

PULSAR

Jornal dos Estudantes de Engenharia Física Tecnológica - LEFT IST

Outubro de 1998

NÚMERO 13

Entrevista com o Prof. Claus Rolfs

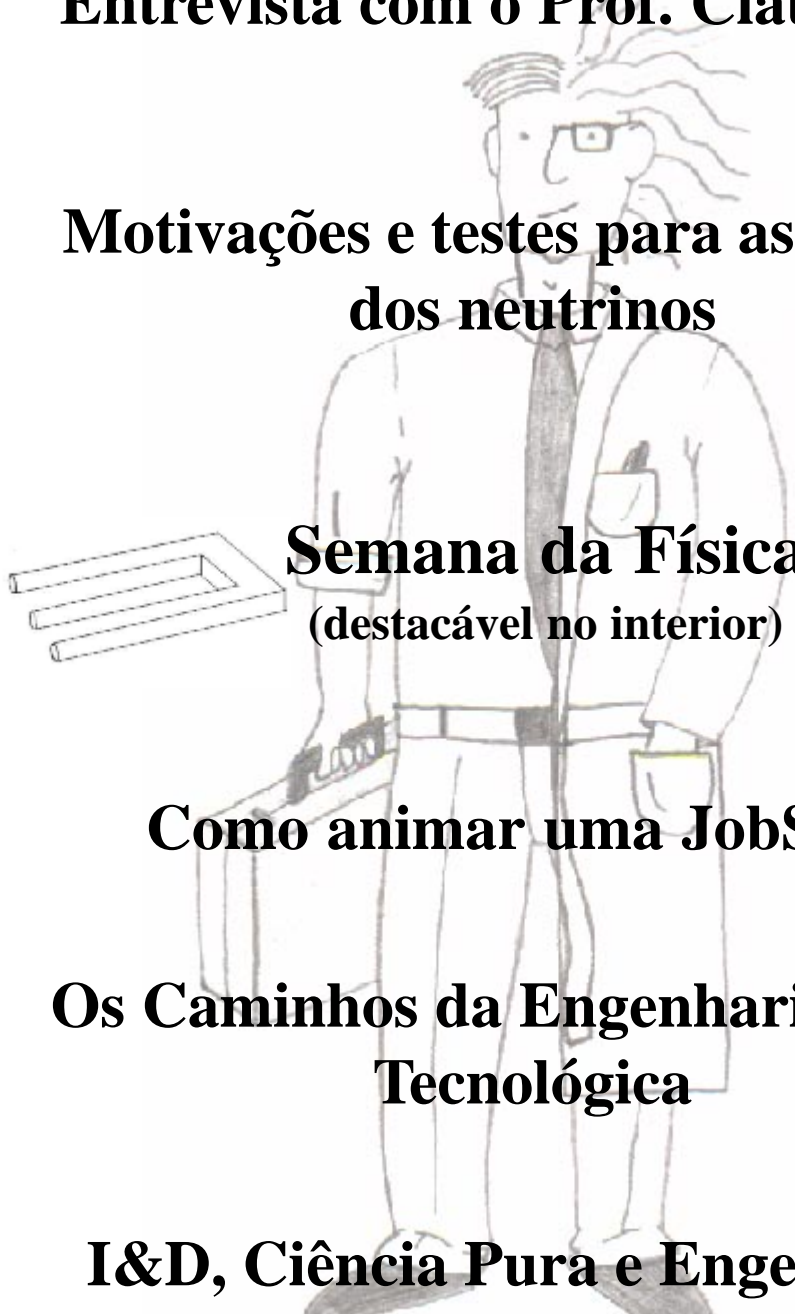
**Motivações e testes para as massas
dos neutrinos**

Semana da Física
(destacável no interior)

Como animar uma JobShop

**Os Caminhos da Engenharia Física
Tecnológica**

**I&D, Ciência Pura e Engenharia
Física Tecnológica**



- **Entrevista com o Prof. Claus Rolfs** **pág. 3**
Conduzida por: Rodrigo Pascoal, Mário Barbosa, Luís Oliveira e Rui Perdigão
- **Comentário ao artigo "Aplicações da Termodinâmica"** **pág. 11**
- **Motivações e testes para as massas dos neutrinos** **pág. 12**
Filipe Moura
- **Como animar uma JobShop** **pág. 15**
Maria Malato Lerer
- **Os Caminhos da Engenharia Física Tecnológica** **pág. 16**
Maria Malato Lerer
- **I&D, Ciência Pura e Engenharia Física Tecnológica** **pág. 17**
Maria Malato Lerer
- **História Breve do Universo (transcrição revista)** **pág. 19**

Ficha Técnica

Pulsar: Uma publicação do NFIST - Núcleo de Física do IST
Sede: Instituto Superior Técnico, Departamento de Física, Sala de Alunos da LEFT.
Av. Rovisco Pais, 1096 LISBOA Codex
Telefone: (01) 8419082 e-mail: pulsar@fisica.ist.utl.pt
Director e Editor: Rui Pita Perdigão
Secção Científica: Luís Oliveira (Coordenador), José Barros, Nuno Cruz, Paulo Cunha
Secção Cultural: Rui Pita Perdigão, Patrícia Rei
Espaço do Curso: Maria Lerer (Coordenadora), Nuno Morais
Colaboração neste número: Mário Barbosa, Rodrigo Pascoal, Susana Castro
Arranjo Gráfico: Rui Pita Perdigão **Tiragem:** 1000 exemplares

Caros leitores e amigos

Começado mais um ano lectivo, teve o Núcleo de Física do IST a iniciativa de realizar a 3ª Semana da Física, dando continuidade a um evento que muito tem marcado a sua história, e a da própria LEFT.

Seguindo o espírito de projecção do curso, inerente à Semana da Física em geral, é publicado mais um Pulsar, também ele um histórico meio de partilha daquele fascinante mundo de Ciência e Engenharia em gestação.

Este número surge especialmente enriquecido com artigos relacionados com a LEFT em si, sem esquecer a motivação científica que lhe trouxe cada seu aluno.

O Pulsar 13 é dedicado a todos aqueles que, cativos pelo mundo apresentado na Semana da Física, o tentaram descobrir, dele se tornando parte...

Por ora, lego-vos as suas páginas, para que, dentro do mesmo espírito, as possam também descobrir...

Bem hajam

A Redacção

Edição Electrónica: <http://www.fisica.ist.utl.pt/pulsar>

Patrocinado por:

Júlio
Logrado de
Figueiredo
Lda
Rua António Pereira Carrilho 5, 1.º
1000 LISBOA Portugal
Tel 351.(0)1. 846 17 80 / 57 82 / 07 84
Fax 351.(0)1. 846 41 64
E-mail jlf@individual.puug.pt



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO
CFN
CENTRO DE
FUSÃO
NUCLEAR



L I P
LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS

CENTRA
Centro Multidisciplinar de Astrofísica



CFIF
CENTRO DE FÍSICA DAS INTERACÇÕES FUNDAMENTAIS
Instituto Superior Técnico-Edifício Ciência (Física)
Av. Rovisco Pais P-1096 Lisboa Codex
Tel: (351-1) 8419 092 Fax: (351-1) 8419 143

g o l p
grupo de lasers e plasmas

Entrevista com o Professor Claus Rolfs

Conduzida por Rodrigo Pascoal, Mário Barbosa, Luís Oliveira e Rui Perdigão

O Dr. Claus Rolfs deu-nos a honra e o prazer da sua companhia nos já longínquos dias 3, 4 e 5 de Março deste ano. Partilhou connosco alguns dos seus conhecimentos, nomeadamente em Astrofísica Nuclear, o tema do mini-curso de que foi orador quando cá esteve. Para quem não sabe, o Dr Claus Rolfs é um cientista eminente nesse campo, co-autor, com William Rodney, do livro “Cauldrons in the Universe” (com uma introdução escrita por William Fowler, prémio Nobel da Física em 1983), desenvolvendo também trabalho em Ciência dos Materiais e em vários outros campos onde se usem feixes de iões.

Como se isto não fosse já motivo suficiente para uma entrevista, de-

cidimos ainda acrescentar mais uns argumentos de carácter mais humano. O Dr. Claus revelou-se desde logo um excelente conversador, mas não só. Possuidor de uma personalidade algo excêntrica e muito divertida, a vida deste grande homem está cheia de histórias ricas, não só de humor mas também de sentimentos. Este cativante contador de histórias presenteou-nos com algumas das suas pérolas mais bem guardadas, partilhando também algumas das suas opiniões em alguns dos assuntos que interessam aos leitores deste jornal.

Foi por isto que, correndo o risco de parecermos jornalistas incompetentes, decidimos manter-nos o mais fiéis que nos foi possível não só ao

conteúdo mas também à forma como a entrevista (leia-se “agradável conversa”) decorreu, e é por isso também que esta entrevista se estende por este e pelo próximo números. Esperamos que vos dê tanto prazer lê-la como a nós nos deu participar dela.

Esta entrevista foi conduzida por Rodrigo Pascoal, Mário Barbosa, Luís Oliveira e Rui Perdigão. Desejamos ainda agradecer às (nossas mais que queridas) colegas Susana Custódio, Teresa Montez, Patrícia Rei e Inês Aniceto pela ajuda preciosa no processo de passagem de (consideráveis) partes do manuscrito hieroglífico desta entrevista para processador de texto.

DR CLAUD ROLFS

Dr. Claus Rolfs (CR): O meu liceu era na cidade de Offenburg. Todas as manhãs tinha de ir de comboio para Offenburg. (...) A minha avó tinha mais de 80 anos (...). De qualquer maneira, na minha pequena aldeia (...) toda a gente tinha de ir à igreja, quer acreditasse quer não (risos). Mas quando se tinha mais de 80 anos era suposto ser-se fisicamente fraco, não se podia continuar a ir à igreja. Mas a minha avó era rija como um pêro!, forte!,¹ mas tinha que seguir essas regras, tinha que fazer de conta que era fraca. Claro que lá por casa ela subia e descia escadas com a maior das facilidades, mas assim que deixava a casa tinha que fazer aquela fita. Pegava numa bengala (risos fortes), ia para trás da casa (eu assisti uma vez) e verificava se os vizinhos esta-

vam a ver. Quando via que ninguém estava a olhar ela pegava na bengala, atirava-a para um canto e punha-se a treinar!: um, dois, três (risos muito fortes)... É terrível, é terrível... Nós tínhamos que a levar de carro para a igreja; ela chegava lá mais depressa se fosse a correr! Mas existem estas tradições,

nha ou ... ?

CR: Na Alemanha, sim, na região Ruhr... A norte de Köln, de Bona e a leste da Holanda. É onde há a maior densidade populacional em toda a Alemanha, a região de Ruhr...

Pulsar: (...) Mas o seu laboratório é lá?

CR:

Sim, em Bochum. Bochum é uma Universidade relativamente nova que foi fundada há 35 anos atrás. Por ser uma região industrial é principalmente fre-

“Este é um país maravilhoso, pode-se fumar em todo lado!”

CR: (...) *Eu sempre achei que os fumadores deviam ter cigarros através de uma receita médica porque nós vamos morrer mais cedo, logo, não estamos a pendurar-nos no Serviço de Pensões do Estado. Entretanto as pessoas opõem-se e dizem: “Bom, você vai ter cancro aos 60 anos, vai ter que ir para um hospital, acabará nos Cuidados Intensivos durante um ano, é muito caro!”. E então eu digo: “Sim, é verdade, nós ficamos caros nessa fase. Mas há todos os outros que chegam aos 90 anos de idade, no fim todos nos tornamos dispendiosos, todos acabamos nos Cuidados Intensivos. Assim o problema apenas é adiado 30 anos. Mas durante 30 anos vocês gastam o dinheiro do Estado e por aí fora, enquanto os fumadores morrem muito mais cedo.” Por isto nós deveríamos ser reconhecidos pelo Estado. Eles deveriam dizer “Ah, você é um fumador, bravo!” (risos)... Não, nós somos discriminados... Nos Estados Unidos é terrível! Quando se fuma nos Estados Unidos é-se mesmo muito mal visto, é-se quase um criminoso.*

tradições terríveis, inflexíveis. Não é suposto ser-se saudável a partir de uma certa idade. É suposto estar-se com os pés para a cova. Nos nossos dias não é muito diferente do que quando eu era novo.

(...)

Pulsar: Está a morar na Alema-

quentada por estudantes jovens de famílias desta região que não podem pagar para estudar em Berlim ou em München porque o alojamento é caro. Havia por isso uma necessidade extrema que eles tivessem, próximo de casa, uma Universidade. Foi por isto que foi

criada a Ruhr-Universität Bochum. Temos agora aproximadamente 40.000 estudantes.

Pulsar: Ensina lá ou faz apenas investigação?

CR: Não, dou uma cadeira lá. Sou membro da Faculdade de Física e Astronomia. Fui inclusive Presidente durante 2 anos, até Novembro passado, e detestei esse trabalho. É pura administração. Têm-se que se tomar decisões, mas claro que não se pode agradecer a toda a gente; quanto mais tempo se está no trabalho, mais inimigos se fazem. Não podes decidir nenhum assunto importante. Podes decidir qual a cor do papel higiénico e outros assuntos burocráticos, mas não se pode dizer “É este o tipo de Física que deveríamos fazer” e fazer um esforço nesse sentido. Tens

de ter a concordância de toda a gente, e, claro, cada um tem a sua própria opinião, logo não podes liderar. Se não se acha uma maioria é assim. Está-se apenas a prestar um serviço.

Pulsar: Provavelmente não encontra tempo para...

CR: Ninguém quer fazê-lo! Não há nenhum pagamento extra, nenhum benefício, é apenas trabalho! E só se faz aquilo – durante dois anos não pude fazer investigação – porque é um trabalho de tempo inteiro e tem que se estar sempre lá (até mesmo nas pausas entre semestres) porque algo curioso pode aparecer. E nós tivemos algumas situações curiosas como, por escassez de dinheiro, o ministro decidiu de um momento para o outro...

Pulsar: Oh, na Alemanha têm disso?

CR: Oh!... (Risos)

Pulsar: Aqui em Portugal nós pensamos sempre que os Alemães

são... ricos.

CR: No orçamento total nós temos talvez 5 a 6 vezes mais porque há muitas pessoas na Alemanha.

Pulsar: Os dados que nos mostrou ², onde os adquiriu?

CR: Em casa, Bochum, e em Itália.

Pulsar: Têm um acelerador?

CR: *Ja.* Nós temos quatro aceleradores em Bochum; o maior é um *tandem* com correntes muito altas, as correntes mais altas (que se podem obter) para aquele tipo de máquina.

Pulsar: Pensei que os dados

“Rezem que não há verba”¹

CR: (...) *Nós temos no momento uma situação engraçada... A Economia está bem de saúde na Alemanha (tão bem como nos Wonder Years) mas se se olha para o aumento do produto e para quanto o Estado recebe em impostos, não há paralelo, têm evoluído em sentidos opostos durante estes anos. O Governo criou leis que permitem às pessoas não pagarem impostos. Se alguém, por exemplo, tem uma receita de 100 milhões (uma unidade, dólares) e compra casas no valor de 100 milhões, então pode deduzir esses custos nos seus impostos. Assim, mesmo tendo 100 milhões de receita (e estas casas que comprou continuam a pertencer-lhe!) ele pode deduzir isto nos impostos. É por isso que não temos dinheiro público suficiente. Se tivéssemos as mesmas leis tributárias que tínhamos por volta de 1960 não haveria nenhum problema no Estado, nenhuma pessoa desempregada. Foi isto que o Partido Conservador mudou: poder ganhar muito dinheiro e não pagar impostos. Só as pessoas como eu e outros é que temos que pagar, não temos nenhuma chance de deduzir. Os mais ricos, esses podem. Mas era aqui que estava a maior receita de impostos no passado!... Mas isto seria outro assunto...*

eram do CERN.

CR: Não, eu não trabalhei no CERN. No CERN trabalha-se em física de energias muito altas, e eu prefiro física de energias mais baixas. Eu gosto de projectos mais pequenos, com estudantes... O maior empreendimento internacional em que estou envolvido de momento é este acelerador subterrâneo em Itália, o projecto LUNA ³, na montanha de Gran Sasso. (...) Temos estes aceleradores em Bochum, fazemos um projecto industrial uma tarde por semana: fazemos transístores de potência que são usados em sistemas de caminhos de ferro e carros, (...) computadores e em todos os dispositivos onde potência é requerida. A Indústria faz certas deposições químicas em *wafers* de Silício e depois querem tornar o cristal amorfo a uma certa profundidade de tal forma que apareça aí uma camada de elevada resistência. Nós fazemos isso bombardeando iões de Hélio contra o cristal e, estes iões, no limiar do seu alcance produzem o maior dano no cristal. Eles fazem o cris-

tal amorfo naquela camada mas, como são átomos nobres, não reagem, difundem para fora, não mudam a composição química. Se fizesses a mesma coisa com Hidrogénio, este faria uma molécula híbrida e mudaria a composição química (e por isso a condutividade e todas as outras características) enquanto que os iões de Hélio só tornam amorfo o material e depois saem. Isto funciona muito bem e reduziu a energia necessária num factor de 10. O seu “*switching time*” foi assim melhorado de tal forma que a Indústria vende estes produtos lindamente, lideram o Mercado.

Pulsar: O acelerador envolvido não é um pouco caro para ser usado pela Indústria?

CR: (...) Nós implantamos estes iões muito facilmente (...) porque desenvolvemos correntes muito altas. Demora

apenas cerca de um minuto por *wafers*, enquanto muitos outros laboratórios que não têm estas correntes levariam, por *wafers*, até um dia. Assim nós podemos fazer numa tarde quase 1000 destas *wafers*. Nós recebemos 26 DM ⁴ por *wafers*. Isto sobe até um milhão de DM por ano, que ganhamos apenas por algumas horas deste trabalho de implantação que fazemos todas as Segundas-Feiras. Porque se vendem tão bem, muitas outras Indústrias, por exemplo de Inglaterra, querem vir e ternos também a fazer estas implantações nos seus produtos.

INDÚSTRIA VERSUS UNIVERSIDADE

Pulsar: É muito bom isto de a Universidade e a Indústria...

CR: Poder-se-ia pensar deste modo mas... Deste 1 milhão de DM nós damos metade do dinheiro à administração da Universidade. Podem fazer com este dinheiro o que quiserem; não tiveram nenhum trabalho para o con-

seguir, é um presente para eles. A outra metade do dinheiro nós guardamos, para pagar estudantes, pagar equipamento (o equipamento envelhece, precisa de consertos e substituições)... Nós compramos estas coisas com o nosso próprio dinheiro, já não pedimos ao Estado. As pessoas deveriam dizer: "Oh, este é um bom projecto. A Universidade ganha dinheiro e o laboratório gere-se a si próprio!" Era de esperar que nós fôssemos altamente bem-vindos. Não. A administração tirou-nos inclusive meio posto de trabalho. Este (meio) posto de trabalho custa 50.000 DM por ano. Eles recebem 10 vezes mais! A burocracia não se preocupa com o que estás a fazer, eles não têm a noção do que é preciso. Os políticos, claro, pedem todos os dias: "As Universidades têm que colaborar mais com a Indústria para ajudar a promover a Europa". A competição não é dentro da Europa, a competição é com o Japão, a Coreia e os Estados Unidos. Estes são os concorrentes, não a Europa. (...) Os políticos pressionam sempre para que as Universidades e Escolas Técnicas façam mais pesquisa aplicada, para ajudar a Indústria a produzir algo novo que possa ser vendido, que possa criar novos empregos e assim por diante. (...) No entanto, fazes isto, ajudas a produzir algo novo que provavelmente tem uma vantagem de 10 anos... Fazemos e isto não é apreciado. É de loucos.

Pulsar: Sobre a vantagem de 10 anos... Há uma coisa que eu sempre gostei na Europa: no Japão eles podem fazê-lo com baixo custo, na América têm dinheiro para investir e têm o equipamento mas, normalmente, os Estados Unidos têm que vir à Europa para buscar a "inteligência", os que pensam, os que têm as ideias... Eles são muito bons com tecnologia mas não têm ideias...

CR: Mas está a mudar e... a competição estará sempre lá. Será apenas uma questão de tempo até que eles também o saibam fazer. Os japoneses sempre vêm, copiam completamente, e depois fazem melhor. Por exemplo, o

projecto LUNA (acelerador pequeno, 50 keV, que os estudantes construíram), eles também querem construir um acelerador igual numa mina algures no Japão. Visitaram-nos e copiaram até cada parafuso, o tamanho de cada parafuso! Tomaram notas, milímetro por milímetro. Copiaram completamente tudo o que fizemos, e então, a partir daí, começaram a melhorar, eles têm mais dinheiro para melhorar. Nós não tínhamos dinheiro. Tínhamos de dizer aos nossos estudantes: "Dado este valor, dentro desta linha, encontrem uma solução". Os japoneses dirão: "Tudo o que for preciso para ter o melhor, será isso o que investiremos..." Eles con-

Burocracias...

CR: (...) *A Alemanha não é diferente dos outros países: existem burocratas sem sensibilidade. Se uma pessoa não faz nada é mais estimada. "Oh!, esta pessoa é terrível, escreve tantas cartas, submete tantas propostas para conseguir dinheiro, temos sempre que estar sempre a pôr um carimbo! Aquelle outro nunca disse nada. Senta-se na cadeira dele, fuma, aproveita o dia... Ele é uma pessoa agradável, é agradável falar com ele. "Quer mais café?" Falamos sobre futebol e..." Ele é estimado!... Mas isto tem que mudar, isto não pode estar certo. É por isso que eu estou optimista... (suspiro fundo)*

seguirão melhores sistemas, sem dúvida. Mas ainda levará alguns anos. Há alguns truques que não se podem ver no tamanho de um parafuso (risos)⁵. O que é diferente no Japão é que lá existem programas de pesquisa (...) entre Indústria e Universidades (...) durante períodos de tempo mais longos. Por exemplo, digamos que a Indústria tem uma pergunta (como nós agora, com esta implantação): "Nós gostaríamos de fazer isto". Então eles vão à Universidade e dizem "Gostaria de investigar esta questão? Nós damos-lhe 10 anos, e, durante 10 anos, damos-lhe tanto dinheiro para comprar equipamento, tantas posições para estudantes", e assim por diante. Eles planeiam algo durante 10 anos, investem durante esse período. No meu país a Indústria vêm à Universidade e olha, como num estômago, e diz: "Ah!, daquilo eu gosto, daquilo eu gosto e daquilo também. Eu levo mas não invisito, apenas compro essas coisas. Não faço um investimento durante 10 anos." (...) Não correm riscos. Os japoneses têm a convicção que algo surgirá nesses 10 anos. Talvez eles achem uma solução, talvez eles achem algo até melhor do que o que sonharam. Mas

não se pode achar uma solução hoje dentro de algumas semanas, e nem mesmo dentro de um ano. Há que reunir um grupo, com estudantes jovens, e leva 2 ou 3 anos até que eles tenham conhecimento suficiente para perceberem qual o problema particular naquele aspecto (da questão). Precisam de tempo para pensar nas soluções, depois têm que começar a construir algo, ver se esta ideia tem êxito. Nem todas as ideias terão êxito. Tentando deste modo não corre bem, fazes doutra forma "Ah, já é um pouco melhor", tenta-se outra coisa. É assim que a pesquisa evolui, e para isso é preciso tempo. Isto é o que os japoneses realmente

têm como uma vantagem comparativamente a nós, Europa. Pelo menos no meu país não há nenhum programa onde a Indústria invista durante um longo intervalo de tempo.

Pulsar: Eles nem vêm à Universidade...

CR: Oh, neste projecto de implantação eles vieram até nós. Depois durante 2 anos tivemos alguns projectos-piloto. Então verificou-se que estas propriedades superiores eram de repente muito "quentes". Então eles fizeram-nos esta oferta. Mudaram a linha de produção deles, nós somos agora um pedaço de uma longa linha de produção. Eles contrataram pessoas novas para esta nova linha de produção e é por isso que nos sentimos responsáveis. Agora não podemos parar isto. Caso contrário a Indústria diria: "Vejam, nós investimos tantos milhões DM, ou biliões⁶, para fazer uma nova linha de produção, e agora a Universidade diz: "Nós não o fazemos." Verdade seja dita, nós deveríamos parar porque eles tiraram-nos metade desta posição de secretária no laboratório. Para cada *wafers* que fazemos temos que escrever num protocolo quantos átomos implantámos de facto em cada um. (Claro que eles querem uma certa quantia mas nós damos um número com uma barra de erro de quanto ele recebeu.) Assim há muita docu-

mentação para ser feita, tens que documentar isto. Esta pessoa é precisa, e agora nós não temos ninguém. Assim nós deveríamos dizer: “Nós não podemos fazer mais isto”. Isso é que é! Em vez de virem dizer-nos: “Maravilhoso! Podemos ajudar? Precisa de alguma ajuda adicional para melhorar este plano, para conseguir mais dinheiro? Podemos ajudar?” Não.

(...) No outro extremo, os meus estudantes que estavam envolvidos no desenvolvimento de alguns projectos de investigação encontraram imediatamente empregos na Indústria. Quando há vários concorrentes, se se poder dizer “Eu estive envolvido num projecto realmente ligado à Indústria, ajudei a fazer algumas implantações” e assim por diante, tem-se um bónus. Entre duas pessoas iguais em capacidades e notas, se uma dessas pessoas já tiver alguma experiência em Indústria fica com o lugar. Muitos dos meus estudantes arranjam empregos muito bons.

(...) Mas, o desenvolvimento desta experiência foi o resultado de pesquisa básica porque, por exemplo para Astrofísica, nós precisamos das mais altas correntes possíveis. Se medimos secções eficazes muito pequenas, quanto mais alta for a corrente, mais sinais ou reacções se obtém. Assim nós estávamos sempre a esticar até aos limites. É por isso que de repente isto podia ser aplicado à Indústria, fazermos tantas implantações em tão pouco tempo. (...) Todos os outros laboratórios que têm máquinas semelhantes não desenvolveram a cultura de aumentar a corrente, e por isso estão um factor de 100 ou 1000 abaixo. Para a pesquisa deles eles não precisaram de correntes mais elevadas, não havia nenhuma razão para desenvolver isso. Mas a Astrofísica exigia isto, nós estávamos sempre a levar até ao limite (...). De repente tivemos benefí-

cios disto num outro campo.

Pulsar: Aquele projecto novo, o projecto LUNA, pensa que tem alguma coisa a dar à Indústria nesta altura?

CR: Sim. Por exemplo, as pessoas estão muito interessadas em materiais de Silício muito puro, ultra puro, com a mínima contaminação. Para medir esta contaminação podem-se usar algumas reacções nucleares. Digamos que se quer descobrir quanto Alumínio há no *wafers* de Silício. Bombardeias protões sobre a amostra, os protões e o Alumínio desencadeiam uma reacção nuclear, e tu obténs os sinais es-

“Dream, dream, dream, dre-e-e-eam”...

CR: (...) Houve um tipo que não julgava que ia conseguir trabalho imediatamente. Assim, depois de se doutorar ele tinha pensado em passar dois meses de férias, aproveitar o Sol, com a namorada... Tinha reservado voos e tudo, digamos, para o 1º de Agosto. E então veio esta oferta da Indústria para começar no 1º de Agosto. Assim ele foi lá e disse: “Eu estou interessado em vir e começarei com certeza, mas primeiro, antes de começar a trabalhar, preciso de umas férias.” E eles aceitaram!!! Ele foi pago um mês sem ter feito nada para a Indústria!...

pecíficos do Alumínio. Agora, quanto menor for a quantidade de Alumínio, menos provável é esta reacção. Novamente, se o teu detector está sobre a superfície terrestre, o teu detector está atolado em partículas dos raios cósmicos, não se consegue medir abaixo de um certo nível. Ora debaixo de terra este *background* não está lá, cada evento é um bom evento. Assim, espera-se um dia e se se vê um evento temos um limite abaixo do qual ninguém pôde ir até então. Logo, há uma aplicação: a Indústria dá-nos algo cuja purificação é preciso medir, medimos e dizemos: “Não é suficientemente bom. Tem que ser feito outro passo de purificação, talvez mais dois para diminuir realmente as impurezas.” E assim por diante. Ou... desenvolver instrumentos médicos. As pessoas que estão a pôr coisas dentro do seu corpo, gostariam que este material não fosse radioactivo...

Pulsar: É essa a ideia!: não ficar verde quando as luzes se apagam.

CR: *Ja, ja*. Se tens isso perto do teu coração debes estar seguro de que o nível radioactivo está bastante abaixo do fundo de raios cósmicos. Novamente isto pode ser medido... (...) Pegas no *pacemaker*, tira-lo e coloca-lo num detector como o LUNA e depois olhas para os sinais radioactivos. Todo

o sinal é um bom sinal. Por todos estes aspectos um laboratório subterrâneo seria interessante *per se*, até mesmo no vosso país. Talvez haja algumas minas vazias, de Prata, Ouro ou Urânio...

Pulsar: Nós temos algumas minas de Urânio mas... nas minas de Urânio há sempre radiação!

CR: Não, isso não é assim tão mau. Não é assim tão mau porque, para o Urânio, pode pôr-se fora deste (pequeno) laboratório LUNA (...) blindagem para absorver esta radiação. Mas o que não se tem são os raios cósmicos. Isso é difícil de absorver. Eles têm uma gama larga de energias, indo até aos GeV. Eles penetram através de 1000 metros. A actividade local (como o Urânio) pode ser amortecida muito bem.

ASTROFÍSICA NO LABORATÓRIO

Pulsar: Uma coisa que eu achei muito interessante no seu trabalho foi a importância que dá ao trabalho de laboratório. (...) Normalmente em Astrofísica é-se muito especulativo, pensa-se “Se isto for assim nós podemos fazer esta hipótese”. O Professor tem outro modo de fazer as coisas: “Vamos para o laboratório...”

CR: Sim. “Vamos aos factos”, e então os factos eliminarão bastantes das possíveis soluções. Pode ser que restem apenas 2 ou 3 hipóteses dentro dos limites do erro. Então tens de perguntar novamente “Agora, o que é específico de cada hipótese?” e então voltar a fazer a experiência para discriminar. (...) O progresso no conhecimento só é possível se tivermos factos.

Pulsar: Essa é a crise com a Física das Partículas: não temos factos...

CR: Isso é verdade... Mas eu digo sempre, quero dizer, o que eu discuti, a questão de saber quantas famílias de neutrinos existiam. Nós sabíamos de três, e havia a pergunta “Estão lá cem mais para vir se construímos aceleradores de energias mais altas? Veríamos um quarto ou um quinto? Quantos estão lá?” Aí a Astrofísica pôde dar-nos uma resposta, não muito

precisa, mas qualquer coisa como: “Não, menos de 3,5”. No meu livro isto são três, hã?! 3 neutrinos. E depois isto foi verificado pela experiência LEP no CERN. Assim a Astrofísica deu a ordem de grandeza correcta (...). Assim, eu digo sempre às pessoas das altas energias: “Em vez de investirem em aceleradores, muito caros, invistam em telescópios.” Por exemplo, agora querem procurar as partículas de Higgs, mas não sabem que massa elas têm! E que acelerador devia ser construído. Assim, investiram isto tudo para nada. Enquanto que, olhando para o início do Universo com telescópios cada vez melhores, se investissem aí, adquiririam a ordem de grandeza correcta, as partículas de Higgs estão lá. Saberiam, não com alta precisão, não com 1% mas, digamos, dentro de 10% ou assim, 20%. E então sabiam “Ah, dentro desta gama. Tenho de construir uma máquina que (...) tem de cobrir esta gama. E então constróis uma máquina dedicada a esta questão, não estás a nadar no desconhecido. “Onde está, onde? Onde estou?” (risos) E esperas que a máquina que construístes tenha a energia que é necessária aí. Mas hoje já nem sequer podemos ter ainda estas esperanças, porque estas máquinas são tão caras que nenhuma nação sozinha pode concretizá-las. Nem mesmo os Estados Unidos. A nação mais rica não pode pagar isto...

Pulsar: Eles pararam o SSC⁷.

CR: Eles pararam o SSC... E agora até falam em juntar-se à Europa no que diz respeito a instalações. Mas até mesmo essa quantia de dinheiro... São os nossos impostos que vão para aí. Se a Natureza for indelicada, se as partículas de Higgs estão para além do que se planeou, então investiu-se muito dinheiro sem se obterem resultados. É por isso que eu digo sempre que devem construir telescópios melhores para olhar para trás no tempo e ver a ordem de magnitude do que lá está. E então investir.

(...)

Pulsar: A Astrofísica serve só para ver a ordem de grandeza?

CR: Bem, nos neutrinos solares, nós não estamos só à procura duma ordem de grandeza, estamos a olhar agora para um factor de dois de diferença... Este é o projecto LUNA, onde queremos entender os processos microscópicos no centro do Sol. Se não

se entende como é que a Natureza os produziu e por que é que tantos neutrinos têm esta energia e outros têm outra, não podemos prever concretamente o que sai. Isto não é muito entusiasmante, isto é trabalho duro, e leva muito tempo. Mas... o tempo é importante no desporto, mas não é importante em Ciência. Se há algo importante que é preciso medir, tem de se medir. Mesmo que demore 4 ou 5 anos. Mas sem isso vamos todos continuar a especular.

Pulsar: Mas, o que disse sobre aquelas curvas, quando toda a gente disse “Vá lá, podes prolongar isto...” e quando mediu...

CR: De repente era diferente. (...) Todos os cálculos baseados na extrapolação estavam errados, completamente errados! Podiam pôr os resultados no lixo! (...) Claro que, quando não há nada disponível, então tem que se usar a teoria para ter uma ideia, mas depois não se tirem daí demasiadas conclusões. (...) Deveríamos sempre dizer: “Isto é assim supondo que os parâmetros de entrada do meu modelo são o que eu assumo. Mas por favor confirmem estes parâmetros, verifiquem se estão correctos”. É isto que muitas pessoas esquecem. Acreditam demasiado nas quantidades de entrada que calcularam... e, muito frequentemente, quando se medem os parâmetros, encontra-se números completamente diferentes, significativamente diferentes. Às vezes descobre-se que concordam, mas mais uma vez isso é progresso no conhecimento: este número não volta a ser questionado, agora está correcto. Noutros casos encontram-se diferenças, e os modelos têm que ser ajustados de acordo com esta nova informação.

Penso que sempre foi assim que a Física evoluiu. O progresso no conhecimento segue em paralelo com o progresso na experimentação, e o progresso na experimentação é proporcional ao progresso na tecnologia. Temos sempre que construir óculos novos para ver melhor, ser-se mais sensível. Se se estagna e se se fazem sempre as mesmas experiências, é-se cego, só se vê aquilo que os nossos óculos nos permitem ver. A Física Atómica é um exemplo. Se tivéssemos ficado pelo espectrómetro de prisma, só veríamos as linhas espectrais de átomos. Entretanto construíram-se instrumentos de melhor resolução, espectrómetros de

interferência. De repente, quando se repetiram as experiências e se observaram as linhas, haviam duas ou três linhas novas, e assim encontraram a estrutura fina. Então, construiu-se instrumentação ainda melhor e encontrou-se a estrutura hiperfina.

Se tivéssemos ficado satisfeitos por ver as linhas dos átomos não teríamos aprendido nada sobre a *spin* do electrão, não teríamos aprendido nada sobre a influência do núcleo sobre a estrutura electrónica dos átomos, teríamos ficado muito primitivos. Nós precisamos de instrumentos melhores, nós precisamos de tecnologia melhor para fazer progresso em Física. Claro que é preciso tanto cérebro para desenvolver técnicas novas, é preciso entender tanta Física como se se trabalhasse somente em teoria. Talvez se precise até de melhor intuição para isso. Claro que quando uma pessoa vem para a Universidade sonha com grandes feitos. “Eu trabalharei numa grande teoria, descobrirei como é que o Senhor fez as coisas.” Têm-se grandes sonhos e grandes desejos, toda a gente os tem. Tem que se ter isso. Entretanto, quando se envelhece, ficamos contentes se tivermos contribuído com uma pequena peça para este grande *puzzle*. É-se feliz por ter conseguido isso. Já não se sonha mais com grandes feitos. Mas são necessários estes sonhos no princípio, é precisa a motivação, é preciso saber-se qual é o nosso papel nesta grande questão. Mas muito raramente se pode resolver o problema todo. Isso precisa de muitos dados, e fica-se contente se cada um contribuir com uma pequena pedra (do *puzzle*). Então o quadro evolui lentamente e finalmente, depois de algumas gerações, talvez nós entendamos melhor este assunto. Estamos sempre a construir sob o que a geração prévia construiu. Virão gerações depois de vós que basearão o seu conhecimento, trabalho e entusiasmo naquilo que vocês lhe disserem.

SONHOS

Pulsar: Quando começou qual era o seu grande sonho?

CR: Oh... Eu queria ser médico. Eu gosto de pessoas (...). Entretanto, para descobrir como seria na vida real, fui para um hospital durante umas férias entre semestres para realmente tra-

balhar com pessoas: dar-lhes banho... coisas muito terra-a-terra. E gostei disso. Do que eu não gostei foi que, naquele tempo, nós tínhamos hospitais católicos e hospitais protestantes, e tínhamos pacientes que eram pacientes privados, com montes de dinheiro, e tínhamos pacientes que eram pobres. E eles eram tratados de modo diferente.

Pulsar: Em que altura foi isto?

CR: Oh, isto foi nos anos 50, princípios dos anos 60. Mas isto ainda é assim hoje! Se se tem um seguro privado é-se tratado num hospital muito melhor. O Professor vem ter contigo “Como é que se sente hoje?”, enquanto aos mais pobres quase nunca vêm eles próprios. Deste tratamento diferente entre pessoas, do facto de não terem as mesmas hipóteses, disto eu não gostei. Eu queria algo onde não houvesse estas diferenciações religiosas ou monetárias. Foi por isso que optei por fazer Ciência. E do que eu gosto muito na Ciência é que é internacional. Não há verdade alemã, não há verdade americana, não há verdade portuguesa, há uma só verdade, uma só resposta verdadeira. Se alguém faz uma pequena coisa errada, um pequeno passo em falso, rapidamente se descobre. As pessoas repetem as coisas e depois vemos se está correcto ou não. Mas é independente de ser um trabalho russo, americano, alemão ou francês, há uma só verdade. Disto eu gosto bastante, uma compreensão globalmente aceite. O progresso é internacional.

Por outro lado, na maior parte dos casos, pode-se trabalhar em quaisquer ideias que se tenham. É cada vez mais difícil implementar essas ideias mas ainda se tem uma chance; se tens uma ideia, submetes propostas para conseguir dinheiro para a implementar. Ninguém tem que te dizer o que fazer, tens um grande grau de liberdade. Se eu comparar a minha posição com a de alguém que trabalha na Indústria... a fazer carros, por exemplo, todos os dias ele faz os mesmos movimentos. Este tipo deveria ser muito mais bem pago do que eu!... Provavelmente não era isto que ele pensava fazer durante 40 anos (...), enquanto eu levo a minha vida no que eu queria fazer de qualquer das maneiras, porque eu gosto

disto. Esta é uma grande vantagem se se faz investigação.

É cada vez mais difícil arranjar financiamento mas, penso eu, ao mesmo tempo é preciso (...) deixar que as outras pessoas participem no nosso entusiasmo (...). Por favor, deixem participar as pessoas que estão realmente interessadas. O teu entusiasmo, deixa que partilhem dele. Vais ficar espantado com a quantidade de pessoas que realmente acham maravilhoso o que estás a fazer.

Pulsar: Por exemplo, as suas experiências, como é que as explicaria às pessoas de modo a que elas sentissem esse interesse, de modo a que quisessem participar?

CR: Bom, começaria por falar sobre o Sol, e se essas pessoas alguma vez pensaram em quão grande é a energia que ele produz, se têm uma estimativa disso, e sobre quanto tempo pode brilhar. Começaria por fazer-lhes perguntas destas, e eles diriam: “Oh, talvez um milhão de anos”. E eu digo “Não, 5 mil milhões de anos”. “Como pode algo arder esse tempo todo?” e então eu continuo: “Há energias “químicas” em todos os processos químicos que você conhece (o fogão, o carro, ...) mas isto não é suficiente. Assim é precisa uma nova forma de energia.” Então conto-lhes que os Físicos descobriram que há outra fonte muito mais poderosa, milhões de vezes mais poderosa. Digo-lhes: “Vocês já viram estas coisas: as bombas atômicas. Por muito terríveis que sejam, vocês sabem quanta energia é aí produzida. Foi exactamente isto o que os cientistas descobriram e as bombas resultam de pôr isto a servir o propósito errado. Mas esta quantidade de energia, isto é o que é libertado no sol.”, e assim por diante. Depois eu digo: “Depois quisemos perceber se esta imagem é correcta. Há algumas partículas estranhas que de lá saem (neutrinos).” Tento avaliar até que ponto me estão a perceber, tento ilustrar, perguntas... Números simples!, não podes usar Matemática, não podes usar nenhuma equação senão perdê-los. É muito difícil mas, reparem, uma pessoa tem de tentar fazer isto. Quando me reformar, uma coisa que eu gostaria de fazer, um sonho que eu tenho, é escrever um livro, sobre Ciência em geral, para crianças...

Pulsar: Trabalho grande e muito duro, esse...

CR: Trabalho grande e muito duro. Mas é um sonho. Se consigo ou não eu não sei. Chegar mesmo a imagens, analogias... Nem para tudo se consegue arranjar uma imagem da experiência do dia-a-dia, mas frequentemente se pode fazer alguma analogia. De repente ele entende o que se está a passar. Todas as descobertas começaram com alguma imagem muito simples que a pessoa tinha em mente, que depois pôs em equações. Depois um tipo esquece-se de discutir o quadro simples que serviu de base. Mas foi isto que lhe estimulou as ideias!

Pulsar: Quando começou a fazer Física qual era a sua “paixão”, a sua motivação?

CR: Oh, isso mudou durante a minha vida. Trabalhei primeiro em Física Nuclear pura e depois mudei para Astrofísica em 1969. Comecei projectos de colaboração dentro e fora do país e há 8 anos atrás acrescentei a isto um novo campo, nomeadamente a Ciência dos Materiais, juntando toda a Física que se pode fazer com feixes de iões: não só Ciência dos Materiais mas também Medicina, Biologia, Geologia. Sempre me diverti não ficando parado num só campo mas alargando os horizontes.

Por exemplo, consegue-se focar estes feixes de iões até um diâmetro muito pequeno (um micrómetro ou menos). Agora, por exemplo, se queres descobrir qualquer coisa em Medicina, digamos no problema da doença de Alzheimer, comparas uma célula de uma pessoa sofrendo de Alzheimer com uma célula de uma pessoa normal. (...) A célula é grande (cerca de 100 μm), temos o plasma da célula e o núcleo, e com este feixe focado pode-se olhar por todo o lado e procurar saber, por exemplo, qual é a composição química. Medes aqui, vês Fósforo, aqui há Fósforo, aqui há Fósforo, e depois olhas para o núcleo e encontras outros elementos lá. Depois comparas esta informação, digamos, da célula normal com a da célula com Alzheimer. Se vês uma diferença, então descobriste uma causa, pelo menos de um ponto vista químico. De facto as pessoas fizeram isto, e descobriram provas de que existe um excesso de Alumínio no núcleo destas células. Esta é uma informação que não seria capaz de obter se pegasses na célula, a queimasses, e procurasses saber que elementos lá estavam. Não descobririas onde

estavam localizados.

Ou a morte das florestas. (...) Sabia-se que o problema da morte florestal estava relacionado com o facto de as agulhas (das árvores) doentes terem uma sobre-abundância de alguns elementos pesados. Agora a pergunta era: “Este elemento, por onde é que ele entra na célula?” Toda a planta tem dois canais: um é o canal da água e outro o canal da comida. Então tens de pegar nesta agulha e novamente usar esta microsonda para olhar por todo o lado. “Será que está no canal de água ou no canal da comida, onde é que está este elemento? Será que vem da água ou será que vem pelas raízes por onde entra a comida?” Descobriu-se que vem pelo canal da comida. Achei tudo isto muito estimulante.

Ou, procurámos esqueletos no rio Rhein, para medir quanto Mercúrio havia nos ossos dos peixes. “Será que os peixes estão saudáveis ou não estão saudáveis? Será que podemos comê-los ou não podemos comê-los?” Procuramos cancros nos cérebros de animais, ratos... É um espectro largo que se abre. Claro que para trabalhar nestes campos tens de ter colegas da escola médica, pelo que se trata verdadeiramente de trabalho interdisciplinar.

Mas pessoalmente sempre achei isto muito excitante, aprender alguma coisa sobre a doença de Alzheimer, aprender alguma coisa sobre plantas... Tudo isto é Ciência. A Ciência é muito excitante, existem tantos caminhos em aberto, questões em aberto. E nem sempre precisam de grandes quantidades de dinheiro (...). Digo muito dinheiro falando em quantias que vão um pouco até ao limite de uma nação. Pouco dinheiro é, para mim, 1 milhão, 2, 3 milhões de DM, se tiveres de construir umas instalações do princípio. (...) É fácil fazer máquinas cada vez maiores, há propostas internacionais à espera e se participas nelas estás como peixe na água com todos eles⁸. É muito mais difícil ter um projecto de investigação em instalações mais pequenas, é mais difícil encontrar projectos novos aí, é preciso mais imaginação. Mas temos de ter actividade local, investigação local...

(...)

ALEMANHA ORIENTAL

Pulsar: Uma coisa que eu sem-

pre quis saber... Na Alemanha, notou alguns avanços no conhecimento, em Ciência, quando as duas Alemanhas se uniram? Houve alguma “melhoria” no conhecimento?

CR: Sim e não. Nos campos onde as pessoas de Alemanha Ocidental estavam a trabalhar, os colegas de Alemanha de Leste não conseguiam competir connosco porque não tinham o dinheiro para comprar equipamentos e por aí fora. Os colegas da Alemanha de Leste trabalhavam em “ilhas” que tinham ficado, com que os alemães ocidentais não se maçaram. Uma área foi em Ciência dos Materiais, e em particular nestes feixes focados de iões. Aí os alemães ocidentais viram: “Não há nada de interessante.” Mas estavam errados. Era aí que eles eram muitos melhores em conhecimento, e nós beneficiámos do seu conhecimento para continuar e construir novas sondas, microsondas. Mas estas foram as únicas áreas, não muitas, onde os alemães de Leste complementaram, trouxeram algo de novo. Noutras áreas eles apenas tentaram com o pouco dinheiro que tinham...

Pulsar: Quanto aos campos teóricos, era melhor de alguma forma?

CR: Não, mas não diria: “Eles não eram bons.” Eles não tinham bons computadores para fazer simulações de Monte-Carlo e outras coisas complicadas. Tinham que fazer as coisas por métodos simples e com o que tinham à mão. Eles não eram burros!... Eram mais perspicazes a encontrar maneiras mais fáceis de fazer as coisas. Mas a certos níveis, se estás a fazer *lattice gauge theories* ou qualquer coisa do género, precisas mesmo é de ter um bom computador, de outro modo não é competitivo. Esta era a sua grande desvantagem.

Pulsar: Uma coisa que eu sempre apreciei é que na Rússia não tinham dinheiro para fazer grandes projectos a nível tecnológico mas mesmo assim fizeram grandes progressos.

CR: Sim! Em campos teóricos eles são a nata mundial... (...) É uma situação similar: as partes experimentais são fracas na Rússia, quando comparadas com os padrões ocidentais, mas na parte teórica continuam a ser nata pura. Cometeram erros, compreensíveis tendo em conta que não possuíam tecnologia como a do Ocidente. Concentraram toda a sua capacidade técnica na construção de foguetes e

na “guerra” com os americanos, no *Sputnik*... Noutros campos, campos experimentais, eles estão muito atrás do Ocidente. Mas em teoria eles continuam ainda a ser dos melhores. Eles perderam muitos dos seus melhores efectivos por causa de dinheiro (...): o ordenado que eles ganham num mês como Professores Convidados (na Alemanha) é mais do que ganhariam num ano inteiro em casa. Portanto, quando tinham uma proposta tinham de ir. Assim, há uma perda de “cérebros”, e isso trará consequências, infelizmente, para a Rússia. Eles perderam não só a nata das natas, perderam também a geração seguinte. Estão agora na terceira geração. Mas mesmo estes são ainda muito bons. (...)

A Alemanha passou por isto no regime de Hitler, nós perdemos a nossa nata, os Judeus (...). Bethe, Oppenheimer... Teller estava na Alemanha, Wigner estava na Alemanha... Depois pessoas medíocres ocuparam estes lugares nas Universidades. E pessoas medíocres não gostam de pessoas brilhantes por perto, só gostam de pessoas igualmente medíocres. Então são precisas três ou quatro gerações... Só quando estas pessoas se retiram, então talvez, a pouco e pouco, consegues ir subindo. Sinto pena pela Rússia, que por razões completamente distintas das da Alemanha, está a perder os seus “cérebros”. Isto não se passa só em Ciência, passa-se em todos os campos onde os russos eram bons. Recebem ofertas e... Não há pão em casa para dar aos filhos. O que é que fazes? Eu faria o mesmo.

1 Tradução livre de “But my grandmother was healthy as hell, strong!...” N. do T.

2 Os dados foram os apresentados no mini-curso de Astrofísica Nuclear ministrado pelo Professor Claus Rolfs. N. do T.

3 “Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics”. N. do T.

4 Com um valor aproximado de 102\$00 para o DM, estamos a falar de cerca de 2652\$00, por wafer... N.do T.

5 Tradução livre de “There are some tricks you can't see on the size of a screw.” N. do T.

6 Milhares de milhão, à americana. N. do T.

7 Super Sincrotron Collider. N. do T.

8 Tradução livre de “...you are just swimming in the river with all of them.” N. do T.

“Save the Russians!...”

Pulsar: *Li, talvez num jornal, que alguns cientistas russos estavam a sair do país porque os seus salários lhes estavam a ser pagos em batatas...*

CR: *Sim, algumas pessoas não recebem salários há já um ano. É impossível conseguir perceber.*

Não percebo porque é que a Europa não faz qualquer coisa como um plano Marshall para a Rússia. Não digo para pôr lá dinheiro mas pôr lá pessoas. A Rússia é tão rica em recursos, tem dos melhores solos para produzir sementes e batatas e sabe Deus que mais! São o país mais rico em petróleo e em todos os recursos. Se se investir lá não há hipótese de ficar a perder. A Rússia pertence à Europa; devíamos pensar (...) que temos um parceiro europeu doente e que precisa de cérebro, precisa de engenheiros. (...) Eles precisam de infraestruturas, precisam de pessoas que saibam construir estradas, caminhos de ferro e armazéns. A Rússia importa sementes para fazer Vodka!, porque todos os seus produtos apodrecem, eles não conseguem armazená-los por tempos prolongados. (...) A terra deles é tão fértil, eles podiam ter não só o suficiente para as suas próprias necessidades ou da Europa, podiam exportar para países mais pobres simplesmente para os alimentar. No entanto, eles não conseguem armazená-los. Nós temos gente jovem que sabe como fazer isto, gente que está desempregada. Porque é que não lhes damos um plano de longo prazo? Dizemos: “Damos-te um posto de trabalho, vais para a Ucrânia ou para onde for, 30 anos, 40 anos, este é o teu projecto de vida.” Algumas pessoas podem não gostar de ir para a Rússia, outras podem, é um desafio... Só desta maneira, julgo eu, podemos trazer a Rússia de volta o mais depressa possível aos nossos padrões ocidentais. Só com pessoas saudáveis é que se podem fazer negócios, com pessoas doentes não se conseguem fazer negócios. Mas ainda há quem diga “Nós não temos dinheiro.” Mas as pessoas esquecem que as duas Guerras Mundiais custaram não só milhões de vidas mas biliões de dólares, biliões! de dólares. Aqui temos uma hipótese de evoluir em Paz. Mas há quem se queixe, vocês sabem das directivas de Maastricht, dos 3% ou 3,5%. Com 3,5% nós podíamos fazer isto! Antes eles perderam não só 0,5%, eles perderam 100%! Os alemães perderam duas vezes todo o seu dinheiro neste século. (...) Eu sonho com um plano destes em que disponibilizamos uns biliões e damos um trabalho aos mais novos, em vez de os termos desempregados na rua. Dai-lhes um programa para ajudar a Europa. No fim a Europa só pode sair a ganhar. Mesmo tendo inflação a 3,5% em vez de 3%. 0,5% não é nada. Vocês têm de lutar por isto, julgo eu. Vocês, a próxima geração.

Interlúdio cultural...



Loucura

Quem pode afirmar que ela existe?
Quem pode apontar o dedo?
Apontar e dizer: “Ele é louco!”.

Será que ser louco é estar triste?
Será que ser louco é ter medo?
Será de tudo isto um pouco?

Ninguém conhece a VERDADE.
Como posso dizer que a minha
É a certa, e a tua, a errada?

Ao longo dos tempos, tantos
Foram incompreendidos; “Uns loucos”
Hoje são génios, visionários.

Apenas queriam compreensão, amizade.

Fugiram todos com medo, não a queriam para vizinha.

“São bruxos, feiticeiras! Façamos uma queimada!”

E se os nossos sentidos estão cobertos por mantos?
E alguns privilegiados (muito poucos)
Vão além do senso comum, dos pensamentos ordinários?

Eles são uma ameaça.
Não fazem o que se espera deles.

Tranquemo-los longe da vista
Tornemo-los em vegetais,
Rastejando por corredores, com o que deles resta.
Não podem pensar, nem reagir. Não nos incomodam mais.

Ninguém pára para os ouvir.
Nem para lhes fazer um carinho.
Ninguém os deixa exprimir,
Como chegaram àquele caminho.

Só o amor a eles nos pode ligar,
Porque nada existe no mundo
Mais forte ou mais grandioso que o amor.

A ouvir e a amar
Tenhamos um pensamento profundo,
Se somos iguais, ou se algum de nós é melhor.

Susana Castro

Comentário ao artigo "Aplicações da Termodinâmica", saído no Pulsar 11

No artigo de Pedro Ramalheite publicado no Pulsar número 11 foi-nos assinalado um erro por um leitor.

O erro tem a ver com o cálculo da temperatura do Inferno. Esse cálculo, é feito assumindo que no Inferno há enxofre em ebulição. Calculei esse baseado na intuição correcta de que a temperatura de ebulição depende apenas da pressão.

Em geral o estado de uma substância não depende apenas das condições de pressão e temperatura (ver vapor sobre-saturado Fermi páginas 64 e 65). Para os casos mais simples, como o que aqui queremos abordar, o estado da substância em estudo depende só das condições de pressão e temperatura (ver Dias Deus et al. página 309). Se uma substância a uma dada pressão se encontra à temperatura de ebulição em geral coexistem as duas fases e quando o volume do sistema é reduzido a temperatura constante varia a proporção gás-líquido mas a pressão não se altera. A energia recebida sob a forma de trabalho pelo sistema é compensada convertendo uma das fases na outra, pois a energia interna molar de uma dada fase só depende das condições de pressão e temperatura. Nas condições de ebulição bem definidas as energias internas das duas fases são diferentes: a fase gasosa tem uma energia interna molar maior que a fase líquida. Em suma e para o que nos interessa a temperatura de ebulição de uma dada substância só depende da pressão.

No artigo em causa a dependência da temperatura de ebulição da pressão é estudada com base no modelo do gás perfeito. O que está errado, pois esse modelo destina-se a modelar os gases longe da zona de condensação e não a dependência da temperatura de ebulição da pressão. A equação que modela o problema atrás citado nas condições descritas é a equação de Clapeyron

$$\left(\frac{dp}{dT}\right)_{eq.} = \frac{\lambda}{(v_2 - v_1)T}$$

onde a derivada é considerada nas condições de equilíbrio líquido-gás,

p a pressão,

T a temperatura termodinâmica absoluta,

λ é o calor latente de evaporação e

v_1 e v_2 são respectivamente os volumes por unidade de massa do líquido e do vapor.

Repare-se o que obtivemos foi uma equação diferencial para $p(T)$ no entanto o que queríamos era a dependência explícita de T em relação a p . Tal só é possível mediante aproximações pois no equilíbrio gás-líquido os parâmetros v_1 , v_2 e λ dependem também das condições

de temperatura. Pois no fundo o que temos é uma equação

diferencial do tipo $\frac{dp}{dT} = \frac{f(T)}{T}$ em que $f(T)$ é desconhecida.

Como sabemos em geral uma substância ocupa um volume muito maior no estado de vapor que no estado líquido logo podemos escrever:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda}{v_2 T}$$

Seguidamente v_2 é estimado usando a equação dos gases perfeitos:

$$v_2 = \frac{RT}{Mp}$$

onde M é o peso molecular do vapor a equação diferencial fica:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda Mp}{RT^2} \Leftrightarrow \left(\frac{dp}{dT}\right) = \frac{\lambda M}{RT^2} \Leftrightarrow \frac{d \ln p}{dT} = \frac{\lambda M}{RT^2}$$

integrando de ambos os lados considerando λ constante:

$$\ln p = -\frac{\lambda M}{RT} + Cte$$

conhecendo (tal como vem no artigo) que a temperatura de fusão do enxofre a 1 atmosfera é $444.6^\circ\text{C} = 717,6\text{ K}$ e substituindo os parâmetros R , M e λ pode-se determinar Cte , uma vez feito isto é conhecida aproximadamente a dependência funcional da temperatura de fusão em relação à pressão:

$$T = -\frac{\lambda M}{R(\ln p - Cte)}$$

Bibliografia:

Atkins, 1992, *Physical Chemistry*. Oxford University Press, Oxford

Dias Deus et al., 1992, *Introdução à Física*. Mc Graw Hill, Portugal

Fermi, 1973, *Termodinâmica*. Almedina, Coimbra

Antes de fornecer motivações teóricas, convém ver quais os limites superiores experimentais actuais para a massa dos neutrinos. Em Fevereiro de 1997, eles eram 5 eV para a massa do neutrino electrónico, 170 keV para o neutrino muónico e 23 MeV para o τ -neutrino. Estes limites têm vindo a decrescer com o tempo. Só para efeitos de comparação, em 1991 eles eram, respectivamente, 12 eV, 250 keV e 35 MeV. Estes valores não são incompatíveis com os neutrinos terem massa zero, mas não obrigam a tal. Bem pelo contrário: comparando estas massas com as dos leptões carregados, pode-se concluir que cada neutrino é, de facto, muito mais leve que o leptão carregado correspondente. Só

que repare-se que o limite superior da massa do neutrino- τ é cerca de 68 vezes a massa do electrão! Assim, não é razoável dizer que estes valores sugerem que a massa (note-se o singular) dos neutrinos é zero: bem pelo contrário, estes valores não forçam as massas (note-se o plural) dos neutrinos a serem zero!

Motivações da Física Teórica de Partículas

Convém começar por esclarecer que o carácter “não massivo” do neutrino no Modelo Padrão tem uma origem completamente diferente do do fóton. O facto de o fóton não ter massa provém de uma simetria não quebrada $U(1)_Q$, ou seja, tem origem no sector de gauge da teoria. É uma consequência de factos (conservação da carga eléctrica; alcance infinito da interacção electromagnética) experimentalmente conhecidos e testados.

Pelo contrário, o carácter “não massivo” do neutrino no Modelo Padrão não tem origem em nenhuma simetria conhecida: é imposto pela escolha da representação do grupo de gauge da teoria. Não há, portanto, nenhuma motivação experimental

forte nem nenhum motivo teórico satisfatório

para esta imposição. Pelo contrário, muitos modelos interessantes de Grande Unificação requerem que os neutrinos tenham massa.

As duas grandes questões que se colocam são: como estender o Modelo Padrão de forma a incluir as massas dos neutrinos? Como explicar que as massas dos neutrinos sejam tão menores do que

as massas dos respectivos leptões carregados? Assim uma boa teoria deverá esclarecer estas questões, sendo que a segunda questão é muito mais delicada, uma vez que a teoria actual não prevê a massa de nenhum fermião.

Motivações fenomenológicas; alguns possíveis testes

Um conhecido processo que envolve emissão de neutrinos electrónicos (ν_e) (ou antineutrinos, que aqui designaremos por ν_e^c) é o decaimento β , que envolve um núcleo atómico com Z prótons e N neutrões, e que pode ser de dois tipos:

$(Z,N) \rightarrow (Z+1,N-1) + e^- + \nu_e^c$
(decaimento β^-)

$(Z,N) \rightarrow (Z-1,N+1) + e^+ + \nu_e$
(decaimento β^+)

Seja E_{end} a energia de endpoint, dada por $E_{end} =$ massa do núcleo inicial - massa do núcleo final - m_e .

Obviamente, o processo só pode ocorrer se $m_{\nu_e} < E_{end}$. Sejam p e E o momento e a energia do electrão (positrão) emitido. Seja ainda $K(Z,E)$ a raiz quadrada da probabilidade de transição de um dado núcleo por unidade de tempo e por unidade de energia, dividida por uma correcção devida

à interacção electrostática entre os núcleos e o electrão (positrão) emitido (a chamada função de Fermi). Se $m_{\nu_e} = 0$ prova-se que $K(E)$ é proporcional a $E_{end} - E$. Se se fizer um gráfico de $K(Z,E)$ em função de E , deve obter-se uma recta (gráfico de Kurie).

Este procedimento é comum na cadeira de Física Experimental I. Os desvios desse comportamento previsto em relação ao comportamento observado permitirão decidir se o neutrino electrónico tem ou não massa. Têm sido feitas investigações intensivas em vários laboratórios do mundo, mas até agora ainda não se chegou a resultados conclusivos consensuais.

Outro processo interessante é o decaimento β duplo sem emissão de neutrinos. Este processo nunca foi observado; a sua existência implicaria que neutrino e antineutrino não seriam partículas distintas, e que o número leptónico não seria conservado. Sobre este assunto, convém destacar alguns aspectos.

A diferença entre neutrino e antineutrino foi demonstrada experimentalmente, por estes darem origem a processos diferentes. Este facto foi tomado inicialmente como sendo prova de que neutrino e antineutrino são distinguidos por um novo número quântico, o número leptónico. No entanto, este facto pode ser compreendido somente com a conservação de helicidade. Isto se a interacção fraca for exactamente do tipo V-A e a massa do neutrino for nula. Assim, os antineutrinos serão de direita, e não poderão iniciar a mesma reacção que neutrinos de esquerda.

Na verdade, é possível que neutrino e antineutrino sejam uma única partícula, no sentido em que um neutrino de direita seja um antineutrino de esquerda e um antineutrino de esquerda seja um neutrino de esquerda. Neutrino e antineutrino seriam, assim, somente notações para os dois estados de helicidade do neutrino. Esta possível identificação de estados de partícula e antipartícula para fermiões

neutros foi sugerida pela primeira vez por Majorana.

Para neutrinos sem massa, não há distinção entre o neutrino usual de Dirac e o neutrino de Majorana,

uma vez que a quiralidade iguala a helicidade, e ambas se conservam. Será diferente se os neutrinos tiverem massa, por pequena que seja, pois a quiralidade e a helicidade diferem entre da ordem de $(m_\nu/E_\nu)^2$.

Neste caso, um antineutrino de Majorana de direita pode, com uma pequena probabilidade, comportar-se como um neutrino de Majorana de esquerda, e pode ocorrer um declínio β duplo. Várias pesquisas do declínio β duplo estão em curso, mas até agora ainda nada foi observado.

Não deixa de ser curioso que processos de Física Nuclear, supostamente a baixas energias, possam ser tão importantes para testar Teorias de Grande Unificação, que descrevem propriedades de partículas elementares a altas energias.

Outras hipóteses interessantes são os declínios do μ e do τ . Estes declínios ocorrem com emissão de neutrinos, respectivamente muónicos (ν_μ) e da família do τ (ν_τ). Através da cinemática, pode tentar-se descobrir a massa desses neutrinos.

É importante referir a mistura de neutrinos. O facto de, no Modelo Padrão, se poder escolher uma base tal que os estados próprios de interacção sejam também estados próprios de massa só é possível por os neutrinos não terem massa. Admitindo que os neutrinos têm massa, há que introduzir uma matriz de mistura no sector leptónico que, tal como para os quarks, relacione os estados próprios de interacção com os de massa (que têm massas diferentes entre si). Isto conduz a processos que violam automaticamente o número leptónico. Para além disso, esta matriz de mistura deve ser, em geral, complexa, pelo que surgiriam processos no sector leptónico que violariam CP. Esta hipótese torna ainda possível as oscilações de neutrinos.

Imagine-se que, num dado instante, e numa dada interacção, é emitido um neutrino, por exemplo ν_e . Se existir mistura de neutrinos, o ν_e emitido não é um estado próprio de massa, sendo antes uma sobreposição desses mesmos estados. Essa sobreposição varia com o tempo, pelo

que, após algum

tempo, o neutrino emitido pode parecer um ν_μ ou um ν_τ podendo, portanto, ter interacções fracas

(mediadas por corrente carregada) com muões ou τ . A este processo chama-se oscilações de neutrinos.

Também é interessante, do ponto de vista fenomenológico, a previsão de novas partículas e, conseqüentemente, de novos processos. Uma dessas novas partículas é o majorão, que surge em modelos com quebra espontânea de simetria B-L. O majorão surge como um bosão de Goldstone e, portanto, não tem massa. Este facto não contradiz os resultados experimentais, uma vez que o acoplamento do majorão com a matéria é fraco. No entanto, com o majorão, surgem novos processos possíveis, particularmente novos declínios, como por exemplo de neutrinos e do Z. Estes processos exigem uma análise fenomenológica, que pode ser confrontada com resultados experimentais existentes.

Motivações da Astrofísica e da Cosmologia

São muitas as motivações para neutrinos com massa provenientes da Astrofísica e da Cosmologia.

A importância astrofísica dos neutrinos foi sugerida por Bethe quando, em 1939, indicou a cadeia de reacções que, em vários passos, fundem átomos de hidrogénio em átomos de hélio nas estrelas.

A questão mais conhecida talvez seja o problema dos neutrinos solares. Cálculos pormenorizados permitiram prever o fluxo de neutrinos solares (electrónicos) esperado. Só que, experimentalmente, detecta-se apenas cerca de um terço desse fluxo. Mas na Terra só se detecta neutrinos electrónicos (através de reacções como, por exemplo, $^{37}\text{Cl} + \nu_e \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-$, pelo que se for ν_μ ou ν_τ a atingir a Terra, a reacção não será desencadeada e o neutrino não será detectado. Esta hipótese é possível se admitirmos oscilações dos neutrinos. Se, no longo caminho do Sol para a Terra, ν_e , ν_μ e ν_τ forem completamente misturados, então apenas um terço dos

neutrinos electrónicos emitidos chegaria enquanto tal à Terra: os outros dois terços transformar-se-iam em ν_μ e ν_τ .

Observações do fluxo de neutrinos atmosféricos também indicam alguma discrepância com as previsões teóricas, que também podem ser explicadas através de oscilações de neutrinos.

Voltando ao problema dos neutrinos solares, outra maneira de o explicar seria considerar um momento magnético para o neutrino. Se este momento for suficientemente grande, os neutrinos de esquerda produzidos em reacções nucleares no Sol poderiam inverter a sua helicidade na presença do campo magnético solar. Uma vez que os neutrinos de direita, a existirem, teriam uma secção eficaz de interacção com a matéria muito menor que os de esquerda, seriam difíceis de detectar, o que poderia explicar a redução do fluxo detectado. No entanto, um neutrino sem massa não pode ter um

momento magnético, pelo que esta solução exige que os neutrinos tenham massa.

Também é relevante considerar-se sistemas de estrelas ligados gravitacionalmente, como galáxias, enxames...

Se os neutrinos tiverem massa, isso também terá importantes implicações cosmológicas. O modelo do big-bang prevê a existência de neutrinos por todo o Universo. A densidade desses neutrinos é cerca de oito vezes superior à densidade de média de bariões no Universo. Assim, por muito pequena que seja a massa dos neutrinos, esta contribuirá largamente para a densidade de energia do Universo e afectará a sua evolução como um todo. A consideração de outras fontes de massa que não os bariões abre outras possibilidades interessantes para a Cosmologia. Por exemplo, presentemente é uma evidência experimental que 90% da densidade de massa total do Universo é constituída por matéria não bariónica e não radiante. Esta chamada matéria escura

pode ser constituída, pelo menos parcialmente (mas em grande percentagem) por neutrinos com massa.

Pode-se estimar quão pesados poderão ser os neutrinos sem que contribuam demasiadamente para a densidade de massa do Universo. O parâmetro crucial nesta análise é a temperatura de desacoplamento dos neutrinos, T_d . Esta é a temperatura do Universo primordial acima da qual os neutrinos estão em equilíbrio térmico com o resto das partículas elementares que constituem o Universo. Abaixo de T_d , a expansão do Universo predomina sobre as interações dos neutrinos, pelo que estes se desacoplam do resto do Universo. À medida que o Universo se expande, a densidade de neutrinos à temperatura T decresce relativamente ao seu valor à temperatura T_d de um factor $(T/T_d)^4$,

devido ao desvio cosmológico para o vermelho. Se a massa do neutrino for inferior a T_d a densidade de massa de neutrinos actual é $\rho/\rho_c = \sum g_\nu m_\nu / (200 \text{ eV})$ sendo $g_\nu = 2$ para massas de neutrinos de Majorana e 4 para massas de Dirac e ρ_c é a densidade crítica de expansão do Universo. O valor 200eV resulta da estimativa de ρ_c com base no valor medido para a constante de Hubble.

Daqui se conclui que a soma das massas dos neutrinos tem de ser, no máximo, 100eV. Na verdade, argumentos cosmológicos implicam um limite superior de 30eV para a massa de um neutrino estável.

Conclusões

Em jeito de conclusão, podemos considerar que, embora havendo muitos modelos e hipóteses, o problema da massa dos neutrinos é

ainda um problema em aberto, inserido num contexto muito mais largo que é a Física para além do Modelo Padrão. Não é possível, neste momento. Dizer qual é o melhor modelo para os neutrinos com massa, uma vez que isso não depende só das massas dos neutrinos. Não queremos, no entanto, deixar de dizer que esse é um assunto privilegiado paratestar as diferentes hipóteses que temos hoje (e, quem sabe, as que virão a surgir). A física dos neutrinos e os processos a ela associados são um assunto rico de abordagens possíveis, e sobre o qual há ainda muito trabalho experimental a fazer. A recente evidência experimental, no detector Superkamiokande, no Japão, de oscilações de neutrinos deu um novo impulso a esta investigação; veremos qual será o modelo mais correcto - obviamente, só a experiência o decidirá.



NFIST

*Núcleo de Física
do Instituto Superior Técnico*

Concurso “Fusão Nuclear e Ambiente”

Atenção! O prazo de entrega dos trabalhos para o Concurso “Fusão Nuclear e Ambiente” (v. PULSAR nº 12) foi adiado até 30 de Novembro. Tens mais uma oportunidade para concorrer e ganhar uma visita ao JET (Abingdon, Reino Unido)!

Mais uma vez, empresas vieram conhecer e dar-se a conhecer aos alunos do Técnico, principalmente aos pré e recém-licenciados. Foi na **10ª Jobshop de Engenharia** (a maior até agora, em número de empresas participantes), organizada pela AEIST, que decorreu entre 23 e 27 de Março. O recinto foi uma grande tenda montada na alameda (vulgo “das laranjeiras”), onde várias empresas, para além dos Departamentos e Licenciaturas do Técnico, tinham os seus stands.

Simultaneamente, e para aproveitar a oportunidade, o GAPE (Gabinete de Apoio ao Estudante) promoveu uma **Semana Aberta**, que trouxe ao Técnico alunos de dezenas de Escolas Secundárias de todo o país, que também visitaram a exposição.

O Departamento de Física (DFIST) e a Licenciatura em Engenharia Física Tecnológica (LEFT)⁽¹⁾, bem como alguns dos Centros de Investigação ligados ao Departamento que forneceram material para divulgação do seu trabalho, estavam representados em 2 stands. A concepção, montagem e gestão destes foi feita pelos alunos da Licenciatura, através do Núcleo (NFIST) (note-se que raros departamentos ou licenciaturas se fizeram representar exclusivamente pelos alunos, sendo mais frequente enviarem professores, funcionários, ou mesmo deixarem o stand sozinho). Os alunos se encarregaram de apresentar e explicar ao público, para além de cartazes e folhetos, boa parte do material do Circo da Física, incluindo alguns dos *best-sellers*

como o supercondutor, a lâmpada de ultravioletas⁽²⁾, a roda da bicicleta - e, claro está, o pato! - bem como fornecer informações gerais acerca do curso, o Departamento e a investigação que cá se faz.



Os alunos organizaram turnos para, ao longo da semana, não terem que faltar (demasiado...) às aulas e, ainda assim, garantirem o pleno

funcionamento da nossa exposição, (que só fechou durante o seminário “Os Caminhos da LEFT”, como previamente anunciado, e foi das últimas a serem desmontadas, tendo funcionado até ao último momento). Apanhámos assim todos os visitantes interessados, entre os quais uma multidão de alunos e professores de escolas visitantes e cá do Técnico, representantes de empresas como a EPAL, um Secretário de Estado, o Ministro da Educação Professor Marçal Grilo, e o Presidente do IST, Professor D i a m a n t i n o Durão. Aliás, estes dois últimos estiveram muito interessadas nos brinquedos do C i r c o , especialmente no pato e na lâmpada de ultravioletas...

Para o ano há mais!



funcionamento da nossa exposição, (que só fechou durante o seminário “Os Caminhos da LEFT”, como previamente anunciado, e foi das últimas a serem desmontadas, tendo

1 Os mais atentos notaram que, de facto, estavam inicialmente sinalizados um Departamento de Engenharia Física, e uma Licenciatura em Engenharia Física e Tecnológica, devido a um lapso ainda não totalmente esclarecido, mas facilmente contornado, dos responsáveis pelos cartazes da exposição...

2 Agradecemos à Professora Palmira e ao Departamento de Química o Hélio líquido e as soluções fluorescentes!!!

Professor Gaspar Barreira (LIP)
Professor José Salcedo (EFACEC)
Professora Filomena Nunes (CENTRA/IST)
Engenheiro José Pinheiro (RENOVA)
Professor Jorge Dias de Deus (Então Presidente do Departamento de Física do IST)
(27/03, 6ª feira, 11h)

Na semana de 23 a 27 de Março do corrente ano realizou-se no IST a **10ª Jobshop de Engenharia**, organizada pela AEIST. Aproveitando a oportunidade, e embora a iniciativa não estivesse incluída no programa oficial da feira, o Departamento de Física do IST convidou para uma conferência informal 4 pessoas que mantêm uma relação profissional com a Engenharia Física Tecnológica: um “empregador” de cientistas, um “empregador” de engenheiros, uma licenciada pela LEFT que faz Física Teórica, e um licenciado pela LEFT que é engenheiro de corpo e alma. O desafio, lançado pelo mediador, o Professor Jorge Dias de Deus, era confrontar esses dois mundos - o empresarial e o científico - naquilo que cada um tem a oferecer a um Engenheiro Físico Tecnológico, e no que espera dele. Aos nossos 2 colegas já licenciados, pedia-se ainda que explicassem o que é que lhes valeu mais na LEFT, tornando-os aptos às suas posições actuais.

O **Professor Gaspar Barreira** é investigador no LIP, embora actualmente exerça mais funções de coordenador de projectos.

O **Professor José Salcedo** veio na qualidade de empresário Director de Investigação e Desenvolvimento da ENT, uma empresa do Grupo EFACEC que contrata engenheiros de diversos tipos.

A **Dra. Filomena Nunes** completou há 6 anos a LEFT e fez um Doutoramento em Física Teórica em Inglaterra. Depois de trabalhar durante um ano na Univ. Surrey, decidiu voltar para Portugal; faz investigação Post. Doc no CENTRA.

O **Engenheiro José Pinheiro** licenciou-se há 2 anos pela LEFT; foi quase imediatamente contratado pela Renova onde desempenha um papel (☺) misto de gestor e engenheiro. Mas não descarta a ideia de um Doutoramento, daqui a uns tempos.



A conversa começou por uma auto-apresentação dos convidados, que contaram um pouco do seu percurso, formação, opções profissionais importantes, projectos em que estão actualmente envolvidos e funções que desempenham nas respectivas equipas. Seguiu-se um debate animado e com muita participação da audiência, composta, principalmente, por alunos da LEFT, mas onde também estavam Professores, e alunos de outras Licenciaturas; falou-se de tudo um pouco, como se verá.

Mantendo o espírito informal reinante na Conferência, e sem intenção de ser exaustiva, apresento

alguns excertos do que se disse. Nem sempre respeito a ordem cronológica das intervenções, preferindo associá-las pelos temas. Como estes excertos foram recolhidos à mão, sem gravador, faltam certamente algumas das pérolas que foram ditas, o que é uma pena; mas pior era deixar passar tudo em branco no Pulsar ! O que aqui está é o que chamou mais a atenção, pelo conteúdo e/ou pela forma entusiasta como foi dito.

(Depois de lhe terem perguntado de forma directa qual a sua média de final de curso)

Doutora Filomena Nunes -

Ciência não é inteligência, Ciência é perseverança! (...) O que importa é a motivação, que pode ser tão forte num aluno de 19 quanto num de 12.

(acerca de as empresas também quererem os melhores alunos)

Engenheiro José Pinheiro -
Toda a gente quer o melhor produto!

Professor José Salcedo -
Sempre chamei a mim a responsabilidade e a iniciativa do que queria construir (sem tentar atropelar nada nem ninguém, porque é preciso manter a qualidade das relações entre as pessoas).

O gozo é lidar com pessoas: a

tecnologia é fácil de lidar, o dinheiro é fácil de arranjar, as pessoas de qualidade são escassas.

Estou interessado em recursos humanos que saibam pensar, alguém que me surpreenda mostrando que pensa de uma forma totalmente diferente da minha.

É a biodiversidade intelectual que é capaz de gerar riqueza.

Nós contratamos físicos pelas suas vantagens competitivas.

Eu tenho andado tão deprimido com esta história de contratar pessoas... Não é deprimido, é perplexo. Até já escrevi uma peça de teatro em 2 actos, em que muitas das situações descritas passaram-se mesmo, durante entrevistas, onde retrato o que se passou comigo em três entrevistas a doutorados.

Professor António Brotas - Não pode mandar para cá a tal peça de teatro?

(acerca do tipo de doutorados que são precisos)

Prof. J. Salcedo - Para nós qualquer coisa serve.

Um doutoramento tem que funcionar como uma espécie de casamento: se correr tudo bem, óptimo, mas exige um acto de paixão.

Em caso de dúvida, escolher sempre aquilo que nos dá mais gozo.

Dra. F. Nunes - A mim já me disseram “Vocês investigadores têm que deixar de fazer as coisas que vos dão gozo para fazer coisas úteis para a sociedade”.

Prof. J. Salcedo - Quem diz isso é um perfeito cretino. E reparem que estou a falar em nome de uma Indústria.

Prof. J. Salcedo - Estamos a estabelecer protocolos com as 3 Universidades Públicas da região em que a ENT se insere (as privadas não me interessam). *(Após lhe terem perguntado porque)* Existem em Portugal diversas instituições privadas que se denominam de Universidade. No entanto, nenhuma delas, e ao que sei, satisfaz o critério de missão para uma Universidade, tal como aprendi em Stanford (que até é uma Universidade privada): “ensinar e investigar na fronteira do conhecimento”. Por outro lado, penso que já existem demasiados

professores de Universidades públicas que se preocupam com essas instituições, para que seja necessário eu também me preocupar. Claro está, a Universidade Católica tem um estatuto especial, de Concordata, ao que suponho, e tem várias áreas de excelência, como é bem sabido, pelo que não a incluo nessa situação.

Tem sido difícil mobilizar jovens da área de Lisboa para irem trabalhar para o Norte.

Em termos da minha experiência pessoal, o Doutoramento foi o que me abriu mais portas na vida.

Eu não gosto muito da expressão Doutorado, prefiro a expressão inglesa PhD, Doctor of Philosophy. Uma pessoa que completa esse grau deve ser intelectualmente autónoma, e se for mesmo bom a sociedade tem que o valorizar.

Prof. A. Brotas - Tem algum bacharel na sua empresa?

Prof. J. Salcedo - Temos um Designer Industrial.

Mário Barbosa - E o que é isso?

Professor Jorge Dias de Deus - Vamos então passar para o Professor Gaspar Barreira que nos vai tirar da realidade e levar a todos para o Espaço.

Professor Gaspar Barreira - Eu não tenho vocação de orador autobiográfico...

Porque é que eu sou físico? A minha vocação é perceber porque é que as coisas são assim. Eu tenho uma boa amiga que não é nada como eu. Quando ela era criança e estava a ver um pôr do Sol com a mãe achou muito bonito, e quando a mãe lhe começou a explicar porque tinha aquelas cores ela disse-lhe “não expliques, não expliques”.

Para mim aquilo era como um jogo de futebol. Havia muita gente a jogar, e de vez em quando lá marcavam um golo, um tipo chamado Planck, um tipo chamado Einstein, descobriam um h, ou um c.

Em 1957 não havia nenhum curso de Física no país (na Faculdade de Ciências havia Ciências Físico-Químicas, e eu aliava-me à Química porque deitava fumos e cheirava mal).

Há 50 anos não interessava em que é que se era engenheiro, só se era engenheiro.

O operário veste fato macaco, e o engenheiro veste fato e gravata e vai aos jantares da administração.



A Física é o Circo de criação da Imagem do Mundo.

Hoje as coisas já não são como com Einstein, que descobriu a imagem do mundo nas costas de um envelope; são grupos, equipas grandes com muito material e muita tecnologia.

Esse caminhar na vanguarda de um processo vai acontecer sempre à volta dos Físicos.

Dra. F. Nunes - Quando menino achava que os golos mais importantes e espectaculares eram os da Física. Hoje em dia ainda acredita nisso?

Prof. G. Barreira - Tirando os do Porto, acho.

Os golos que revolucionam a história não são os da Física, são os que se fazem nas Revoluções na rua.

Que possibilidades é que vocês têm de participar no jogo? Têm todas, porque são físicos, são engenheiros,...

Ou vocês terminam o curso e dizem “quero ser engenheiro, quero ser tecnólogo”, ou entram naquilo a que se chama carreira académica, que é um nome odioso mas que quer dizer que se vão juntar a uma equipa e fazer investigação e dar aulas.

(acerca de se marcarem golos em áreas menos burocratizadas)

Professor A. Brotas - Porque é que as árvores crescem para cima e

não para baixo, pois se a gravidade é para baixo e fazia muito mais sentido??!!



Miguel Almeida - Eu sou finalista e fui apresentar-me a duas empresas bem conhecidas, e quando lhes disse que era Engenheiro Físico eles recusaram-me imediatamente.

Prof. J. Salcedo - A fazeres contactos com empresas, sugiro que os faças com aquelas empresas que têm claramente uma perspectiva moderna, internacional e de futuro, e

não percas tempo com empresas demasiado convencionais ou que até possam estar com dificuldades financeiras.

E de toda a conversa, para além da que aqui se apresenta, o que é que se conclui?

Antes de mais nada, que **a Engenharia Física Tecnológica pode produzir bons Engenheiros e bons Cientistas**. Que os nossos Engenheiros são capazes de concorrer com os Engenheiros “convencionais” (mais especializados, mas precisamente por isso menos versáteis) e mesmo com pessoas formadas na área da Gestão e Economia, por exemplo. Que os nossos recém-licenciados estão ao nível dos bons da Europa e do Mundo, e podem fazer um bom Doutoramento em Portugal ou no estrangeiro e continuar uma carreira de Investigação. Como bons exemplos temos o Engenheiro José Pinheiro e a Doutora Filomena Nunes.

Que a grande mais-valia dos nossos licenciados, quer numa área quer noutra, é a **sólida formação em Matemática e Física, a capacidade de aprender rapidamente um assunto novo e de trabalhar sob pressão, a “elasticidade mental” e o entusiasmo que têm pelo que fazem**. Isso torna-os capazes de **desempenhar tarefas variadas, de pesquisar e estudar em diversos campos, de dirigir projectos e pessoas**.

Este é o lado bom, mas, embora seja aliciante, é preciso ver que nem todos os que querem ser bons Engenheiros ou bons Cientistas o são ou serão um dia, e que há certamente lugar para os melhores, tal como em qualquer outra área do Conhecimento, mas provavelmente não para todos.

Ao contrário do que pode parecer, a fronteira entre a Engenharia e a Ciência não é assim tão bem definida, e cada vez mais há investigação de ponta que precisa de pessoas bem formadas e cheias de ideias novas, que saibam criar novas formas de pensar, e saibam manipular o que já se conhece; é isso que se pretende que seja um Engenheiro Físico Tecnológico.

I&D, Ciência Pura e Engenharia Física Tecnológica

Maria Malato Lerer

Toda a gente sabe que a Investigação e o Ensino estão cheios de gente (segundo muitos, gente antiquada, estagnada, a precisar de renovação, outros sem a mínima vocação pedagógica, etc., mas isso dava outro artigo...), que Universidades e Centros mais conceituados já não conseguem absorver todos os que querem seguir a carreira académica, que não há dinheiro para fazer Ciência; tal como toda a gente sabe que a maioria das Empresas ainda é território inóspito para Engenheiros Físicos Tecnológicos (“O que é isso? Mas afinal, são Engenheiros ou são Físicos? Olhe, desculpe mas não é disso que nós estamos à procura”).

Para alguns, a solução é

aumentar a conexão entre uns e outros, fazer mais dinheiro, industrialmente, com as descobertas que se fazem e com o equipamento que se desenvolve para e pela Investigação, de forma a poder suportá-la financeiramente (no caso específico da LEFT, fazer ver que os Cientistas são úteis à Indústria, e que se calhar os Engenheiros mais Cientistas até somos nós). Isto passa por mostrar (ao Governo, aos produtores, aos consumidores) que investir na Ciência é vantajoso para a Sociedade enquanto um todo, ultrapassa em muito o nível puramente científico/cultural ou de liderança tecnológica e chega às pessoas para lhes facilitar a vida. Obviamente, isto é extremamente delicado, porque pode-se ser tentado a fazer Ciência “vendável”, correndo o risco de desprezar e pôr na prateleira temas fundamentais mas mais teóricos ou

aparentemente distantes de aplicação.

Para os Engenheiros Físicos Tecnológicos, as coisas melhorariam significativamente se “os outros” soubessem quem nós somos, e o que somos capazes de fazer.

Não chega termos professores que gostam muito de nós e nos escrevem fantásticas cartas de recomendação (que se calhar até dão uma ajuda na altura de concorrer a um Doutoramento, mas felizmente um Doutoramento não dura a vida toda e desgraçadamente pouca gente sabe o que vai conseguir fazer depois dele), nem 2 ou 3 industriais mais bem informados, que de alguma forma travaram conhecimento com a LEFT. *A melhor propaganda do Curso são os tipos competentes que todos os anos saem de cá, mas é preciso divulgar mais e melhor.*

História Breve do Universo (transcrição revista)

Publicamos novamente a transcrição desta conferência na sua versão integral pois no entender de Secção Científica do Pulsar esta é a única forma do Pulsar colmatar as falhas da primeira publicação. Agradecemos ao Boletim da Sociedade Portuguesa de Química o facto de nos ter facultado esta versão revista pelo autor. Agradecemos ainda ao Professor Jorge Dias Deus a boa disposição e sentido de humor com que tolerou o intolerável.

Do que eu vou falar é sobre a história breve do universo. É breve porque temos pouco tempo e tentarei falar um pouco sobre tudo, começando pelo nascimento, passando pelo crescimento e terminando no falecimento do dito.

O que é que nós sabemos sobre o começo? Nós, para já, não sabemos muito bem o que é o começo, mas esta transparência (vazia) dá-nos uma ideia: no começo não havia nem espaço, nem tempo, nem matéria. Havia talvez uma singularidadezinha, um pontinho que desenho, que é a singularidade inicial. Essa singularidade inicial é o que se chama o Big Bang. Como vêm, há versões mais ou menos científicas sobre o Big Bang. A grande explosão inicial! Eu tentarei usar aqui a versão mais científica e tentarei explicar porque é que nós acreditamos no Big Bang. Essencialmente há dois argumentos. Um que é o desvio para o vermelho e o outro que é a radiação electromagnética de fundo. Há mais argumentos mas eu vou-me limitar a estes dois.

O primeiro argumento é o do chamado desvio para o vermelho que tem a ver com a observação de radiação dos espectros de luz visível e não visível que vêm das Galáxias. Estas são observações que começaram no final dos anos vinte, em particular por um senhor chamado Hubble que fez observações em 1929 e 1930. Uma galáxia distante emite luz, tal como o Sol emite luz. À volta da Galáxia pode haver certas nuvens, gases, poeiras, que absorvem alguma dessa luz e nós podemos estudar essa luz que provém

dessa galáxia. Como é que nós a estudamos? Com um aparelho que é essencialmente um prisma. Quando a luz entra pelo orifício decompõe-se. Há uma que é desviada para a zona do azul-violeta e outra que é desviada para a zona do vermelho. A luz com comprimentos de onda maiores é desviada para o vermelho e a luz com comprimentos de onda mais pequenos é desviada para a zona do azul-violeta. O que é que se verifica? O que se verifica quando se vai estudar um espectro de radiação como este é que esse espectro é exactamente o mesmo que se obtém quando se estudam os elementos como o Hidrogénio, o Hélio... aqui na Terra. Portanto, a primeira conclusão, que é interessante, é a de que encontramos, nas galáxias mais distantes, a mesma matéria e o mesmo tipo de elementos químicos. Cada elemento químico tem um espectro, um conjunto de riscas, como um código de barras dum produto de supermercado. O que nós verificamos é que os códigos de barras são exactamente os mesmos. Os elementos que estão nas galáxias distantes são os mesmos que estão aqui na Terra. Isso dá-nos uma certa ideia duma unidade do universo.

O segundo ponto é o de que as riscas estão todas deslocadas para o vermelho, para os comprimentos de onda maiores. Imaginem que tenho um elemento na Terra, e que tenho uma risca algures nesta chapa. Quando estudo a luz que vem da galáxia essa risca aparece desviada. E aparece desviada para os grandes comprimentos de onda. O espectro é o mesmo mas

está todo deslocado para grandes comprimentos de onda. Qual é a explicação disso? A explicação mais simples tem a ver com o efeito Doppler e que diz o seguinte: se a fonte que emitir a luz com velocidade c se estiver a afastar com velocidade v medimos um comprimento de onda diferente. Esta fórmula do efeito Doppler, $\lambda' = \lambda(1 + v/c)$, mostra que o comprimento de onda vem maior se a luz se estiver a afastar: há um desvio para o vermelho. Isto deu-nos a ideia de que, quando se estudam as Galáxias longe de nós, elas estão a afastar-se. O Hubble foi mais rigoroso e estabeleceu a relação quantitativa entre o afastamento das Galáxias e a distância a que elas estão. Evidentemente que nós não medimos a velocidade. Medimos o desvio para o vermelho e interpretamos aquela fórmula anterior. O que o Hubble disse foi que a velocidade (v) de afastamento crescia e era directamente proporcional à distância (d). A relação de proporção é a constante de Hubble (H), muito importante na astrofísica e na cosmologia.

Só uma curiosidade: quando o Hubble fez as suas medições, em 1930, o que realmente tinha era um molho de galáxias, as que se conseguiam observar e as mais perto. Os telescópios não tinham a potência que têm hoje. Ele observou um molhinho de Galáxias e disse que havia uma relação linear. Devo-vos dizer que ele não tinha dados para dizer que a relação era linear. Apenas teve sorte. Depois continuou-se a medir, e só hoje é que

se pode dizer que a relação é linear. Mas a prova de que ele não podia estar a medir bem é que ele mediu a constante e esta estava errada por um factor de dez: era 500 e agora é 50 (vezes umas unidades esquisitas que não interessam para aqui).

Enfim, a grande aposta de Hubble foi a de que $v = H \cdot d$. Daqui resulta a ideia dum universo em expansão. Vou explicar melhor o que é a ideia dum universo em expansão: quando medimos qualquer coisa temos sempre a ilusão infantil de que estamos no centro do mundo. É evidente que olho à volta e digo: Onde está o centro? O centro está em mim. Todos nós somos um centro. Todos temos a mesma noção e se pensarmos em termos de galáxias pensamos que a nossa galáxia é o centro do mundo, quando todas as outras galáxias são o centro do mundo! Realmente, não há centro do mundo. Esta é a ideia do princípio democrático que há em Astrofísica. Imaginem que eu estou aqui a fazer a minha observação, e, num dado instante, eu meço uma galáxia A a uma distância e uma galáxia B a outra distância. O que é que quer dizer expansão? Quer dizer que, à medida que o tempo passa, as distâncias A e B aumentaram em relação a mim. Aquilo que o A andou é igual à velocidade vezes o tempo que passou. É fácil de ver que o facto de eu ter a constante de Hubble quer dizer que, à medida que o tempo passa, eu vou vendo a mesma figura, mas ampliada. É o que se chama a relação de homotetia. Vocês podem perguntar: O que aconteceria se eu andar para trás? Se eu andar para trás vou vendo figuras cada vez mais pequeninas. Há uma altura em que eu chego a um ponto. Esse é exactamente o ponto que desenhei no início e que é o resultado de eu ter observado que as galáxias se estão a afastar, e que quanto mais longe estão mais ra-

pidamente se afastam, o que me leva à relação de homotetia. Assim, chego à conclusão de que o tempo do Universo é exactamente $1/H$. Quando meço H da linha do gráfico de há pouco, eu sei estimar a idade do Universo. Nós definimos a altura da singularidade inicial e estamos a assistir à expansão do universo. Isto, o desvio para o vermelho, é uma das grandes provas da expansão do Universo.

Mas eu disse que havia uma segunda prova, também muito interessante, mais recente (anos sessenta), da radiação Cósmica de fundo: radiação electromagnética que existe por todo o lado. Isto foi descoberto em 1965 pelos senhores Penzias e Wilson, que não sabiam nada sobre Astronomia, Astrofísica ou sobre a história do universo; de facto trabalhavam em ondas de rádio, e o que observaram foi que nas antenas que eles tinham recebiam radiação que não tinha um emissor específico. Para recebermos a emissão que vem de Monsanto, por exemplo, temos de ter a antena voltada para Monsanto. O que eles repararam foi que, virando a antena para onde quer que virassem, ouviam sempre a mesma radiação de fundo. É evidente que pensaram, como bons físicos, que era ruído de fundo do aparelho e não da própria radiação. Passaram dias, meses, anos a tentar corrigir, até que se convenceram que havia uma radiação de fundo por toda a parte. Como se o nosso Universo estivesse mergulhado nessa radiação. E essa radiação vem de toda a parte numa forma mais ou menos isotrópica.

O que eles mediram foi a intensidade da radiação em função do comprimento de onda. A partir dos primeiros pontos experimentais deles, em 1965, concluiu-se que essa radiação era de Corpo Negro. O Universo era como que um forno, em que havia radiação emitida lá dentro. A radiação do Sol é também de corpo negro. Essa radiação está ligada à temperatura. Se eu estiver muito frio, essa radiação

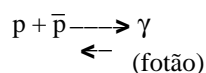
está nas frequências muito baixas, se estiver mais quente a radiação vai aumentando de frequência. A parte interessante é a de que, a partir destes dados, e se interpretarmos isto como a radiação dum corpo, como se o Universo fosse um corpo, a uma dada temperatura, a radiar, como um radiador eléctrico de resistência, que à medida que vai aquecendo vai mudando de cor (há uma relação entre a cor e a temperatura), e usando esta lei, verificamos que temos uma temperatura de 3 graus Kelvin, que é a temperatura de fundo. Penzias e Wilson verificaram ainda que a radiação provinha de todos os lados, o que vem reforçar a ideia que o nosso universo é muito democrático, é igual para todos os lados e não estamos em nenhum local privilegiado. Eu torno a insistir: Havia apenas três pontos no gráfico. É um pouco como a história do Hubble: deduziu-se que a curva havia de ser esta. Para vos convencer da verdade do que lhes estou a dizer, vou-lhes mostrar os dados de 1989 do satélite Cobe.

É espectacular o acordo dos pontos experimentais de agora, que cobrem tudo. A temperatura, de facto, não é 3 K mas sim $2,735 \pm 0,06$ K. Assim, a ideia que temos de que o Universo é isotrópico e que radia como um corpo negro está bastante firme, e isto corresponde à tal singularidade inicial que se vai expandindo, a uma certa temperatura, e que esta temperatura vai baixando. Mas eu já volto a falar nisso.

Só uma curiosidade, que aproveito para contar já: nós podemos medir, através destas curvas experimentais, a densidade de radiação no Universo. Ou, se quiserem, para quem sabe, é a densidade de fotões. O Einstein disse que as ondas electromagnéticas têm fotões, e eu posso contar quantos fotões há e obtenho um número. Eis o número de fotões por litro no universo: 550 000. Posso também contar matéria: protões, neutrões, pessoas, árvores, galáxias,

estrelas... coisas mais para o pesado. Se contarmos esse tipo de matéria, o número que dá é dez levantado a menos três, por litro. Assim, o Universo está muito cheio de radiação e tem pouca matéria. Se quiserem, a quantidade de ondas de radiação de fundo por quantidade de matéria é um factor entre dez levantado a nove e dez levantado a dez. Isto é um dos mistérios da criação: porque é que há tanta radiação e tão pouca matéria. Eu devo-lhes dizer que este mistério seria mais simples se não houvesse matéria nenhuma. Pois se não houvesse matéria nenhuma nós perceberíamos o que se passou. Sempre que há matéria e anti-matéria existe uma tendência para a matéria e a anti-matéria se aniquilarem e produzirem radiação. Quando tenho uma temperatura muito alta isto tanto pode ir num sentido como no outro: quem sabe química sabe que as reacções podem ocorrer para a direita ou para a esquerda, mas depende da energia à disposição. Se houver energia que chegue, isso tanto vai para um lado como para o outro, mas o que acontece é que com o universo em expansão, a temperatura baixa e a reacção dá-se num só sentido. Portanto, o que é que quer dizer eu ter tanta radiação?

Imaginem que isto é um protão (p) e isto um anti-protão (\bar{p}).



Eles todos se foram aniquilando. Por cada 10 levantado a nove protões ou unidades de matéria sobra-me 1 protão que não foi aniquilado. Portanto, no fim, eu tenho dez levantado a nove mais radiação do que protões, ou dez levantado a nove mais fotões do que protões. Portanto, o grande mistério não é porque é que há tão pouca matéria, mas sim porque é que a quantidade de matéria não é mesmo zero, ou seja porque é que o universo não é simé-

trico e não se aniquilou tudo? Sabem qual a consequência? Nesse caso só haveria radiação e fotões e não haveriam protões, nem neutrões, nem matéria, nem Terra, nem planetas, nem astros, nem galáxias. Não haveria nada. Nós existimos graças ao pequeno nada que ficou. A Vida é feita de pequenos nada, como diz Sérgio Godinho...

Voltemos ao nosso fio da meada, que é a ideia de andar para trás no tempo na expansão: as distâncias, medidas em comprimentos de onda, vão diminuindo; as temperaturas vão subir, numa relação que tem a ver com o inverso do comprimento de onda; a energia (energia do corpo negro) vai subir com T levantado à quarta potência. A conclusão inevitável, segundo a informação que temos hoje, é a de que no início tenho um universo muito concentrado, com as distâncias a tender para zero. É um Universo muito denso, a energia tende para infinito, tal como a temperatura tende para infinito.

Portanto, a ideia que tenho é a de que quando este Universo muito concentrado se começa a expandir, a temperatura vai baixando. A radiação com a temperatura de 3 K é o que resta da radiação a temperaturas extremamente elevadas, um fóssil do que resta do período inicial. O que é que acontece à medida que vou andando para trás no tempo? (ver Fig. 7). A temperatura vai aumentando. Reparem agora na relação entre as temperaturas e as energias de ligação: como sabem existem estruturas, como a molécula, porque existem energias de ligação que asseguram que a molécula seja tal como ela é. O que acontece se puser a molécula ao lume? Começo a ter um jogo entre a ligação que quer manter os átomos todos juntinhos e a temperatura que quer separar os átomos. À medida que ando para trás no tempo vou tendo esta luta entre a ordem e a desordem. A temperaturas baixas a ordem domina e a temperaturas altas

tenho a agitação térmica que não deixa as coisas estarem bem ordenadas. É como ter um exército, em que a baixas temperaturas tenho os soldados muito bem alinhados, mas se tiverem passado pela tasca e bebido uns copos, o exército deixa de estar bem ordenado. Se quiserem, outro exemplo simples: considerem uma substância magnética, paramagnética ou ferromagnética, em que existem uns spins dentro da substância, e existe um campo magnético exterior, que tende a alinhar os spins pela mesma ordem. Se a temperatura for muito alta ganha a desordem. Se a temperatura for baixa, e abaixo duma certa temperatura crítica, tenho uma certa estrutura.

Quais são as forças e energias que nos interessam? Vou falar só de três, embora os físicos digam que existem quatro. A pequenas escalas o que domina é a força nuclear forte. É o que tem a ver com as estruturas dos núcleos, o que tem a ver com os protões, neutrões e as trocas entre estes. Tem a ver com estabilidade em toda a física nuclear.

A médias escalas tenho o domínio da força electromagnética. A química e a biologia são todas controladas pela força electromagnética. A física da matéria condensada, os átomos e moléculas, a electrónica, etc, têm a ver com esta força.

A grandes escalas, como nós sabemos, domina a força gravitacional. O que mantém a Terra a girar à volta do Sol é a força gravitacional, o que explica as estruturas das galáxias, etc, é a força gravitacional.

Estas são as forças da ordem. Se quiserem ter a noção de como isto actua, teremos este resumo de tudo. Vejam o universo, e comecemos a baixar de escala (fazer zoom): vemos a nossa galáxia, depois o sistema solar, num cantinho fora do seu centro, depois a terra, pintada a azul por causa

da água. Olhando para a água vemos as moléculas de H_2O , e continuando a olhar passamos da molécula ao átomo. Tenho aqui o átomo de Bohr, com o seu núcleo atómico e os electrões a andar à roda. Aqui tenho a escala do átomo: dez levantado a menos oito centímetros. Olhando agora para o electrão, a partícula elementar, vemos que este não mostra estrutura. Ainda não se viu nada lá dentro. Mas se olharmos para o protão ou para o neutrão, que constituem o núcleo do átomo, verificamos que existem lá dentro outras partículas: os quarks. Hoje em dia, para os físicos de partículas, as entidades básicas da matéria são os quarks e os electrões.

Quando andamos para trás no tempo vamos passar para um universo mais pequeno. Hoje em dia o nosso universo é controlado pela gravitação, (em grandes escalas, portanto) mas, à medida que vamos andando para trás no tempo, vamos entrando em zonas que são dominadas por outras interacções, até que chegamos às zonas que são dominadas pelas interacções fortes. É por isso que, hoje em dia, a física de partículas e a astrofísica são muito parecidas. Temos a física dos aceleradores, que olha para objectos cada vez mais pequenos, e temos os telescópios que olham para coisas cada vez maiores, e a ironia é que, devido à existência do Big Bang, o andar para trás no tempo corresponde a passar do infinitamente grande para o infinitamente pequeno.

É por isso que podemos escrever uma história do Universo. É possível fazer esta história jogando com a hierarquia das forças e com o jogo entre a ordem e a desordem.

Começamos pelo fim. Cá estou eu, as pessoas, as árvores, os planetas, etc. Tenho aqui duas escalas, uma de tempo e uma de temperatura. Repa-

rem que quando ando para trás no tempo a temperatura tende a aumentar, pois as energias e as frequências aumentam. Eis o instante inicial. O tempo vai correndo... e a temperatura, muito alta no início, vai baixando, até aos 3 K hoje em dia. Aqui tenho o domínio da gravitação. Se começo a andar para trás chego a uma altura em que a energia térmica é superior à gravitação. Não é possível fazer estruturas, porque a agitação térmica leva-me a que eu não consiga formar estruturas em grande escala. Andando mais para trás começo a ter átomos e moléculas, e ainda mais para trás começo a destruir os átomos e as moléculas. Portanto o jogo é sempre este: tenho estruturas, que a partir de certa altura vão sendo destruídas. Aqui tenho a formação dos núcleos atómicos, a chamada nucleossíntese, em que se formam os núcleos de Hélio e de Hidrogénio, mas se aumentar a temperatura isto desaparece. No fim tenho apenas a força de interacção forte: a que existe dentro dos próprios núcleos atómicos. Isto é uma espécie de Química do Universo!

Só para vos dar uma ideia do que nos diz a teoria: coloquemo-nos na época dos primeiros microssegundos depois do instante inicial. A uma temperatura baixa tenho uma organização. Os protões têm uns quarkzinhos dentro e cada protão está separado um do outro. Há uma certa organização. Se a temperatura é muito grande, acima da chamada temperatura de confinamento, os meus quarks libertam-se, e tenho o que se designa por um plasma, com quarks e gluões. É sempre o mesmo tipo de argumento. Tudo nesta sala está organizado desta maneira, em protões, neutrões, etc. Se a temperatura for muito elevada e chegarmos à temperatura do começo do Big Bang, eu tenho o desconfinamento ou desorganização dessa matéria. Isto é uma coisa que não se sabe. Experimentalmente ainda não foi observada. Hoje faz-se, no

CERN (mais uma vez a Física do muito grande e do muito pequeno encontram-se), aquilo a que se chama o “Little Bang”: Fazer colisões tão intensas que, localmente, posso criar regiões de energias tão densas e com temperaturas tão altas que tenho o desconfinamento, ou seja aquelas estruturas desorganizam-se todas e, em vez de protões e neutrões tenho quarks livres, obtendo o plasma de quarks e gluões. Ora isto são cálculos teóricos. A temperaturas muito altas tenho os quarks livres, depois tenho uma certa transição de fase a uma certa temperatura, e depois tenho as partículas normais.

O que é interessante é que tenho uma escala da ordem do dez microssegundos. Para aqueles que leram o livro do Weinberg “Os três primeiros minutos”, o que ele conta é que ao fim desses três primeiros minutos deu-se a formação dos átomos e moléculas, portanto a neutralização das cargas eléctricas, e a altura em que ficou livre aquela radiação de fundo. O que eu estou a falar é nos primeiros dez microssegundos. Estou a olhar para muito mais para trás no tempo. Qual a grande diferença em relação ao Weinberg? A diferença é que a radiação de fundo que aparece ao fim dos três primeiros minutos foi detectada, sabemos exactamente que isso existe, e quanto ao plasma, quarks e gluões nós não temos a certeza da sua existência. Falta-nos esse fóssil do começo do Universo.

Eu não vos queria falar mais para trás. Quase todos os livros que a Gradiva e outras editoras (não quero fazer publicidade só à Gradiva) produzem falam muito da história do Universo e disto de que eu falei. Gostaria de falar de coisas diferentes. Prever o passado é fácil, mas prever o futuro é que é difícil. O que é que podemos dizer?

Como vos disse atrás, se estiver sentado na nossa galáxia estarei a ver as outras galáxias todas a afasta-

rem-se. E quanto mais afastadas estão de mim maior será a velocidade com que se afastam. E depois? Não tenho bem a certeza. Estamos num universo que se vai expandir sempre ou estamos num universo em que as distâncias voltarão a diminuir (ou seja, que se expande e depois encolhe)? Esta é a primeira pergunta, e que tem uma resposta muito fácil. É um problema que todos vós podem resolver: é o problema de atirar uma pedra ao ar.

Quando se atira uma pedra ao ar é preciso ter duas coisas em conta. A primeira é a energia cinética com que a pedra é lançada, e a outra é a energia potencial: a pedra tem tendência a cair. É o caso normal. Mas se eu quiser colocar um foguetão no espaço ele sobe e não volta. Isto tudo depende da energia cinética, ou seja da velocidade inicial com que eu lanço o foguetão. Existe uma velocidade limite, cerca de 11 km/s, com a qual, se o foguetão tiver essa velocidade ou uma superior ele sai e não volta. Ele escapa-se à influência da Terra.

Este problema da expansão do Universo tem exactamente as mesmas duas soluções. A expansão corresponde ao foguetão, ou seja, a energia cinética é tal que a expansão vai continuar, mas se a energia cinética não for suficiente ele voltará para trás. Onde é que nós estamos? Esse problema leva a grandes discussões, e o que realmente interessa é a medição da quantidade de matéria no universo. Eu quero saber qual a importância da força gravitacional. A gravitação depende de quanta massa lá está. Tudo tem a ver com a densidade de matéria no universo. É uma das quantidades mais importantes, que é preciso medir com cuidado.

Hoje em dia a densidade de matéria é pouca, pelo que a maior parte dos astrofísicos acredita que estamos num universo em expansão. Mas, por outro lado, temos a noção de que ainda não medimos a matéria toda no universo. Existe a chamada matéria

escura, que é matéria que não é detectada directamente mas que é necessária nos cálculos gravitacionais. Por isso, pode haver uma densidade de matéria muito maior, e a força de gravitação ser maior. Veremos o que acontece num caso ou noutro.

Devo-lhes dizer que é um problema complicado pois se há retorno a temperatura vai aumentar; se não há retorno a temperatura vai continuar a baixar. Por isso, temos uma certa dificuldade em resolver o problema da nossa existência nas condições dum universo em expansão. Aliás quer seja em expansão quer seja em contracção. O problema interessante é saber se a humanidade tem um futuro ou não. Podem imaginar um universo cada vez mais em expansão, em que a temperatura vai baixando cada vez mais. É um bocadinho o problema, famoso no século passado, da morte térmica do universo. O outro caso é o da contracção. Não vejo como poderemos viver num pontinho semelhante ao que desenhei de início. Teremos todos de viver ao molho, pior do que no Técnico.

Sejamos realistas: o primeiro ponto é que é preciso sair da Terra. Não tenham dúvidas nenhuma. Porquê? A Terra é um parasita do Sol. Vivemos na Terra, temos uma estrutura e uma Terra bonita porque o Sol está a fornecer-nos constantemente energia e entropia. Simplesmente o Sol, como qualquer estrela, não dura para sempre. A estabilidade do Sol vem dum certo equilíbrio entre a atracção gravitacional e as reacções nucleares, que criam gases com pressões que compensam a gravitação. É o equilíbrio entre a gravitação e essas pressões que mantém a estabilidade do Sol. O Sol, como qualquer estrela, vai desaparecer, e estima-se algo como dez levantado à décima anos como a duração do Sol. Podem pensar: “Bom, ainda falta muito”, mas nós temos de resolver problemas complicados, e agora será uma boa altura para se pen-

sar neles.

Primeiro: temos de começar à procura de outros sistemas solares. Acho interessantíssimas todas as descobertas dentro do sistema solar, acerca de Marte, Neptuno, etc, mas para o caso que estou a tratar, a grandes escalas, não nos adianta muito, pois todos dependem do Sol. Temos de sair do nosso sistema solar. É evidente que isso levanta problemas complicados de transporte. Como sabem, existe uma velocidade limite da luz, e para me deslocar de um objecto para o outro à distância de anos-luz levar-se-á gerações, que se vão renovando pelo caminho para chegar ao fim da viagem.

O outro problema é talvez o mais interessante, e poderá começar a ser desenvolvido, é o recurso a estações orbitais. Ou seja, ir fazendo as grandes viagens a pouco e pouco. A próxima estação a ser lançada vai ser a estação orbital ALFA. Podemos imaginar um futuro em que vamos estar cheios de estações orbitais, de vãos interplanetários. Esse será o passo intermédio.

É um projecto mundial, que mete os EUA, a Europa, as Chinas... Portugal também está metido. Temos prevista uma experiência, o “Alpha Magnetic Spectrometer”, para medir as radiações cósmicas. A estação internacional estará no espaço em 2002. Uma das zonas maiores é onde vão viver os astronautas.

Ora isto é uma primeira solução. Penso que temos de ir para o espaço. Mas temos o problema de ter de sair da Galáxia, e isso é complicado, devido às distâncias e ao tempo que demora. O futuro está no espaço, não há grandes dúvidas, e o problema que se põe, penso eu, é muito parecido com o que se pôs no século quinze. Eis a Terra, com o centro da Europa, Portugal, e o problema que se punha era o

de colonizar o espaço que havia. Nós agora temos um problema parecido. Estamos aqui no centro, e temos um universo todo que não está colonizado.

De modo algum temos informação como tínhamos do Marco Polo, e do Prestes João, mas temos a informação dos telescópios, etc., mas a exploração do espaço é algo que está por fazer.

Uma questão que se pode pôr é o que é que vamos encontrar. Aí as opiniões dividem-se. Há os que acham que há só uma única humanidade inteligente, que é a nossa (partimos do princípio de que a nossa é inteligente...); há outros que acham que existem outras humanidades, outros seres inteligentes. Por exemplo, existe uma pintura muito célebre de Miguel Ângelo, da Criação, que podemos imaginar como o de uma humanidade mais inteligente a estabelecer o contacto com uma humanidade menos inteligente. Esta é a minha pequena homenagem ao Carl Sagan.

Portanto, temos de sair para o espaço. Iremos encontrar outras humanidades? Pessoalmente não sei.

Acho mais interessante que não haja, pois é um problema mais interessante de resolver. Outro problema: Sobre tudo no caso do universo em expansão. Confesso que se o Universo se retrair não sei como resolver o problema da vivência num fogareirinho, o ponto inicial. Mas creio que, duma maneira ou de outra, nós precisamos de criar novas formas de vida. Somos seres que vivem a trinta e seis graus, com estruturas extremamente complexas: carne, ossos, dentes... somos seres energeticamente muito desfavorecidos. Do ponto de vista Darwinista, não estamos preparados para viver num universo em expansão. Temos de criar novas formas de vida que não exijam temperaturas tão altas nem estruturas tão complexas.

Sem querer ofender os químicos e biólogos presentes na assistência, a definição de vida pode não ter nada a ver com a química nem com a biologia que conhecemos, pois na definição de vida entra a capacidade de se adaptar, de se reproduzir, de assimilar. A forma como nós a conhecemos é com base na química, nas macromoléculas, no DNA, mas real-

mente a definição de vida não precisa disso. Posso dar uma definição formal de vida, e posso imaginar outras vidas formadas com electrões e neutrinos, por exemplo. Não me peçam um modelo, pois não sou capaz de o dar, mas podemos imaginar outro tipo de estruturas que não tenham problemas com a temperatura, que não tenham ossos para partir, que não tenham carne pesada, etc. Existe esse outro tipo de problemas, mas temos tempo para pensar neles: dez levantado a vinte anos.

Assim, o que há para realizar: a saída do Sistema Solar, para o qual precisaremos dez levantado a dez anos; a criação de novas formas de vida; mas talvez o mais importante seja preservar aquilo que temos. Sem isso não poderemos ir mais longe. Já agora quero lembrar-vos o que é a Terra: eis a Terra, versão da NASA. Terra que é o nosso ponto de partida, mas que não será o nosso barco final. Mais tarde ou mais cedo teremos de mudar de barco, mas para já temos de o manter. Espero que estas imagens finais levem a pensar e a imaginar que temos certos limites, e, por outro lado, que temos de ter os pés assentes na Terra. E este é um problema para já. Dez levantado a zero anos ...



*“Missão: DESCRIVER SENSACIONES
Impossível. Não há palavras suficientes.
Sensações não se descrevem.
Como dizer que o chão se abre sob os meus pés,
Que a grandiosidade da Terra-Mãe faz-me sentir
todo o seu peso e pressão,
Que no seu ventre sofro o vazio e a compacidade,
O frio na alma e o quente no cérebro que explode,
Como dizer que sinto os sismos em cada poro,
Como dizê-lo sem chorar pela calma que
já não tenho, e dizer que as palavras
não chegam para te mostrar o meu desespero?”*

P.