nas linhas (ou áreas), apresentando-se as redes de spin como uma possível configuração do espaço.



Uma rede de Spin simples

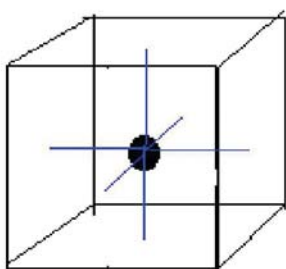
A cada nóculo e a cada linha da rede são associados números quânticos que caracterizam a configuração da rede e daí a designação de redes de spin.



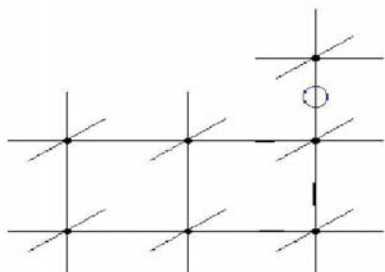
Retirando da Relatividade Geral a noção de que a geometria do espaço e a sua alteração é a própria interacção gravítica, também a rede que representa o espaço-tempo verá a sua geometria modificada.

Para uma melhor compreensão destas redes, é possível pensar numa representação um pouco mais pobre em termos de precisão, mas que terá resultados visualizáveis.

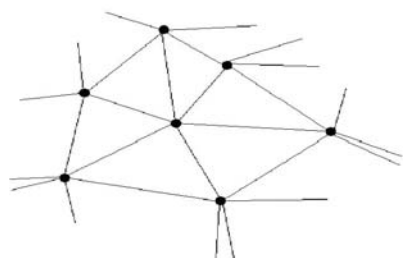
Considere-se um cubo. O volume desse cubo será representado por um nódulo no seu centro e, com origem nesse ponto em direcção a cada uma das suas faces, será traçado um eixo, que será perpendicular a essa face.



Com a mesma representação, pense-se agora noutro cubo colocado sobre o primeiro e da mesma forma numa estrutura de cubos empilhados.



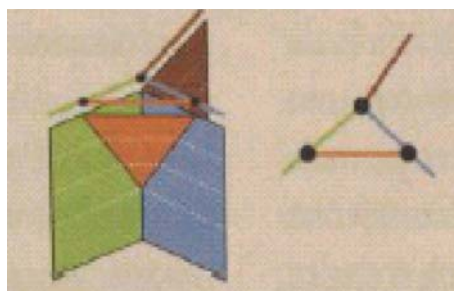
Pode-se imaginar uma rede de Spin como algo bastante semelhante. Esta estrutura de cubos organizada poderia ser facilmente “distorcida” em algo completamente irreconhecível. No entanto, continuariam a ser os mesmos “cubos”, ou melhor, os mesmos volumes.



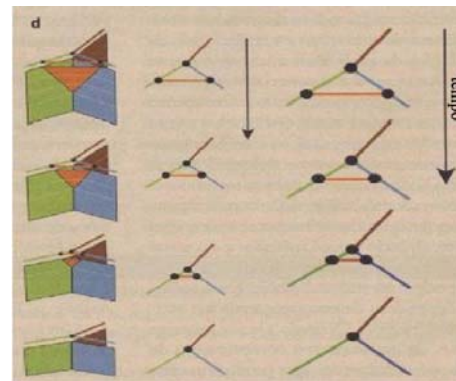
Uma modificação da geometria da rede, e neste caso dos cubos, poderia ser vista como um dos efeitos considerados pela Relatividade Geral: a presença de matéria nos volumes (nódulos) e a sua movimentação ao longo da rede provoca uma alteração na configuração geométrica desta estrutura e, uma vez que a gravidade é descrita pela alteração da geometria do espaço-tempo, teríamos uma teoria de descrição dos efeitos gravíticos a um nível quântico.

Neste exemplo considerámos os cubos como estando imersos num espaço de fundo. No entanto, as redes de spin não podem ser assim consideradas uma vez que constituem, por si próprias, o espaço de fundo.

Uma rede de spin é um grafo abstracto, não mergulhado num espaço-tempo. Apenas as relações combinatorias abstractas que definem o grafo são significativas. Não a sua forma ou posição. Não estão localizadas com respeito a algo, mas algo (matéria, campos) pode ser localizado em relação a si. O Espaço resulta da sobreposição quântica das redes de spin. É de notar que estas propriedades não são assumidas como hipótese na construção da teoria, mas sim um resultado. O estudo da evolução da estrutura geométrica da rede poderá ser feito pela adição de uma dimensão extra. Neste panorama, cada linha torna-se um plano e cada nódulo, uma linha. Estas estruturas são designadas por Espumas de Spin.



Poderá acontecer que durante a evolução da rede ocorra a conexão ou desconexão de nós como apresentado na figura. A interpretação dada por Smolin e Carlo Rovelli é de que cada vez que se dá um desses fenómenos ocorre a passagem de um tempo de Planck.



Na evolução desta rede apenas no último passo ocorre a passagem de um intervalo de tempo de Planck.

Deste modo surgem, quer o Espaço, quer o Tempo, discretizados, sendo a estrutura espaço-temporal caracterizada por uma Espuma de Spin.

Não pretendendo a teoria de gravidade quântica de loops unificar as interacções, existem já alguns trabalhos que procuram conciliar ideias de teoria de Supercordas com alguns aspectos desta teoria. A teoria de cordas assume-se como dependente do fundo e, ao contrário das redes de spin (que constituem o próprio espaço), as cordas movem-se num espaço com métrica fixa. A métrica é separada em duas componentes sendo uma delas assumida axiomáticamente como de fundo (Minkowski) e a outra contém informação acerca da gravitação.

$$g_{uv} = \eta_{uv} + h_{uv}$$

### Bibliografia:

Carlo Rovelli - “Quantum Gravity” - draft versão 30 Dezembro 2003

[http://www.cpt.univmrs.fr/\\_rovelli/book.pdf](http://www.cpt.univmrs.fr/_rovelli/book.pdf)

e artigos:

Abhay Ashtekar- arXiv:gr-qc/0404018 v1 3 Sep 2004 :

“Background Independent Quantum Gravity: A Status Report”

Abhay Ashtekar- arXiv:gr-qc/0410054 v1 19 Oct 2004 :

“Gravity and Quantum”

em:

<http://www.arxiv.org>



# Visualização da Relatividade Restrita

por Tiago Guerra Marques, 2ºAno LEFT

**Os efeitos que um observador vê, quando se desloca a velocidades próximas da luz, são dignos da melhor ficção científica. Mas ficção ou ciência? Para responder a esta pergunta elaborei um código numérico que simula a realidade quando vista a “altas velocidades”.**

Comemora-se este ano, o centenário do tão proclamado “ano milagroso da Física” que em parte se ficou a dever à elaboração da teoria da Relatividade Restrita por Albert

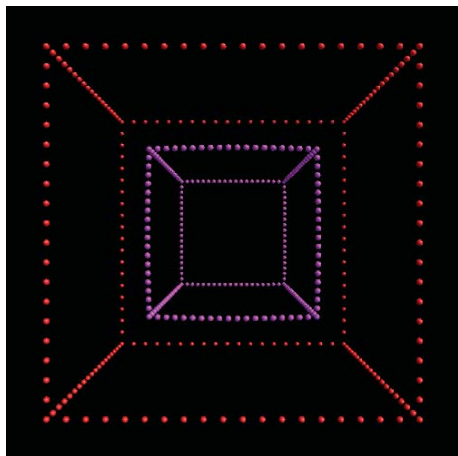
Einstein. Considerei então propositado escrever um artigo sobre um projecto que eu e o meu colega Ricardo Figueira fizemos para a disciplina de Técnicas da Física Computacional que visa simular o que um observador “vê”, tendo em conta efeitos relativísticos. O trabalho não teria sido possível sem a ajuda dos Professores Luís Silva e André Neto, da disciplina de TFCOM, bem como, do Professor José Sande e Lemos.

## Relatividade Restrita

Em 1905, de forma a resolver a incompatibilidade do Electromagnetismo com a Relatividade de Galileu, o jovem Einstein elabora a brilhante teoria da Relatividade Restrita assente em dois postulados:

- As leis da Física são iguais em todos os referenciais inerciais;
- A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor ( $c = 3.00 \times 10^8 \text{m/s}$ ) em todos os referenciais inerciais,

## Efeito de Doppler



independentemente das velocidades destes.

Destes dois postulados, que à partida parecem inofensivos, vem uma consequência dramática. O Espaço e o Tempo não são absolutos. De facto, quando um referencial se desloca com uma determinada velocidade em relação a outro, o Espaço sofre uma contracção e o Tempo dilata. Estes dois fenómenos são formalizados nas famosas transformações de Lorentz.

$$\Delta x = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \Delta x_0 ;$$

$$\Delta t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \Delta t_0$$

## Visualização da Relatividade Restrita

Até aqui nada de novo. Qualquer aluno de primeiro ano de uma licenciatura de Física ou amante de livros de divulgação científica conhece estas fórmulas. O que há então de especial na visualização da Relatividade Restrita? Antes de analisarmos o problema, é importante definir o conceito de visualização. Entende-se por visualização ou observação a imagem que os raios de

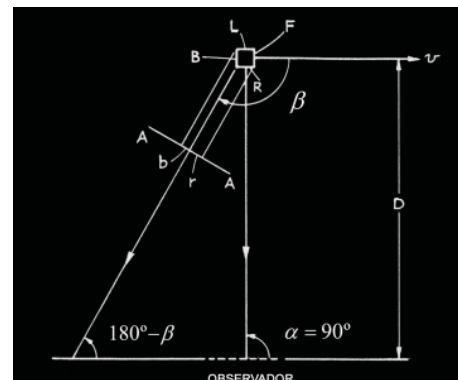
luz, que chegam simultaneamente aos olhos do observador, constroem. Considerem um cubo que se desloca perpendicularmente em relação ao campo de visão de um observador. Segundo a mecânica clássica o observador vê o cubo com as mesmas dimensões e exactamente na mesma posição quando o raio de luz partiu do cubo (a velocidade da luz é infinita e portanto demora 0 segundos a atingir o olho do observador).

Na Relatividade Restrita tal não acontece. Para começar o cubo encontra-se distorcido segundo a contracção do espaço que resulta das transformações de Lorentz. Como se isso não chegasse, ocorre um fenómeno designado aberração dos raios de luz, que consiste no facto de nem todas as partes do cubo se encontrarem à mesma distância do observador. Ao analisarmos a situação, verificamos que um raio que parta da face mais distante do cubo demora mais tempo a chegar ao observador, uma vez que esta se encontra mais longe e a velocidade da luz é finita. Assim, os raios de luz que chegam simultaneamente ao observador não partiram simultaneamente do objecto, mostrando por isso uma aberração da forma contraída deste.

Este efeito é importantíssimo chegando muitas vezes a impor-se à contracção de Lorentz. De facto em 1958, Penrose descobriu que uma esfera apresentava sempre o seu perfil circular, independentemente da sua velocidade em relação a um observador. O que na prática acontece, é que o fenómeno da aberração dos raios de luz compensa exactamente a contracção resultando na conservação da forma de círculo que um observador vê de uma esfera. No ano seguinte, Terrel deduziu uma equação, que ficou conhecida como rotação de Terrel, que nos dá uma rotação, no plano formado pelo vector velocidade e o vector raio de luz, do objecto real para o objecto visualizado por um observador.

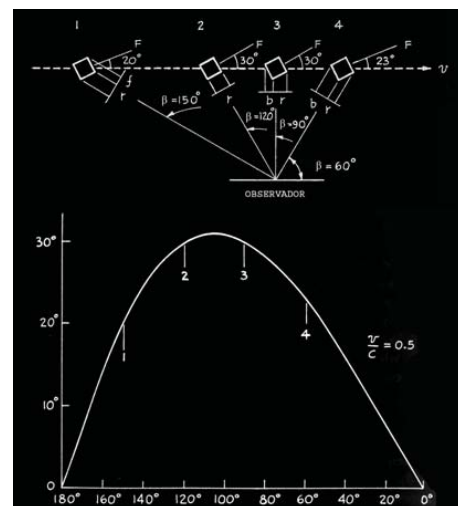
$$\tan\left(\frac{1}{2}\beta\right) = \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \tan\left(\frac{1}{2}\alpha\right)$$

Em que beta representa o ângulo com que o objecto é visualizado e alpha o ângulo do objecto real.



Aberração do raio de luz

Voltando ao problema do cubo, verifica-se que este se encontra rodado pois os raios de luz que partem de uma face mais distante demoram mais tempo a chegar ao observador. Assim, quando o cubo passa à frente de um observador, este consegue ver a sua face traseira o que seria impossível em mecânica clássica.



Rotação de Terrel

## Efeito de Doppler Relativista

Outra consequência muito importante da Relatividade Restrita é a alteração da “cor” da radiação visível pelo efeito de Doppler Relativista. Como é sabido o som de uma sirene de ambulância fica “mais



agudo” quando esta se aproxima e “mais grave” quando ela se afasta. Este efeito designa-se efeito de Doppler e tem origem no facto da velocidade relativa entre o emissor e o receptor do som poder variar. Em Relatividade Restrita quando o emissor de uma radiação electromagnética se encontra num referencial com velocidade relativa não nula em relação ao receptor, esta sofrerá também uma aberração. Tal fenómeno resulta da velocidade da luz ser constante e de haver uma transformação temporal de um referencial para outro. Essa aberração é dada por um coeficiente que se calcula da seguinte forma:

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left( 1 + \frac{v}{c} \cos(\beta) \right)$$

Conhecendo este coeficiente e sabendo a frequência da radiação

emitida consegue-se obter a frequência recebida:

$$\omega' = \frac{\omega}{D}$$

Assim, quando um objecto se aproxima ele sofre um *blueshift*, i.e. um desvio para o azul, e quando se afasta um *redshift*. Estes desvios consistem numa deslocação da frequência para as extremidades do visível. Por vezes, quando o desvio é tão acentuado, o objecto sai fora do visível, tornando-se invisível para um observador.

A aplicação que eu e o meu colega programámos simulava a visualização de vários objectos, quando estes se deslocavam a velocidades próximas de  $c$ , considerando as transformações de Lorentz, a rotação de Terrel e o efeito de Doppler relativístico. Foi possível assim confirmar uma série de resultados teóricos previstos pelos trabalhos de Penrose e Terrel bem

como imaginar o mundo visto a velocidades “cosmicamente” alucinantes. O resultado é uma série de simulações que parecem tiradas de filmes de ficção científica. ■

Qualquer comentário, dúvida ou correcção é bem-vindo para [t\\_marques@nfist.ist.utl.pt](mailto:t_marques@nfist.ist.utl.pt)

O programa executável encontra-se em: <http://comp-physics.ist.utl.pt/~fcomp/bestof/t7.html> (requer Java Web Start)

#### Bibliografia:

The apparent shape of Relativistically Moving Sphere – Penrose 1958

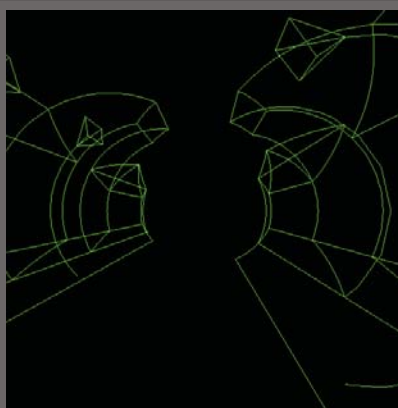
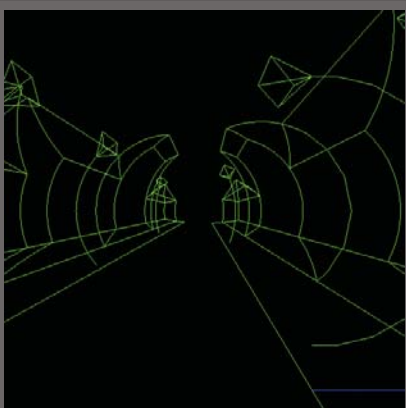
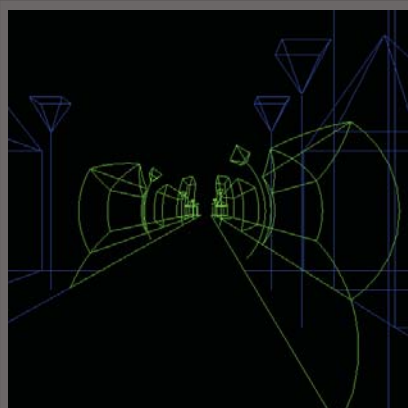
The invisibility of the Lorentz Contraction – Terrel 1959

Special Relativity – Albert Shadowitz 1968

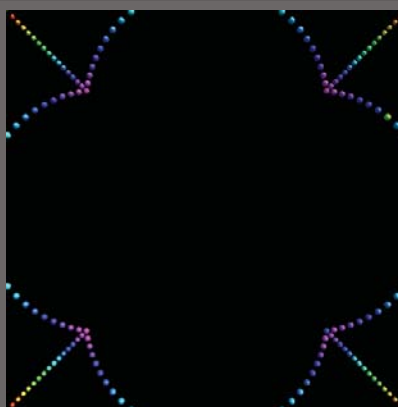
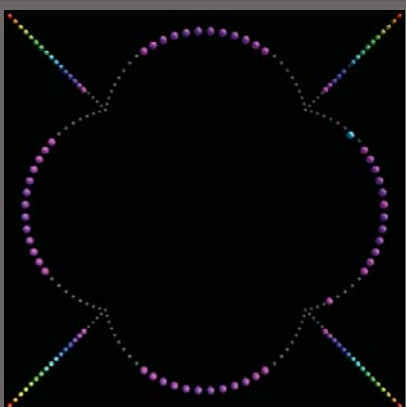
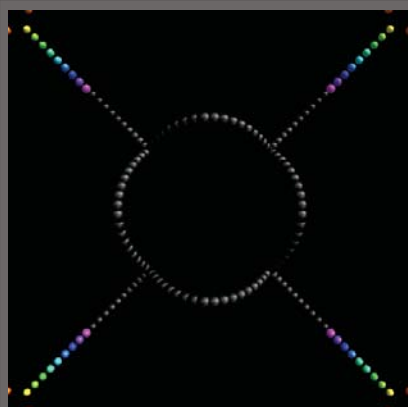
Visualizing Special Relativity – C.M. Savage and A.C. Searle 1999

Visualization of 4-Dimensional Space-Times – Daniel Weiskopf 2001

## O mundo à velocidade da luz



Rua a 0,99c



Cubo a 0,99c  
com efeito de  
doppler

# Paradoxo EPR

por Daniel Mendes, 1ºAno LEFT

As primeiras décadas do século XX assistiram a um progresso científico sem precedentes: a relatividade Einsteiniana trouxe uma nova visão revolucionária do espaço-tempo, contrariando preconceitos que prevaleciam desde que o homem se começou a interrogar seriamente sobre o mundo onde vivia.

No entanto, estava por aparecer uma teoria que se viria a revelar ainda mais revolucionária. A partir dos contributos de cientistas como Max Planck, Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg e Paul Dirac, a emergente teoria quântica viria propor uma nova perspectiva tão arrojada que nem o visionário Einstein a conseguiu aceitar completamente. O indeterminismo presente na mecânica quântica contrariava todas as intuições clássicas, e Einstein tinha uma visão determinista do mundo, como ficou bem explícito na sua famosa frase, “Deus não joga aos dados”.

É neste contexto que, em 1935, foi publicado na revista *Physical Review* um artigo que delineava o que passaria a ser conhecido como “Paradoxo EPR”, nome que releva dos apelidos dos seus autores, Albert Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen. O objectivo do artigo era simples: demonstrar que a teoria quântica, tal como era interpretada na

época, estava errada ou, no mínimo, incompleta, sendo apenas uma aproximação estatística de uma teoria maior e mais abrangente, que estaria ainda por descobrir.

Os três cientistas começam então por definir aqueles que lhes parecem ser os critérios aos quais uma teoria física completa tem de obedecer:

*1 - Todos os elementos da realidade física têm correspondente numa teoria física completa.*

*2 - Se, sem perturbar o sistema, for possível prever com certeza (i. e., com probabilidade igual à unidade) o valor de uma quantidade física, existe um elemento da realidade que lhe corresponde.*

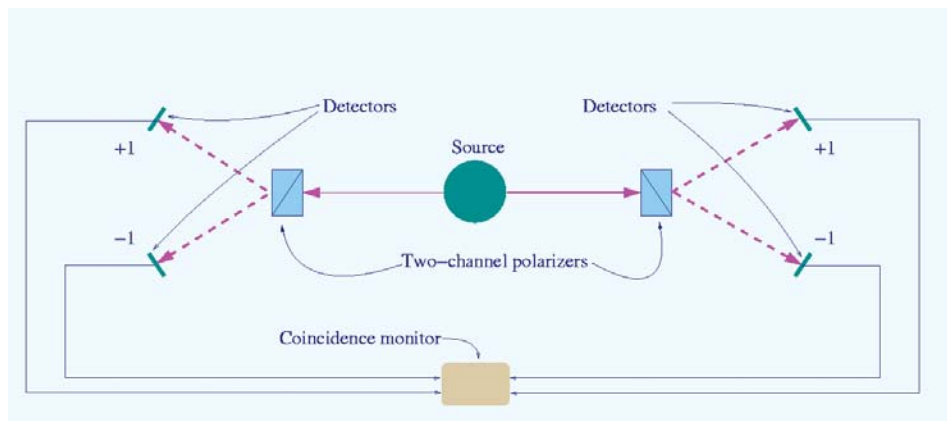
O artigo propõe então uma experiência imaginária: um sistema, com momento angular nulo, decai – sem perturbação do seu momento angular total – em dois novos sistemas, ou partículas, A e B. Estes produtos de decaimento separam-se de maneira a que deixem de se verificar interações apreciáveis entre eles. O momento angular do sistema manter-se-á, mas o spin individual de cada partícula fica indefinido – existe num estado de sobreposição quântica – e tem de ser expresso em função do estado da outra partícula: um fenómeno conhecido por enlaçamento

quântico (quantum entanglement).

Pode então realizar-se a medição de uma componente arbitrária do spin para qualquer das partículas; Suponhamos que medimos para a partícula A um spin positivo segundo o eixo y: a partícula B terá de ter um spin negativo segundo o mesmo eixo, é uma conclusão a que chegamos instantaneamente. Como a partícula B não é perturbada, pelo ponto (2) dos critérios dos autores, pode dizer-se que existe um *elemento de realidade* correspondente ao seu spin segundo o eixo y. Imagine-se então uma medição referente ao spin no eixo x, ou z, em vez de y: a lógica seria a mesma e obteríamos novos *elementos de realidade*: o spin de B segundo x ou z. Se aceitarmos que não podem haver interações que se propaguem mais rápido que a velocidade da luz, somos forçados a concluir que estes elementos da realidade já existiam, estando intrinsecamente definidos na partícula B.

No entanto, sendo as componentes do spin de cada partícula observáveis não comutáveis, como, por exemplo, o seu momento e posição (na verdade o argumento original é formulado a partir destas observáveis – a definição do paradoxo com recurso às componentes de spin é uma contribuição de David Bohm), não nos é possível, na mecânica quântica e à luz do princípio de Heisenberg, conhecê-los simultaneamente. Voltemos então aos critérios dos autores, já vimos que existem *elementos da realidade* referentes a cada uma das componentes do spin, e sabemos que, pela mecânica quântica, não as podemos saber a todas; ora (1) diz-nos que todos os elementos de realidade têm correspondente numa teoria física completa, a conclusão é que, nesses termos, a teoria quântica não pode estar completa.

A explicação aventada por Einstein, Podolsky e Rosen é a chamada hipótese das variáveis escondidas, segundo a qual existem variáveis intrínsecas do sistema que definem as suas propriedades e que não são tidas em conta na MQ.



Princípio de análise de fótons para o teste de Bell

## SEGURANÇA AUTOMÓVEL

POR NUNO FERNANDES, 1.º LEM

Em resposta ao artigo original, Niels Bohr publicou, na edição seguinte da *Physical Review*, um artigo que ataca o argumento de Einstein: Bohr explica que as premissas (1) e (2) implicam certas suposições:

3 - O mundo pode ser analisado correctamente em termos de "elementos de realidade" distintos e separadamente definidos.

4 - Qualquer destes elementos corresponde a uma quantidade matemática precisamente definida e presente numa teoria completa.

assentes em intuições clássicas e contrárias *a priori* à teoria quântica, pelo que não se pode construir um encadeamento lógico baseado nelas e que se aplique a sistemas quânticos.

O impasse foi quebrado quando, em 1964, John Bell propôs um teorema, a desigualdade de Bell, que a ser verificada provaria a hipótese das variáveis escondidas; o resultado foi, no entanto, negativo, refutando a hipótese de EPR e reforçando a posição da MQ.

Hoje em dia o paradoxo EPR é geralmente visto não como uma contradição na mecânica quântica, mas sim como um exemplo de situações em que esta teoria apresenta resultados que divergem das nossas intuições clássicas. Uma das lições que aprendemos deste período brilhante da evolução humana é que não podemos confinar a ciência e o progresso a ideias pré-definidas; como escreveu Brian Greene, "A coragem de formular perguntas profundas pode requerer uma flexibilidade surpreendente se quisermos aceitar as respostas". ■

## Bibliografia:

Bohm, David. *Quantum Theory*. New York: Dover. 1989

Selleri, Franco and van der Merwe, Alwyn. *Quantum Paradoxes and the Physical Reality*. Springer. 1989

● O gradual aumento do tráfego automóvel cedo se reflectiu num aumento crescente da sinistralidade, sendo hoje em dia um fenómeno tão grave que se tornou numa das principais causas de morte nos países desenvolvidos, dos quais Portugal é um bom exemplo, onde é a principal causa de morte nas faixas etárias mais jovens. A tomada de consciência deste facto por parte da indústria automóvel deu-se em meados dos anos 50, data dos primeiros *crash-test*. Desde então que a física, a mecânica e a tecnologia estão de mãos dadas, fazendo com que os automóveis não parem de evoluir em termos de segurança.



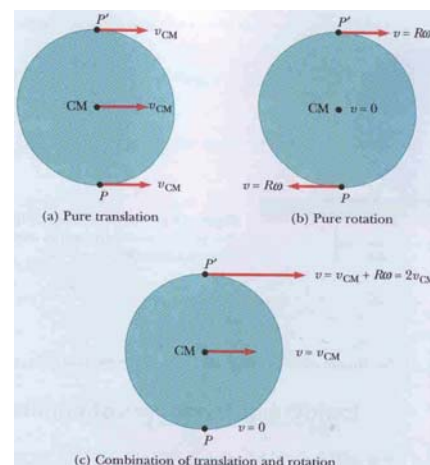
Actualmente podemos dividir os vários mecanismos de segurança em dois tipos: segurança activa e passiva. Na primeira podemos encontrar dispositivos principalmente electrónicos, enquanto que na segunda há uma predominância dos mecanismos mecânicos.

A segurança activa diz respeito aos dispositivos que actuam de forma a evitar acidentes. Estes têm como principal função fazer com que

veículo reaja o mais depressa e eficazmente às acções do condutor. Entre estes dispositivos, alguns de nome já bastante familiar, encontram-se o ABS, o sistema de controlo de tracção, o ESP e o sistema de assistência à travagem de emergência.

O ABS (Anti-Blocking System ou Sistema Anti-Bloqueio) tem como função evitar o bloqueio das rodas em travagem, analisando a pressão exercida pelos travões em cada uma das rodas. Caso uma destas bloqueie, o sistema alivia a pressão exercida pelo travão respectivo até que esta volte a rodar, mantendo sempre uma pressão na eminência do bloqueio. Este sistema foi desde cedo muito criticado, já que os condutores ainda associam uma travagem forte e eficaz a uma travagem ruidosa e com borraça queimada. Analisemos então esta situação à luz da física.

Consideremos três pontos em três rodas com movimentos distintos: uma com movimento apenas de translação (imaginem-se o movimento de um pneu suplente transportado numa posição paralela às rodas do veículo), uma com movimento de rotação (imaginem-se o movimento de uma roda com o veículo suspenso) e uma com movimento de rotação e de translação (movimento normal das rodas de um veículo em andamento).



retirado do *Physic for Scientists and Engineers* de Serway e Jewett

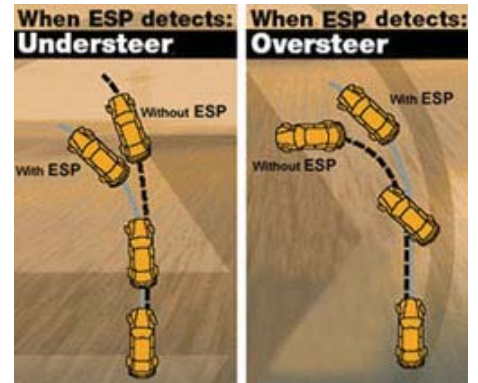


Na primeira roda podemos observar que o ponto “mais alto” desta tem a mesma velocidade que o centro e que o ponto “mais baixo” desta. Na segunda roda observamos que o ponto mais alto tem uma determinada velocidade e que o ponto mais baixo tem o mesmo valor de velocidade em módulo mas com sentido inverso, estando o centro em repouso. A velocidade destes três pontos na terceira roda resulta da soma das velocidades dos mesmos pontos nas situações anteriores: o centro da roda terá, como é evidente, a velocidade a que o veículo se desloca, enquanto que o ponto mais alto terá o dobro dessa velocidade. O ponto mais baixo por sua vez estará em repouso. Isto pode à primeira vista parecer estranho mas este repouso é relativo; no caso das rodas dos automóveis este repouso é relativo à estrada. Consideremos agora que existem dois tipos de atrito: o atrito estático e o atrito cinético, sendo o valor do primeiro (para uma mesma situação) sempre maior que o valor do segundo. Ora, para que um automóvel trave, é necessário que exista atrito entre os pneus das rodas e a estrada. Como é lógico, quanto maior for a força de atrito, mais rápida será a travagem. Como o ponto de contacto com o solo de uma roda em movimento, dito normal, está em repouso, este irá ser actuado pelo atrito estático. No entanto se a roda entrar em bloqueio (derrapagem), este ponto deixará de estar em repouso pelo que passará a ser actuado pelo atrito cinético, que, como já foi referido, tem um valor inferior ao atrito estático, o que fará com que a travagem se torne mais demorada e menos eficaz. É o facto de este ponto deixar de estar em repouso que faz com que a borracha dos pneus queime, já que, quando esta passa a ter movimento em relação ao solo, vai “raspar” neste, provocando queimaduras causadas por abrasão nos pneus (no entanto aqueles que gostem de ouvir travagens não devem ficar desiludidos já que o sistema ABS desliga a velocidades abaixo dos

7 km/h, onde o bloqueio das rodas não é considerado como prejudicial para a travagem). Uma outra razão de peso para o evitar o bloqueio das rodas baseia-se no controlo do carro: o atrito não influencia apenas a travagem do carro como também a aderência deste ao solo, pelo que um veículo em travagem a derrapar é bem mais difícil de controlar (senão mesmo impossível) que um veículo em travagem gradual. Vemos então que o sistema ABS não tem motivos para ser criticado em situações ditas como normais na condução do dia-a-dia. No entanto, em situações fora do normal, o sistema revela as suas falhas, motivo pelo qual o sistema ABS nos veículos todo-o-terreno pode ser desligado, já que, por exemplo, numa travagem sobre lama, o sistema reduz de tal forma a pressão dos travões para evitar o bloqueio das rodas que a travagem se torna praticamente nula.

O sistema de controlo de tracção tem como função evitar o patinar das rodas do veículo em aceleração. Este sistema é semelhante ao ABS, actuando na aceleração em vez de na desaceleração e regulando a potência transmitida a cada uma das rodas em vez da pressão dos travões. É de grande importância nas curvas, podendo compensar alguns excessos de velocidade, evitando a perda de controlo do veículo, o que não permite no entanto ao condutor utilizar este dispositivo como justificação para abusar da velocidade.

O ESP (Electronic Stability Program ou programa electrónico de estabilidade) recebe informação de vários sensores colocados no veículo que registam a posição da direcção e a viragem das rodas, as acelerações transversais e longitudinais e o nível de travagem, entre outras, e interpreta-a de forma a calcular se o veículo está a tomar uma trajectória considerada como ideal ou não, corrigindo-a em caso negativo actuando sobre os travões. Mais uma vez são evidentes as semelhanças com os dispositivos anteriores.



Por último a assistência à travagem de emergência tem como função detectar uma pressão anormal do condutor sobre o travão, interpretando esta situação como uma travagem de emergência, maximizando a travagem e regulando o ABS. Em alguns modelos acciona ainda as luzes intermitentes de forma a informar os restantes condutores da situação de perigo.

A segurança passiva diz respeito aos dispositivos que actuam quando todos os dispositivos de segurança activa não são suficientes para evitar um acidente. Entre estes encontramos os airbags, os cintos de segurança e o corpo do veículo em si. Todos eles actuam com um objectivo em comum: aumentar ao máximo o tempo de colisão. Isto porque os corpos em movimento possuem momento linear ( $p = mv$ ). A variação do momento linear é igual ao impulso da força ( $\Delta p = I = F \cdot \Delta t$ ). Numa situação de colisão de um carro com um muro teoricamente indestrutível, ao analisarmos as fórmulas observamos que quanto “mais demorada” for a colisão, menor será a força aplicada nos condutores e por conseguinte serão minimizadas as lesões que possam resultar dessa colisão. Isto porque ao falarmos da força aplicada num acidente devemos também falar em desaceleração, já que quanto maior e mais drástica for esta desaceleração, maiores são os riscos para os ocupantes.



Existe ainda outro tipo de protecção que consiste em evitar que entrem peças e/ou objectos que possam provocar lesões nos ocupantes dos veículos e que passa pela utilização de materiais de construção menos rígidos e da redução do número de peças e/ou da substituição destas por outras semelhantes que não perfurem ou cortem.

Os cintos de segurança são já bastante conhecidos não só por causa das multas como pelo facto de terem sido o primeiro dispositivo de segurança automóvel, pelo que acompanha os automóveis ao longo de décadas. Estes sofreram evoluções, passando de simples cordas atadas à volta da cintura para tiras bastante resistentes que envolvem cintura e peito, utilizando-se mais tarde pré-tensores e, actualmente, limitadores de esforço. Os cintos encontram-se ligados directamente ao chassis dos veículos, sendo um dos componentes mais resistentes dos automóveis. Envolvem várias partes do corpo do ocupante de forma a aumentar a superfície de contacto de maneira a que a força exercida em caso de acidente seja repartida por diversos pontos e que não seja possível ao corpo sair do cinto. Os pré-tensores fazem com que o cinto esteja sempre apertado contra o corpo do ocupante. São eles os principais responsáveis pelo desconforto afirmado pelas pessoas como justificação para a não utilização do cinto ou para a utilização de molas e outro tipo de

suportes que diminuem o aperto destes. No entanto estas molas são extremamente perigosas, podendo tornar-se mesmo fatais, porque o aperto dos cintos faz com que os ocupantes não sejam projectados para fora dos seus assentos e, por conseguinte, do veículo. Estas molas não só tornam os cintos ineficazes como podem ainda ter um efeito inverso, fazendo com que o corpo do ocupante seja “catapultado”, já que o cinto passa a prender apenas a cintura e não o tronco, potenciando a projecção do ocupante para o exterior do carro e, no mínimo, potenciando lesões nos intestinos, uma parte bastante sensível e vital do corpo humano. Por sua vez os limitadores de esforço fazem com que a pressão exercida pelo cinto no corpo do ocupante não seja demasiado grande, de forma a minimizar possíveis lesões provocadas pela acção do cinto.

Os airbags são autênticas almofadas que têm como função proteger a cabeça e o tronco do ocupante, evitando que estes choquem contra elementos duros, tais como o volante ou o tablier. A utilização dos airbags tornou-se ao longo dos anos cada vez maior e mais versátil, principalmente na Europa, cujo seu aparecimento em massa é relativamente recente. Hoje em dia a maior parte dos carros têm no mínimo dois airbags, sendo cada vez maior o número de lugares com airbag, possuindo alguns carros airbags para os bancos de trás. Actualmente estão em desenvolvimento e em alguns

casos já em utilização airbags laterais e airbags de cortina, entre outros, numa tentativa de cada vez mais envolver os ocupantes em “casulos” de forma a que estes tenham o máximo de protecção e isolamento do exterior em caso de acidente, numa imagem familiar de alguns filmes de ficção científica.

Por último, mas talvez o mais importante, falemos do corpo do veículo em si. Muitas vezes ouvimos que “já não se fazem coisas como antigamente” e que os carros se partem à mínima pancada. Se bem que no “pára-arranca” do dia-a-dia dos circuitos urbanos tal facto não seja muito bom, principalmente para os nervos e para a carteira dos condutores, é um factor extremamente decisivo para, literalmente, salvar vidas em caso de acidentes graves. Falou-se anteriormente na tentativa de maximização do tempo de colisão de forma a minimizar a força de embate. Ora é na deformação do corpo do veículo que melhor se consegue cumprir esse objectivo. Segundo a construtora de automóveis Renault, “se um carro de estrutura rígida colidisse contra uma parede a 50 km/h e com uma deformação de 10cm, o condutor sofreria um impacto 100 vezes superior ao peso do seu corpo e não sobreviveria (...) já num veículo com chassis de deformação programada e à mesma velocidade a deformação pode rondar os 80cm, mas o impacto sentido pelo condutor fica reduzido a 20 por cento” (retirado de [http://www.renault.pt/seguranca/auto\\_segurancaP.html](http://www.renault.pt/seguranca/auto_segurancaP.html)).

Estes valores falam por si. Daí que, embora à primeira vista pareça o contrário, quando mais destruído ficar o exterior de um carro numa colisão, mais seguro este é. Quem nunca viu as imagens espectaculares de acidentes de Fórmula 1 em que por vezes os carros embatem a mais de 300 km/h, ficando totalmente destruídos, em que os pilotos saem pelo próprio pé, ilesos, apenas com tonturas? Basta pensar, numa forma de dizer um pouco popular, que o que



Crash-Test -  
cinto de  
segurança



## Crash-Test - corpo do veículo



retirado de [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)

o carro não sofrer, terão os ocupantes de sofrer, porque a força do impacto simplesmente não se evapora... Completamente inverso é o que deve acontecer ao *cockpit* do carro (zona onde se encontram os ocupantes). O cockpit deve-se manter o mais rígido possível, sendo este como uma espécie de ovo ou carapaça. Assim, um automóvel deve ceder o mais possível na parte da frente e de trás mas deve ser o mais rígido possível na região central e nas laterais. O facto de os veículos serem mais longos na frente e na traseira do que nos lados reflecte-se negativamente na segurança dos automóveis em caso de colisão lateral, já que a deformação lateral é muito inferior à deformação frontal e traseira, sendo considerado actualmente este tipo de colisões como as mais perigosas. Numa tentativa de reduzir os riscos em caso de colisão lateral desenvolveram-se as barras de protecção lateral e estão em desenvolvimento gradual os já referidos airbags laterais. Falando do corpo do automóvel há ainda um facto que não se pode esquecer: os automóveis são desenhados e construídos cada vez mais com a consciência nos peões, reduzindo o risco de morte e de lesões em caso de atropelamento. No entanto, muito sinceramente, são ainda vergonhosos

os resultados apresentados pela Euroncap dos *crash-test* que simulam situações de atropelamento de muitos dos carros testados, rodando a maior parte deles apenas numa ou duas estrelas em quatro possíveis.

Como nota fala-se também nos encostos para a cabeça dos bancos dos automóveis. Estes, embora possa parecer que têm apenas como função aumentar o conforto dos ocupantes, fazem também parte da segurança passiva, já que evitam o “efeito de chicote” em colisões traseiras, evitando que a cabeça ocupe uma posição mais recuada que o tronco, de forma a que o pescoço não sofra fracturas que podem ser fatais. Este “efeito de chicote” também se verifica em colisões frontais, já que, por instinto, quando o corpo é projectado para a frente, este tem um impulso para trás, que, ao chocar com o banco, pode projectar a cabeça para trás.

Terminada esta pequena e breve visão geral sobre os mecanismos de segurança automóvel, que poderá trazer o futuro em termos de segurança automóvel? Tudo parece apontar para automóveis cada vez mais electrónicos e cada vez menos mecânicos. Num futuro próximo poderemos encontrar já as direcções eléctricas que aumentarão a segurança

dos automóveis, através de um maior controlo dos dispositivos electrónicos de segurança activa sobre a condução, com o desaparecimento de algumas peças que podem penetrar no cockpit em caso de colisão e dando uma maior liberdade aos designers para projectarem a arquitectura dos automóveis. Quando maior for o grau de envolvimento da electrónica nos automóveis, menor será o controlo dos condutores sobre os seus veículos, caminhando para os chamados “auto-pilotos” o que por si só é uma medida que promove a segurança automóvel pois os elementos mais “inseguros” do carro são os ocupantes.

Por mais desculpas que se arranjem uma coisa é certa: hoje em dia, com os carros que são actualmente colocados no mercado, só continuam a ocorrer mortes em acidentes de viação de automóveis por causa dos condutores. Primeiro porque os nossos corpos não evoluíram com o objectivo de se deslocarem a grandes velocidades ou de terem de reagir em milésimos de segundo nessas velocidades e muito menos de sofrerem fortes desacelerações. E segundo porque a irresponsabilidade dos condutores actuais é mais que visível. Sobre esse aspecto já muito se falou, não fale a pena falar mais. Mas repare-se que até nos pequenos detalhes, como a posição no banco, a segurança dos ocupantes pode ser severamente comprometida: os cintos, airbags, etc, são criados considerando que o ocupante se sinta correctamente no banco. Se este for deitado ou simplesmente com os pés no tablier pode tornar estas protecções inúteis ou mesmo fazer com que estas tenham um efeito inverso, basta imaginar a explosão dos airbags nas duas situações apresentadas... ■

## Bibliografia:

[www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)  
<http://turboonline.clix.pt>  
[www.renault.pt/seguranca/automovel.html](http://www.renault.pt/seguranca/automovel.html)



# Verão no CERN

por João Santos Sousa, 4º ano LEFT

O propósito de uma PULSAR mais científica e menos familiar (no sentido de divulgar o “pulsar” do nosso curso) conduziu a uma nova linha editorial. Posto isto, surgiram inevitavelmente limitações à produção deste artigo. Afinal, o último Verão, passado no CERN, foram umas férias fantásticas com muitas histórias para contar... Apesar de não vos poder falar de todas as nossas peripécias, viagens (só a título de inveja, nos nossos fins-de-semana de descanso sagrado, chegámos a ir a Chamonix e “ao alto” do Mont Blanc – que é apenas o ponto mais alto da Europa – e à praia à Côte d’Azur – incluindo mais de uma volta no circuito de fórmula 1 do Mónaco), convívios e afins, parece-me que mesmo assim vão achar piada ao dia-a-dia de um Summer Students no CERN (ainda que não o fossemos oficialmente...).

Abordando então a parte mais “científica”, as nossas manhãs, na fase inicial da nossa estadia, eram passadas a assistir a palestras sobre os mais variados temas. Ainda que o leque temático fosse alargado, todas as sessões abordavam assuntos relacionados com as actividades científicas desenvolvidas no CERN.

Como tal, tanto presenciávamos apresentações de física de partículas teórica como de detectores ou análise e tratamento de dados. Os temas das palestras eram todos apelativos ainda que, obviamente, algumas, dados os oradores, fossem mais interessantes de assistir (mas isso é como cá no técnico, algumas aulas assistem-se bem e outras nem tanto). De destacar o facto de muitos dos oradores serem cientistas conhecidos e reconhecidos na área científica da palestra e de alguns serem inclusivamente prémios Nobel (ainda que o grau de importância do orador nem sempre fosse proporcional à qualidade da palestra em termos de cativação).

Depois do almoço na fantástica cantina do CERN (claro que a qualidade da comida e a comparação com a nossa reles cantina leva a que a do CERN seja apelidada de Restaurant), íamos desenvolver o nosso trabalho no projecto científico em que estávamos integrados (no caso a experiência de iões pesados NA60). As nossas tarefas estavam primordialmente relacionadas com programação em diferentes linguagens cujos objectivos visavam a simulação da experiência, a aquisição de dados e o seu tratamento “em

tempo real”. Claro que também havia uma parte do trabalho muito mais “mãos na massa”, em que se tratava da montagem de detectores e transporte de dispositivos. Todas as actividades por nós desenvolvidas encontravam-se ao alcance das nossas capacidades e conhecimentos o que acabou por não se traduzir em improdutividade e desânimo. Por outro lado, em cada uma das tarefas havia sempre novos conhecimentos e capacidades a adquirir, o que as tornava igualmente estimulantes. Graças ao trabalho desenvolvido fomos, então, possível compreender melhor o funcionamento de uma grande experiência: desde a interacção entre diferentes pessoas/profissionais (desde engenheiros de diversas áreas a físicos teóricos) a toda a logística de transporte e montagem. Concluindo, a integração num projecto científico deste tipo é bastante enriquecedor quer em termos de melhores conhecimentos físicos dos fenómenos em estudo quer em termos de tecnologias e logística.

Voltando à parte dita melhor, ainda não vos falei directamente da sensação de estar realmente na



Os quatro alunos de LEFT que partiram nesta aventura em Genève



O meu local de trabalho, na Route A. Einstein, no CERN

Europa, perto de tudo, onde um fim-de-semana é suficiente para mudarmos de país e conhecermos muitos sítios. Foi graças a essa realidade que podemos realizar viagens fantásticas e divertidas todos os fins-de-semana. Ainda assim, é de notar que a dificuldade em alugar carro levou-nos a “viajar” durante três fins-de-semana de bicicleta (onde se incluem as idas a Genève e arredores). E esta é outra parte boa do nosso Verão: as bicicletas. No CERN, podem-se alugar bicicletas gratuitamente (é apenas necessário pagar uma caução que nos é

devolvida, obviamente, aquando da devolução da bicicleta) durante todo o nosso período de estadia. Dado o relevo nada acentuado da região do Lago de Genève (a cidade e respectivo lago ficam situados numa grande planície rodeada de cadeias montanhosas), a bicicleta torna-se um bom e eficaz meio de transporte. Por outro lado, há ciclovias por todo o lado o que nos garante segurança na rodovia. Para além de fazer bem à saúde física, ir de bicicleta logo de manhãzinha para o CERN fazia igualmente bem à saúde mental: era refrescante e inculcia uma boa disposição matinal, em princípio duradoura para o resto do dia...

Para finalizar, falta ainda referir que nós os quatro vivíamos todos juntos num apartamento e que essa também foi uma experiência única e engraçada. Os nossos jantares diários geravam sempre bons momentos de convívio e divertimento. E superámos

o teste: embora tenham havido alguns atritos pontuais, normais e saudáveis, conseguimos sobreviver convivendo no mesmo apartamento durante mês e meio. Afinal as nossas diferenças não foram suficientes para haver BRONCA (nem mesmo quando um dia regressámos do CERN e tínhamos centenas de euros espalhados pelo apartamento: tinha havido uma tempestade e o vento acabou por abrir uma janela, pondo a casa em pantanas).

Bem, por último, aqui fica um conselho amigo: consultem a página do CERN (<http://cern.ch>), inscrevam-se no programa de Summer Students e podem ter a certeza de que o vosso próximo Verão, para além de bastante formativo académica e profissionalmente, será bastante divertido, o que o tornará absolutamente inesquecível. ■



Eu numa escapadela de fim-de-semana em Zürich

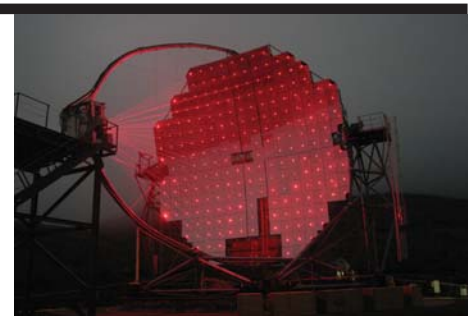
## Participa na Pulsar

**Gostas de Física? Gostarias de ver um artigo teu publicado na Pulsar?**



A Pulsar está à procura de artigos relacionados com qualquer área da Física. Desde Astrofísica, Lasers e Plasmas, Partículas, Gravitação, GeoFísica a Computação Quântica, escreve sobre o que gostares mais.

Entra em contacto connosco por e-mail [pulsar@nfist.ist.utl.pt](mailto:pulsar@nfist.ist.utl.pt) com o teu nome, idade, contacto e uma pequena descrição do artigo.



Para mais informações:

[www.nfist.ist.utl.pt/pulsar\\_index.html](http://www.nfist.ist.utl.pt/pulsar_index.html)



# Radioterapia

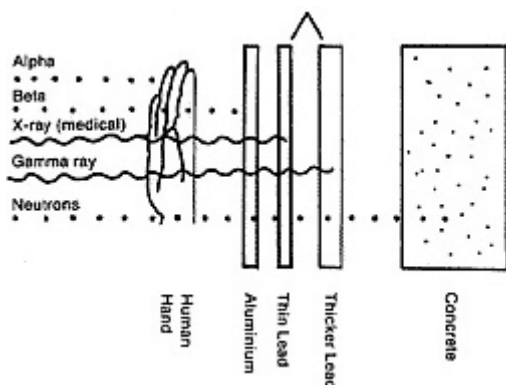
## A utilização da Física moderna na medicina

por João Tiago Fernandes e Ricardo Farinha, LEBM

A radioterapia é um dos melhores exemplos da utilização da física moderna no campo da medicina. Esta técnica, que começou a ganhar popularidade na década de 50, consiste na utilização de radiações ionizantes como parte da terapêutica usada para combater o cancro (juntamente com a quimioterapia e/ou cirurgia).

As radiações ionizantes são caracterizadas pelo facto de cada partícula (fotão, próton, electrão, etc) transportar energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas, isto é, retirar um electrão de um átomo ou molécula.

Há vários tipos de radiações ionizantes com energias e poder de penetração próprios, entre as quais os raios gama, raios X, radiação alfa e radiação beta.



Poder Penetrante de diferentes tipo de radiação

É a energia destas radiações que, dependendo do tempo de exposição, vai levar a efeitos biológicos importantes. A base fundamental para o bom funcionamento da célula é o seu material genético, que se apresenta sob a forma de ADN (Ácido Desoxirribonucleico). Esta macromolécula assegura a síntese de proteínas que desempenham funções estruturais e de regulação (transporte celular, metabolismo...), e a replicação celular. O ADN é composto por uma dupla hélice, sendo cada uma delas uma cadeia de

### Os vários tipos de radiação ionizantes

Raios Alfa	Nucleo de He, produzidos por decaimento radioactivo, pouco poder de penetração (< 1mm na água) devido à sua grande massa e carga.
Raios Beta	Consiste em electrões com grande energia cinética, produzidos por decaimento radioactivo, pouco poder penetração (depende da velocidade, entre 1mm a 1 cm na água)
Raios Gama	Onda electromagnética, produzida por decaimento radioactivo, energia superior a 10 KeV, grande poder de penetração.
Raios X	Onda electromagnética, produzidos nas transições energéticas de electrões acelerados, grande poder de penetração.
Neutrões	Resultam da fissão nuclear, provocam reacções de ionização ao colidirem com átomos de H, grande poder de penetração

nucleótidos. Cada nucleótido é formado por uma base ligada a um açúcar, que se liga por sua vez a um grupo fosfato. Os grupos fosfato asseguram a ligação dos nucleótidos de uma mesma cadeia através de ligações covalentes fortes, enquanto que as bases asseguram a ligação de uma hélice à outra através de pontes de hidrogénio (ligações electrostáticas) segundo o princípio da complementariedade. Deste modo a Timina liga-se com a Adenina através de 2 pontes de Hidrogénio e a Citosina liga-se à Guanina por 3 pontes de Hidrogénio.

Um dos aspectos importantes, que explica que o ADN é um dos “pontos fracos da célula”, é o facto de alterações na sequência das bases poderem inviabilizar a síntese de proteínas fundamentais e a sua reprodução.

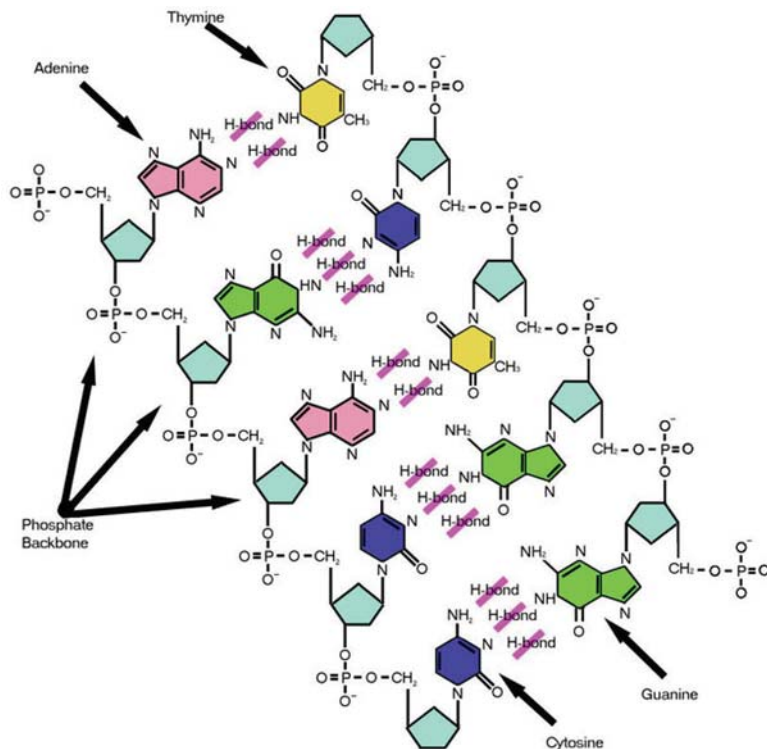
As radiações ionizantes podem danificar o ADN sobretudo pela criação de radicais livres de oxigénio, ou por acção directa sobre a sua estrutura. Ao interagir com as moléculas de água presentes nas células, as radiações dão origem a moléculas de superóxido e hidróxilo extremamente reactivas. Estas vão oxidar a molécula de ADN, criando

rupturas numa ou em ambas as cadeias de nucleótidos. Embora rupturas em uma das cadeias possam ser facilmente corrigidas por mecanismos celulares devido à natureza complementar das bases, rupturas em ambas as cadeias podem dar origem a erros ou morte celular. Em caso de mutações muito graves, a célula pode ficar incapaz de se replicar ou, inclusive, cometer apoptose (morte celular programada). Se a molécula de ADN não for reparada, ou se a reparação for incorrecta e a célula escapar à apoptose, vão-se acumulando mutações que poderão dar origem ao desenvolvimento de um tumor.

Porém estas radiações, usadas de modo controlado, podem ser usadas para produzir estes efeitos em células cancerígenas. Estas células distinguem-se sobretudo pelo facto de serem indiferenciadas, de se replicarem com mais frequência que as células normais. O primeiro facto implica que os mecanismos de reparação celular são menos eficientes, enquanto que o segundo leva a que os erros se acumulem nas células filhas a ponto de as matar ou reduzir o seu ritmo de crescimento e divisão.

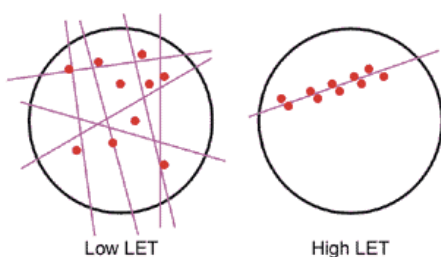


## Ligações dos nucleótidos



Outro aspecto importante a ter em conta é o LET (*linear energy transfer*) que varia com o tipo de radiação. Este parâmetro representa a perda média de energia por unidade de caminho (a energia depositada por segmento de tecido), estando relacionado com o número de iões produzidos por unidade de caminho percorrido pela radiação. Assim, radiação com um valor de LET baixo (raios X e gama) vão produzir ionizações mais espaçadas ao longo da célula (de um modo quase homogéneo), enquanto que radiação com um LET elevado (partículas alfa, beta e neutrões) transferem a maioria da sua energia para uma pequena região da célula, sendo os danos que provoca mais difíceis de reparar.

Deste modo, para a mesma dose de radiação (quantidade de energia recebida por unidade de material biológico), a radiação com LET elevado vai ser muito mais destrutiva.



Os diferentes métodos de radioterapia prendem-se com o modo como as radiações são administradas. Os três tipos principais são a **braquiterapia**, na qual são colocados fontes radioactivas seladas a curta distância do tumor com o objectivo de concentrar a dose de radiação numa área pequena, **medicina nuclear** na qual fontes radioactivas não seladas são postas em contacto com os órgãos ou na corrente sanguínea, e a **teleterapia** onde a fonte de radiações é exterior ao corpo e enviada sob forma de feixes.

Um dos problemas da radioterapia é o facto de, se quisermos irradiar um tumor (e, no caso da teleterapia, o problema prende-se com tumores em profundidade), irradiamos também a pele e os tecidos circundantes. De modo a minimizar estes efeitos, minimiza-se a zona de exposição ou,

no caso da teleterapia, aplica-se a radiação de vários pontos, de modo a que a energia convirja e, portanto, se some e se concentre no tumor. Para isso usam-se técnicas de mapeamento tridimensional dadas por métodos de diagnóstico (TAC, ressonância magnética...).

A investigação na área da radioterapia tem ainda muito para oferecer, tanto no domínio da física como no da medicina. O desenvolvimento de técnicas de aplicação de radiação cada vez mais localizadas para os tumores e um maior conhecimento das propriedades do cancro permitirão uma terapêutica com menos efeitos secundários e mais eficaz. Para além das técnicas de mapeamento já referidas, e da elaboração de máquinas que permitam a utilização de partículas com um LET elevado, estão em desenvolvimento também técnicas que consistem em formar anticorpos radioactivos que se ligam exclusivamente às células cancerígenas irradiando-as. ■

Dano	Reparação/hora
Rupturas numa cadeia	$2 \times 10^5$
Dimerização da pirimidina	$5 \times 10^4$
Metilação da Guanina	$10^4$ - $10$

Taxa máxima de reparação do ADN numa célula humana

### Bibliografia:

<http://www.physics.isu.edu/radinf/qanda.htm#bio>  
<http://www.rerf.or.jp/eigo/radefx/basic/kno/radcell.htm>  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Radiotherapy>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Deoxyribonucleic\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Deoxyribonucleic_acid)  
<http://fisicanet.terra.com.br/nuclear/radiacao.asp>

### Taxas de danos no ADN por hora numa célula de mamífero

Dano	Eventos/hora
Rupturas numa cadeia	2300
Metilação da Guanina	130
Dimerização da Timina na pele (Sol do meio dia)	$5 \times 10^4$
Rupturas numa cadeia de ADN devido à radiação de fundo	$1 \times 10^{-4}$
Rupturas nas duas cadeias do ADN devido a radiação de fundo	$4 \times 10^{-6}$

# Agenda Científica

## Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Palestras para escolas oferecidas por docentes do Departamento de Física da FCUL sobre as mais diversas áreas da Física

[http://www.spf.pt/palestras\\_sul.pdf](http://www.spf.pt/palestras_sul.pdf)

## Departamento de Física da Universidade do Porto

### Anfiteatro - 120 do DFFC-UP

16 de Março - Das Estrelas ao Átomo - Domingos Barbosa  
13 de Abril - Materiais “por medida” - João Pedro Araújo  
27 de Abril - Forças de Atrito: uma caixa de surpresas - Paul Simeão Carvalho  
11 de Maio - Do laser de rubi ao laser branco - Hélder Crespo  
25 de Maio - Einstein e o “Annus Mirabilis” - Pedro Pina Avelino  
8 de Junho - A unificação da Física - Carlos Herdeiro

Mais palestras e informações em:

[http://www.spf.pt/palestras\\_norte.pdf](http://www.spf.pt/palestras_norte.pdf)

### Pavilhão do Conhecimento

A Ciência e o Desporto (Exposição)

<http://www.pavconhecimento.pt>

## Museu da Ciência da Universidade de Lisboa

Cursos de Introdução à Astronomia das 10:00 às 21:00

### Nível I

Parte 1 - 05/03/2005

Parte 2 - 12/03/2005

### Nível I

Parte 1 - 28/05/2005

Parte 2 - 04/06/2005

### Nível II

Parte 1 - 09/06/2005

Parte 2 - 16/06/2005

Museu da Ciência em Quarto Crescente  
Observações Astronómicas às 19:00

16/03/2005

13/04/2005

18/05/2005

15/06/2005

13/07/2005

<http://www.museu-de-ciencia.ul.pt>