

PULSAR

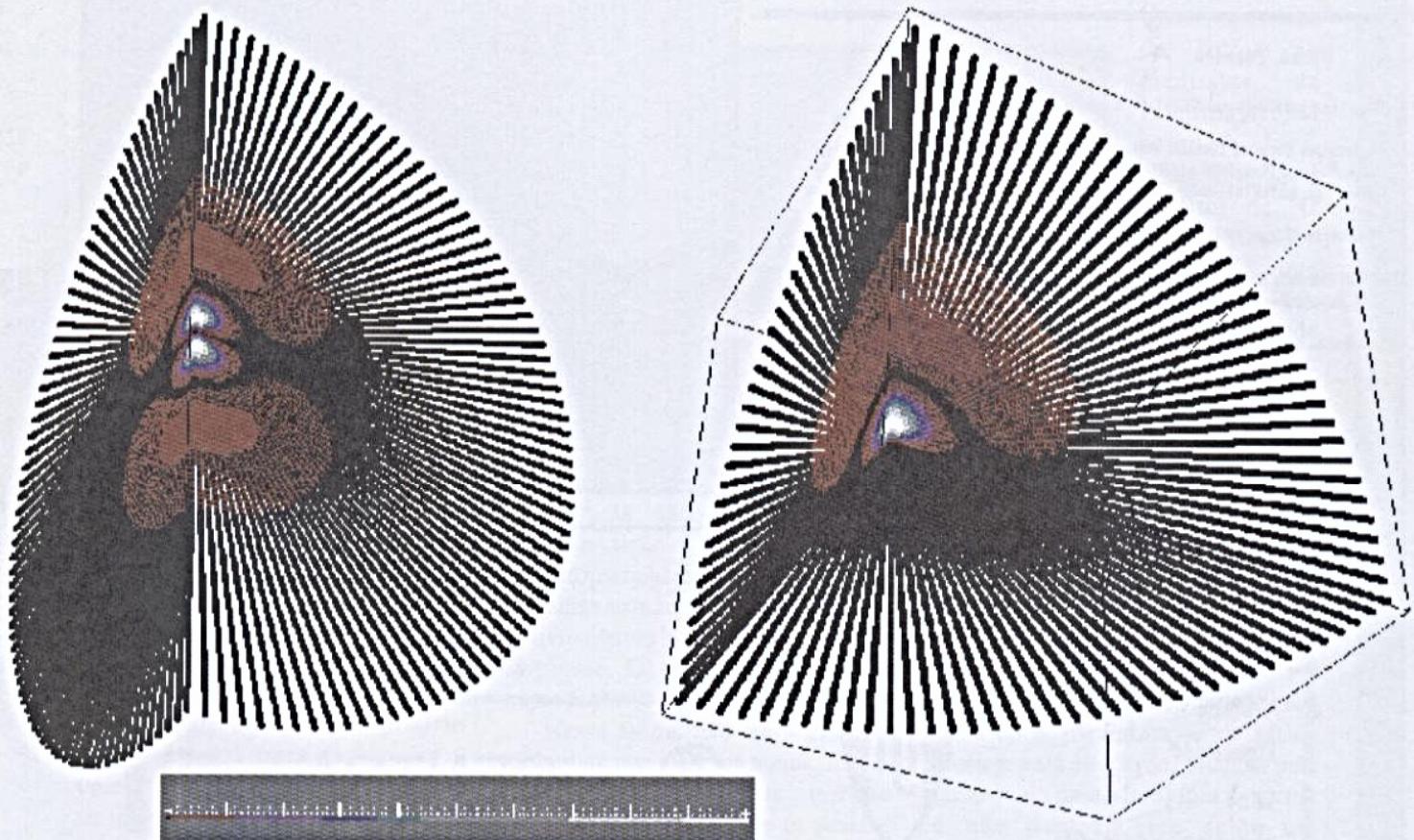
Jornal dos Estudantes de Engenharia Física Tecnológica - LEFT IST

Maio de 2000

NÚMERO 15

ENTREVISTA COM O PROF. CARLOS FIOLHAIS

MECÂNICA QUÂNTICA COMPUTACIONAL



VISITAS À NOVA E À VELHA LEFT

SOBRE O GÁS NATURAL

**4^a Semana da
Física**
NFIST

2 a 5 Maio
Centro de Congressos
Palestras
Exposição
Astronomia

Sumário

| | |
|---|--------|
| - Entrevista com o Prof. Carlos Fiolhais <i>Conduzida por: Maria Lerer e Nuno Moraes</i> | pg. 3 |
| - Mecânica Quântica Computacional e conclusões para a vida <i>Rafael Patrício</i> | pg. 12 |
| - Reestruturação da LEFT | pg. 16 |
| - LEFT Revisitada | pg. 17 |
| - Sobre o Gás Natural <i>João Paulo Costa</i> | pg. 18 |
| - Espaço Cultural <i>Poema e B.D.</i> | pg. 19 |
| - Cartaz da 4ª Semana da Física | pg. 20 |

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: +351218419082 e-mail: pulsar@fisica.ist.utl.pt

Coordenação Geral: Nuno Luis Barbosa Moraes

Revisão: Gonçalo Marques, Bruno Nobre, Nuno Moraes, Pedro Assis,
Susana Custódio, Teresa Monteze.

Colaboração neste número: Professor Carlos Fiolhais, Maria Lerer, João Paulo Costa,
Rafael Patrício, Susana Castro, João Vasco Gama (Dilbert),
Hugo Gomes (obrigado pelo título!).

Arranjo Gráfico: Pedro Assis **Tiragem:** 500 exemplares

EDITORIAL

Caro(a) leitor(a),

E vão 15... Retoma-se a assiduidade perdida, com a mesma imagem mas com uma renovada equipa editorial. Embora renovada, incompleta, enquanto o leque de colaboradores não se estender a todos os Alunos da LEFT. Nesse sentido, saúda-se a recente adesão de colegas do 1º ano a este projecto. Dominarão as "Fichas Técnicas" nas edições futuras...

A saída deste número coincide com a 4ª Semana da Física que este ano tem o melhor cartaz de sempre. Esperamos que o sucesso do evento seja também um factor dinamizador do PULSAR e contribua para "libertar" aqueles que ainda receiam divulgar as suas opiniões, a sua produção científica, os seus dotes artístico-literários ou humorísticos, os seus interesses... O meio científico servilha (como é seu apanágio), o Técnico cria novos Cursos e reestrutura outros, as Universidades não têm dinheiro, os Alunos da LEFT discutem sobre a P10 e as cadeiras que dão muito trabalho inútil. Há muito para divulgar, muito para debater, muito com que gozar: muito sobre o que escrever.

Na presente edição, tentamos diversificar: introduz-se uma nova e "caseira" vertente humorística, apresenta-se uma grande entrevista, mostra-se um pouco do trabalho curricular de colegas, publica-se mais uma obra de uma já reputada poetisa da nossa praça e, é claro, abre-se a cortina para mais uma Semana da Física.

Assim, leitor(a), deixamos-te estas páginas, com a certeza de que nelas encontrarás motivos de interesse mas ficarás com a sensação de que o melhor PULSAR ainda está para vir. Queres ajudar a fazê-lo?

A Redacção.

Patrocinado por:

documentação & informação física & científica

Júlio

Logrado de

Figueiredo

Lda

Rua António Pereira Carreira 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: jfig@individual.psnug.pt



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO
CFN
CENTRO DE
FUSÃO
NUCLEAR



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

GOLP
grupo de lasers e plasmas

O Prof. Carlos Fiolhais dispensa grandes apresentações. Professor Agregado da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, é um dos mais profícuos cientistas nacionais, contando já com cerca de sessenta artigos publicados em revistas científicas internacionais, numerosas traduções e revisões e mais de uma dezena de manuais e livros de divulgação¹. O autor de "Física Divertida" e "Universo, Computadores e Tudo o Resto" (Gradiva) é aliás um dos nossos mais eminentes divulgadores. Vimo-lo mostrar isso numa brilhante palestra sobre Física Computacional na ICPS² de Coimbra. Foi durante a Conferência que nos recebeu no seu gabinete e partilhou connosco sensibilidades e experiências.

SAPOS, ROCHAS E COMPUTADORES

Pulsar: Quando é que lhe nasceu o gosto pela Física? Porquê a Física? Remontará à infância, talvez...

Carlos Fiolhais: Mais na adolescência porque, nesse tempo, não havia ciência na escola primária. Agora, felizmente, já começa a haver. Por exemplo, o nosso projecto "Ciência a Brincar", CAB, ensina ciência às crianças ao mesmo tempo que estas aprendem o ABC. Começa-se mais cedo. Tenho um filho de 5 anos que já faz experiências. E, como a figura do Einstein está na caixa das experiências, ele julga que o Einstein fazia experiências...

Há progressos em relação ao meu tempo. Eu na escola primária não fazia ideia quem era o Einstein nem fazia experiências. No Liceu... Nas actuais Escolas Básicas e Secundárias a ciência aparece de uma maneira diferente de outrora. Eu próprio escrevo livros para as escolas e procuro contribuir para que a ciência surja de um modo mais atraente. Devo confessar que a ciência não era muito atraente quando eu andava no liceu. Se vos mostrar o primeiro livro por onde estudei Física, podem comparar com os livros que agora escrevi...

P: Que idade tinha?

CF: 13 anos. Ainda me lembro que aquilo começava com o Newton mas, de facto, não era atraente. Mas eu não acreditei que aquilo fosse tão aborrecido como isso. Lembro-me que havia um programa na rádio, em que pediram redacções com biografias de cientistas e eu escrevi qualquer coisa

engraçada sobre o Newton. Pensava que ia ganhar. E comecei a aprender as lições da vida. Ouvi a rádio... e não ganhei. Fiquei aborrecido, porém, porque reconheci aquela prosa. "Eu já ouvi esta coisa nalgum lado..." Fui ao meu livro de Física e era tal e qual. O "tipo" tinha copiado o livro e mandado. Escrevi logo à produtora a dizer: "Isto é uma fraude!" E ela respondeu: "Tem razão." Já não podiam tirar o prémio que tinham mandado ao outro. O livro não era bom mas havia quem o copiasse. O ensino convidava à reprodução.

Nessa altura, não era a Física a disciplina que mais me atraía. Talvez as Ciências Naturais porque dissecávamos os sapos e os peixes. Lembro-me que havia um funcionário que ia ao mercado, trazia um peixe e a gente cortava-o. Uma recordação que fica, muito forte, é o acto de mexer. Eu lembro-me do peixe, com o olho grande a olhar para nós... E mesmo os minerais, o professor pegava num mineral brilhante: "Que mineral é este?" E a gente, só pelo brilho (ele escondia-o logo): "Galenite!" ou "pirite!" (que aquilo era tudo em "ite"). Eu achava mais interessante as Ciências Naturais do que a Física. Depois a coisa mudou um bocadinho nos últimos anos do

liceu, até por várias leituras que fiz. Lembro-me dos livros do Rómulo de Carvalho que davam a outra face da ciência, lembro-me de livros de cientistas, de Prémios Nobel como o J. J. Thompson, que é o autor de "O Electrão", um livro de bolso que custava 10\$00. Teve um grande impacto em mim porque o electrão não se dava muito na Física da escola. Era tudo Física Clássica (o problema é que ainda hoje é!). A gente ouvia falar

no electrão fora da escola, na escola só na Química. Quanto ao núcleo, quase não se falava nisso! Isto foi nos anos 60 e 70. Falava-se de Física Nuclear e até mesmo de Partículas (não tanto como hoje, claro) fora da escola e não dentro. Tive então um pressentimento: "Isto deve ser mais interessante do que a escola mostra". Também tive alguns bons professores nos últimos anos do liceu. Quando entrei para a universidade... foi uma descoberta! Começámos logo no 1º ano a estudar Física Moderna e concluí que até era mais interessante do que eu supunha. Tive, pois, a sorte de ter intuído no liceu que havia ali um mundo a descobrir e... ainda há. É um mundo que está ao nosso alcance, é um mundo



que espera por nós, que espera por vós.

O assunto que me atraiu a mim, na altura, foi a Física Nuclear, em particular o mistério associado à energia no núcleo. Depois de ter acabado o curso, levado pela ideia de investigar o núcleo, fiz o doutoramento em Física Nuclear. Agora o núcleo passou um bocado de moda e eu reconvertei-me. Deixei de ser físico nuclear, estudo "agregados" (coleções de átomos). A mecânica necessária para os descrever é exactamente a mesma para os núcleos, a Mecânica Quântica! A colecção de coisas muito pequenas (protões e neutrões) é descrita pelas mesmas leis, pelas mesmas equações, que a colecção de coisas maiores que são os átomos. Portanto, a Física é uma grande escola! Aquilo que se aprende num lado, serve outros lados. Uma pessoa pode mudar de assunto, sem mudar de método, sem perder o que fez antes.

P: Disse que no liceu era mais atraído pelas coisas que se apalpavam, que se viam... Como é que passou para a teoria, então?

CF: Bem, as experiências que fazíamos em Física não eram tão interessantes como aquelas dos sapos e dos peixes. Da Física, as coisas de que mais me lembro eram umas balanças onde punhamos umas massas de um lado e do outro... Se querem que vos diga, não percebia muito bem o que é que aquilo tinha a haver com os electrões e os núcleos. De modo que havia uns trabalhos práticos de Física desinteressantes. Os de Química já eram muito mais engraçados: Havia explosões... Além disso, trabalhos manuais é capaz de não ser o meu forte. Se alguma coisa lá em casa se estragar não sei arranjar (bem, para colocar uma lâmpada ainda chego...) Ainda tentei fazer umas experiências caseiras de electricidade mas conduzindo apenas a que os fusíveis rebentassem. Percebi logo que a minha vocação não era a Física Experimental e descobri que a Física Teórica era uma possibilidade. Mais recentemente descobri uma terceira via. Há quem diga que, entre dois caminhos, se deve escolher o terceiro. Ou "faz tu um caminho", que é uma coisa ainda melhor. "Entre dois caminhos, vai tu por outro e vê se vem

mais gente atrás de ti." O terceiro caminho não fui eu que o descobri, foi muita gente que aproveitou um instrumento novo - o computador - que permite fazer experiências de uma outra maneira: fazer experiências simuladas...

P: Conceptuais...

CF: Não são bem conceptuais porque não são pensamento puro, existe hardware. O computador é um objecto que serve para suportar as nossas ideias. Einstein revolucionou a Física com o pensamento puro. A Física Computacional é, de certo modo, uma revolução que está a mudar a Física devido ao acesso a um novo instrumento. E eu então agora prefiro explorar esse instrumento que proporciona um meio caminho entre teoria e experiência. Substitui por vezes a teoria, complementa sempre a teoria, substitui por vezes a experiência, complementa sempre a experiência. Portanto, comecei como físico nuclear teórico e agora sou físico computacional da matéria condensada.

P: Está quase a voltar à experiência...

CF: Estou mais perto! Bem, a Física sem a experiência não existe. Todas as simulações que uma pessoa faz no computador, mesmo todas as teorias ou modelos que uma pessoa pode fazer sem o computador devem ter a ver com a realidade. Têm esse julgamento, sempre, que é a comparação com a realidade. O que distingue a Física da Matemática e das outras ciências é que a Física tem um juízo implacável que é... fazer uma experiência real e saber se o resultado concorda com o nosso modelo teórico ou computacional. Se estiver, acertamos, se não, temos que continuar a tentar.

P: O Professor deu [na palestra da Conferência] o exemplo da estrutura prevista para um metal sob pressão que não se verificou...

CF: Não se verificou até agora. Mas se continuarem os testes... A questão é simples. Certos metais, chamados simples (como o alumínio), devem mudar de estrutura sob pressão. A simulação feita no computador diz que mudam de estrutura. Algumas dessas mudanças não foram ainda vistas experimentalmente... Esta falta de acordo é apenas temporária. Ou está a teoria certa (como nós, teóricos e

computacionais, supomos que está) e a experiência há-de-a confirmar um dia (é uma questão de apertar mais, de comprimir mais o metal, uma pessoa tortura-o até ele se declarar vencido e concordar com as nossas previsões) ou, pelo contrário (e nem eu nem os meus colegas ficaremos incomodados por isso, até ficamos satisfeitos), a experiência diz que não, que o que foi previsto não existe e então temos que ver qual é o factor (esperemos que não seja tudo) responsável pelo desacordo. Eu digo que ficamos contentes porque há progresso, aprendizagem. Esta não é apenas uma marca da Física, é uma marca das ciências em geral.

A marca da Física é fazer interrogações sobre o Mundo e comparar as nossas respostas com as respostas que o Mundo dá. A marca mais geral da ciência é reconhecer que nos enganámos. Há outros conhecimentos humanos, pelos quais tenho o maior respeito, que não são científicos. Nem tudo é ciência, não é possível, nem desejável que tudo seja ciência. Mas o que distingue os cientistas, os praticantes de ciência, é que eles reconhecem que se enganam. Imagine isso na política, por exemplo... Não há ciência nenhuma. Ou mesmo na Economia ou nalgumas das chamadas Ciências Sociais (enfim, é preciso distinguir as várias Ciências Sociais), não há o reconhecimento do erro. O cientista é aquele que está preparado para verificar que se enganou e até ficar contente com isso. Há outros indivíduos que não reconhecem o erro (não são cientistas de maneira nenhuma). Feynman, um professor de que vocês gostam e eu também, dizia que o cientista é uma pessoa que está interessada não só em descobrir que se enganou mas também em fazê-lo o mais depressa possível. E, mais do que isso, se descobre um erro, não guarda isso para si. Se uma pessoa encontrou um erro não deve ficar com esse conhecimento para si, deve comunicar aos outros de modo a que o conhecimento seja colectivo. E isso é outra das marcas da ciência, isso distingue a ciência da não-ciência, o que é uma coisa cada vez mais necessária no mundo moderno.

ÉTICA, DIVULGAÇÃO E ENSINO

P: Um pouco no seguimento do

que estava a dizer e que também foi focado pelo Prof. Maurice Jacob: a distribuição do conhecimento, a distribuição da informação. Não há uma certa mesquinhez na ciência? No sentido de não se querer comunicar porque as coisas podem vir a ter interesses financeiros...

CF: A ciência responde a uma necessidade muito prática que é a necessidade de saber mais. Nada pode ser mais prático do que isso porque satisfaz uma necessidade individual e colectiva. Quando se fala em distribuir o conhecimento, a primeira coisa é procurá-lo e eu acho que cada um procura o saber e que isso é inato. Acho que é uma marca do homem... Há pouco estava a dizer qual é a diferença entre a ciência e outras actividades humanas, agora estou a dizer qual é a diferença entre o homem e outros animais. Portanto, as pessoas caracterizam-se por querer saber mais e isso é o princípio e o fim de toda a ciência (não é o fim porque acabe mas é o fim porque é o objectivo da ciência). É isso que motiva a maior parte dos cientistas. Claro que haverá diferentes motivações mas esse é o factor comum.

Mas há outras motivações para a ciência bem mais recentes: as que têm a ver com a aplicação na vida social do saber adquirido pela ciência. De facto, hoje vive-se de maneira diferente da que se vivia na Grécia Antiga ou na Idade Média e a grande diferença vem do conhecimento que se vai tendo do Mundo, vem da ciência. Portanto, nós conhecemos o Mundo e com isso conseguimos transformar as nossas condições de vida nele. Por vezes, esquece-se a verdadeira origem da ciência e há quem pense que ela existe para mudar as condições de vida. Eu direi que isso é um produto, um produto importante, mas não a base da ciência. Quando falamos em mudanças sociais, é claro que não podemos esperar um comportamento científico. Suponhamos que descobri (não descobri nada) um novo método para produzir energia muito barata. Eu, se calhar, porque vivo num contexto social, vou querer guardar e aplicar esse conhecimento num grupo social restrito, não o partilhando com toda a gente. É inegável que existe esse tipo de procedimentos...

P: Especialmente porque quem financia a ciência... O dinheiro tem que

vir de algum lado...

CF: O dinheiro vem das pessoas! Quem paga tudo somos todos nós, os cidadãos. A mim custa-me a perceber quando, por exemplo, vejo um colega que diz: "Sobre isto agora não posso dizer mais porque está uma patente pendente, há já uma empresa interessada...". A ciência é universal, o método científico é praticado da mesma maneira por gente de diferentes culturas. Não entendo que o que é pago por todos, partilhado por todos, possa resultar em algo que vá, por exemplo, agravar diferenças sociais, que vá suscitar ou aprofundar conflitos.

P: Como é que eu convenço a população em geral, a sociedade, de que descobrir a massa do neutrino ou descobrir o bosão de Higgs lhes pode mudar a vida?

CF: Não é simples mas acho que há um trabalho a fazer, que tem de ser feito por todos nós, cientistas, e que é o de comunicar ao público o que fazemos. A ciência oculta não é ciência. A ciência tem de ser aberta, tem de ser comunicada, e muitas vezes nós, os cientistas, não temos feito essa parte do nosso trabalho. Estamos demasiado ocupados com o resto...

P: Mas mesmo revelando que o neutrino tem massa...

CF: Não, vamos lá ver o que é comunicar ciência. Não é escrever equações para toda a gente ver, isso não interessa. O que podemos e devemos contar é que, na história da ciência, houve grandes descobertas com grandes impactos sociais. Por vezes esses impactos foram completamente inesperados! Se eu disser na televisão: "Meus amigos, estão a ver-me nesse ecrã... Mas há cem anos ninguém olhava para um ecrã... Os vossos avós não viam televisão. Quem inventou a televisão? Ou melhor, quem descobriu as ondas electromagnéticas, que hoje nos permitem ver telenovelas? Olhem, foi um físico do século passado - Maxwell - que nunca tinha visto telenovelas, nem sonhava que isso pudesse vir a existir... Não pensou na televisão! O que ele quis foi resolver um problema da Física. Havia uma questão de Física, ligada a umas certas equações... Faltava um termo para aquilo ficar mais bonito... Ele pôs as equações mais bonitas e

conseguiu com isso transformar o mundo." Posso falar também na electricidade, que permite fornecer energia à televisão. Alguém pensou no século passado que era preciso electricidade em nossas casas? Não! Houve um fulano - Faraday - que estava a brincar com uns fios e uns magnetes, tal qual uma criança hoje da escola... Abanou um magnete na frente de um fio eléctrico e viu que isso tinha efeitos. Se tivermos um circuito sem pilha, sem nenhuma fonte de energia, abanamos um íman e passa uma corrente. É isso que nos permite ter electricidade em nossas casas. E muitos outros exemplos poderia dar... E se dermos estes exemplos concretos ao público, ele percebe! Então não percebe que a electricidade... que não se pode viver sem ela? Não percebe que a televisão... bem, a televisão, às vezes, pode-se viver sem ela. Mas a ciência não se pode viver sem ela.

P: Já que estamos a falar da divulgação e visto que tem um cargo directivo na ADCT³... O aparecimento do Ministério da Ciência: em que medida permitiu facilitar o trabalho de pessoas como o professor, no âmbito da divulgação? Nomeadamente no aumento do potencial informático das escolas secundárias e no apoio a projectos de divulgação...

CF: O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) tornou mais visível a actividade dos investigadores. Não há quem se queixe de existir um Ministério de Ciência e Tecnologia. Queixamo-nos é de não estar mais ligado à Educação ou, por exemplo, à Economia. Os cientistas são pessoas exigentes e muitos esperavam mais desse Ministério. Eu pertenço às pessoas que estão sempre a esperar mais... aliás, de qualquer coisa, não apenas do Ministério! Continuo a pensar que há muito por fazer e que...

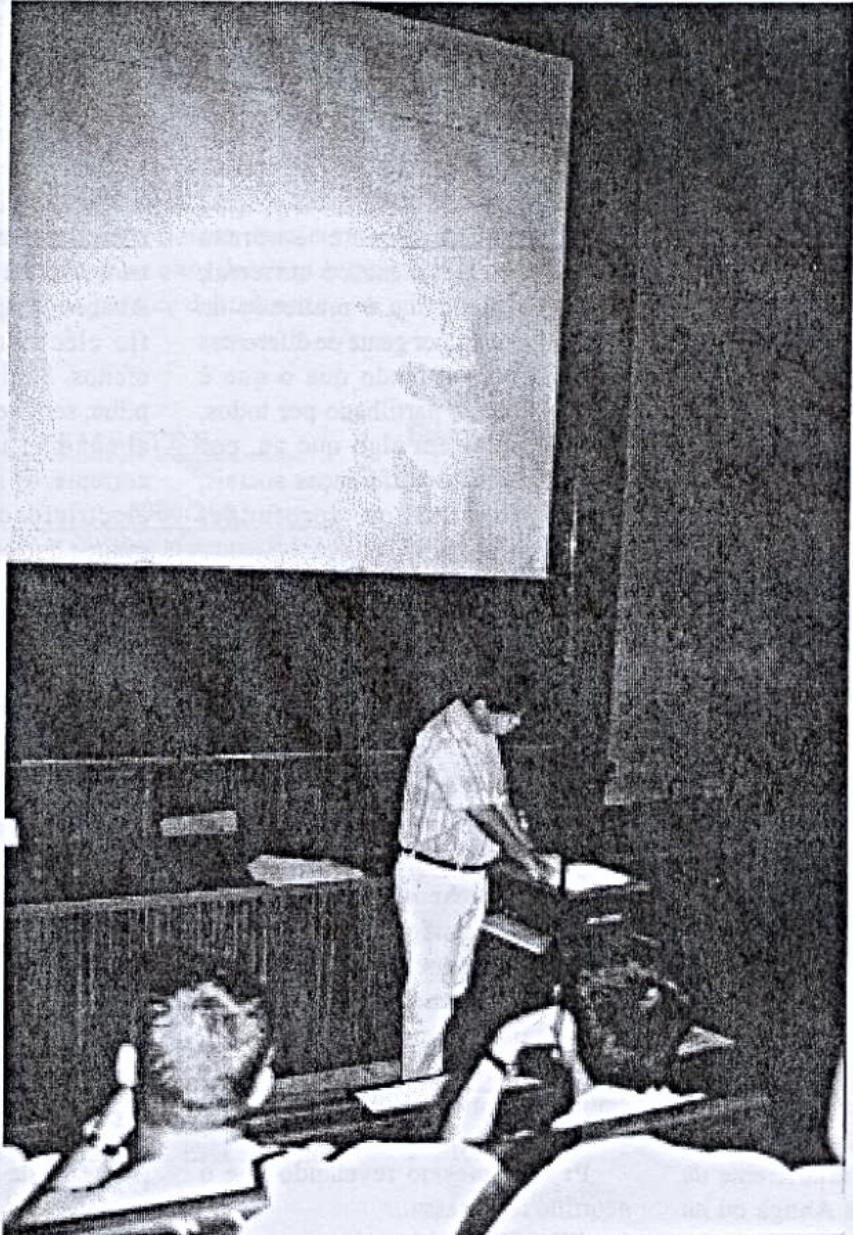
P: É que o orçamento...

CF: Bem, esse é o drama de qualquer actividade. Se se puxa o pano de um lado, arregaça-se do outro. O dinheiro é sempre pouco, o que aumenta a responsabilidade das decisões. Mas, francamente, acho que o nosso principal problema não é a falta de dinheiro. Falta-nos organização, participação, acção...

P: Mas o que é que foi bem feito?

CF: Por exemplo, a ligação das escolas à Internet. Mas falta o resto e eu dou-vos um exemplo concreto: falta colocar boa informação, ciência disponível. Não basta ter um telefone: é preciso ter alguém de um lado e do outro com algo a dizer, alguém a perguntar de um lado e alguém a responder do outro. Eu acho que o Ministério da Ciência e Tecnologia, nesse campo, ainda tem muito que fazer. Apoiou-nos um projectozinho, mas os nossos projectos maiores foram bloqueados pelo Ministério da Educação. Eu acho que temos de ser exigentes: mas, infelizmente, o Ministério da Educação não se caracteriza pela exigência. Queremos dar passos para que a ciência seja cada vez mais relevante, que tenha um papel cada vez maior numa sociedade moderna e queremos dar esses passos rapidamente. Temos muitas expectativas ainda por realizar. A ADCT, a associação de que falou, pode ajudar nisso porque reúne boa parte dos cientistas que querem contribuir para uma maior divulgação da ciência... Com a vossa ajuda conseguí-lo-emos melhor!

P: Muito bem, temos Internet nas escolas... Será que temos professores formados para utilizar as coisas, não só a nível da rede mas também do material científico que chegou às escolas? Vou dar um exemplo. Eu [Maria] estive num liceu que foi pioneiro da reforma. Por conta disso, vieram milhares de contos em material



de laboratórios. Mas, nos laboratórios, continuámos a fazer precisamente as mesmas coisas que fazíamos antes porque havia, por exemplo, material igual ao que depois encontrei no Técnico e que ninguém sabia usar...

CF: Eu percebo e concordo. O mais difícil em qualquer mudança não são as condições materiais porque isso é apenas uma questão de dinheiro, que se pode ultrapassar. O mais difícil numa mudança, nomeadamente na mudança para o alargamento da educação científica e tecnológica, é o elemento humano, são as pessoas, e as pessoas não se mudam de um instante para o outro, as pessoas não se compram nem se vendem (bem, as pessoas que valem não se compram e vendem facilmente). Os nossos professores (e temos professores admiráveis, embora não suficientemente admirados) foram educados num tempo em que não havia Internet. A Internet e a utilização

de computadores no laboratório é recentíssima. No meu tempo não havia computadores nas escolas. Mesmo na universidade havia um só, era um monstro de que todos tínhamos medo...

Eu acho que existe uma solução para o problema dos professores: é os mais velhos deixarem de ter complexos, no sentido de estarem preparados para aceitar que eles também podem aprender na escola, que não têm de saber tudo. Quero dizer que estou preparadíssimo para aceitar, até porque tenho experiência disso, que os alunos me ajudem a fazer a página da Web, me digam qual é o "site" que devo espreitar... Os alunos são os motores da transformação, em curso, da escola, e acho que o que acontece já comigo e outros colegas tem de

acontecer mais. Os computadores chegam às escolas mas os alunos já os têm em casa. O meu filho já mexe com o "rato" como um profissional. E eu acho que ainda há uma resistência psicológica: pensa-se que, para mexer nos computadores, é preciso formação. Claro que é precisa formação mas não vejo mal nenhum em que se comece a teclar antes de a ter. Se os alunos mostrarem como é, os bons professores vão acabar por utilizar. Os bons professores são os que não têm medo de aprender.

P: Já que falou nos alunos, está satisfeito com os alunos daqui, com os seus alunos? Pelo menos no Técnico muitos professores queixam-se que o nível dos alunos tem baixado... Nota isso?

CF: A grande diferença é que há mais gente. Quando aumentamos o número de alunos vêm todos, bons e

maus. Há alunos excelentes. Aliás, quando ao Feynman, um dia, lhe puseram o problema dos alunos ele disse: "Os alunos são cada vez melhores, cada vez sabem mais. Não percebo por que falam do problema da educação." O drama, talvez, é que há uma grande expectativa em relação à escola e, então, em vez de olharmos para aqueles que de facto mostram a eficácia dela, olhamos para a média. Uma pessoa não pode dizer que a escola não presta só porque olhou para a média e não gostou. Quanto a mim, a escola, se conseguir formar alguns indivíduos bastante capazes, já cumpriu a sua função, não é preciso que sejam todos... aliás, é impossível haver uniformidade. Costumo dizer que a escola foi o meio que a humanidade inventou para assegurar a sua sobrevivência, garantir o seu futuro. E não é preciso que todos os alunos sejam bons por igual, o que é preciso, por exemplo do ponto de vista da ciência, é que a procura do saber continue. Pergunta-me se os alunos que tenho são melhores ou piores. Eu não me queixo: há bons alunos agora como havia antes e haverá sempre.

Um dos problemas do ensino da ciência (que não sei se é uma ciência...) é pensar que todos aprendem o mesmo e da mesma maneira. E nós usamos métodos tradicionais e temos expectativas tradicionais e até diria reaccionárias: pensamos que usando por igual certos métodos havemos de ser igualmente eficazes. Não: os métodos têm que ser diferentes porque cada pessoa aprende de maneira diferente. E a flexibilização introduzida pelas novas tecnologias vai ajudar a diversidade: cada um poderá aprender e ensinar mais da sua própria maneira. Dantes, um aluno interagia com os professores e com os colegas mas estava confinado aos quatro muros da sua sala. Actualmente, não. E, se repararem, não só os alunos podem procurar os professores em qualquer sítio do planeta, como os professores têm um mercado aberto também para eles. Portanto, o mercado abriu-se para ambos os lados, e podemos chegar muito mais longe do que os muros da sala de aula. Isto é um processo em curso, é um processo revolucionário em curso.

P: Já que estamos a falar da

docência na universidade, eu aqui há dias estava a falar com o Prof. Dias de Deus; e queixava-me, por causa das más experiências com algumas cadeiras, que às vezes os professores podem ser bons demais para nós...

CF: Ah, não... Nunca vi ninguém queixar-se disso!

P: Eu dizia aquilo na perspectiva de serem excelentes investigadores e estarem habituados a uma certa linguagem e a lidar com pessoas do mesmo nível. Às vezes chegavam às aulas e não transmitiam, não conseguiam pôr aquilo na nossa linguagem. E o Prof. Dias de Deus dizia-me que não: que quanto melhor investigador, provavelmente melhor docente, melhor divulgador.

CF: Sim, essa é uma regra geral, haverá excepções como em todas as regras. Mas saber mais é sempre uma vantagem, e mais do que isso: saber o método de saber mais porque se pratica esse método é uma vantagem absoluta. É isso que ele queria dizer: há indivíduos que não só sabem mais como também sabem como é que se sabe mais. Eles, mesmo que não ensinem tudo aquilo que sabem, podem ensinar uma postura, uma atitude. Portanto, não é mau os investigadores estarem envolvidos na docência.

P: Eu entretanto andei a investigar com os seus alunos...

CF: Ah, também é investigador!

P: Não, a investigar mais a nível social, a conversar com os seus alunos, e soube que é o professor que tem a maior taxa de assistência às aulas...

CF: Ah, há uns truques! Clica-se um software, contam-se umas histórias, mas isso não quer dizer nada. Há uma arte que é a comunicação, e que eu procuro exercer, pelo menos esforçome, não sei se consigo. Mas isso não quer dizer que seja um bom professor por causa disso. Talvez o bom professor é aquele que põe as pessoas a pensar nas coisas e não aquele que mostra mais softwares, ou que faz o pino. E há pessoas que podem fazer tudo isso sem grandes recursos, sem tecnologias. Os truques que se usam na comunicação às vezes funcionam, outras vezes não. Se a medida for, por

exemplo, a nota no final da cadeira, já tive grandes desapontamentos. Já tentei, sei lá, ensinar Mecânica de Newton usando corridas de carros no computador. "Não sabem o que é a aceleração? Pois vou mostrar-lhes como é na Fórmula 1!" E tudo isso é muito motivante, mas cheguei ao fim e as notas foram más. De modo que já tentei tudo. Aliás o melhor na educação é tentar tudo e cada um descobrir a melhor maneira. Na educação temos os computadores agora para serem explorados, mas já muita coisa foi ensaiada antes. E nada pode substituir o que caracterizava a educação já no tempo do Sócrates, que é o diálogo entre professores e alunos, o questionar por parte de uns e de outros. Sócrates teve grandes discípulos a quem podia perguntar coisas!

P: Tendo em conta que hoje em dia (e nós temos tido bons exemplos, que no fundo são maus exemplos), no Técnico, há poucos estímulos para os docentes e há muitos estímulos para os investigadores, ou seja, um professor pode dar as aulas com a qualidade que lhe apetecer, que não há nenhum meio...

CF: Isso é verdade! Não há estímulos, se bem que na investigação também não haja muitas recompensas, mas sempre há algumas. Nós devíamos ter em Portugal prémios de docência. Por exemplo, a publicação de bons livros pedagógicos devia ser valorizada; a avaliação dos docentes pelos alunos, se for bem feita, devia ser um elemento na progressão na carreira do professor (nos EUA fazem isso; já lá dei aulas e os alunos podiam dizer ao chairman como iam as aulas e respondiam a inquéritos.) Nisto temos ainda um grande caminho a percorrer.

Há pouco falei nos professores admiráveis, quer dizer, admira-os quem está em contacto com eles, mas acho que é da mais elementar justiça que se instituam prémios que dêem a conhecer vidas que às vezes só se passam entre os muros da escola, que são lembradas, com saudade, por gerações de alunos, mas que não extravasam para fora. Os incentivos fazem parte da vida, toda a gente gosta de receber prémios. Eu acho que devia haver prémios de

docência especialmente a nível das escolas básicas e secundárias. Além disso, os professores com melhor preparação científico-pedagógica poderiam ganhar mais. O MCT ganharia se reforçasse a sua ligação ao Ministério da Educação, porque se há uma crítica que é necessário fazer é haver dois ministérios que parecem virados de costas um para o outro. Dá-me a ideia que a educação precisa de mais ciência, e que em Portugal precisamos de mais ciência na educação e menos de algumas das chamadas ciências da educação.

P: Então, como é que o professor, se não ganha prémios de docência, concilia, como é que se consegue motivar para ser investigador, docente, divulgador, publicar manuais...

CF: Olhe, é uma boa pergunta, nunca tinha pensado nisso, consigo arranjar tempo para tudo porque não ponho determinadas perguntas. Se começo a fazer perguntas fico como aquela centopeia que tinha cem patas e ia a andar muito, mas a certa altura perguntou-se "mas como é que eu ando?", começou a ver como era, primeiro uma pata assim, depois outra assada, e... tropeçou. Ou seja, o melhor não é pensar como, mas sim andar. Claro que encontro motivação de colegas, dos alunos, do público, ninguém funciona sem estímulos. Vocês por exemplo são um estímulo para estar aqui a meio de Agosto! Se não me tivessem desafiado a estar cá eu não estava, estava noutro lado onde alguém me tivesse desafiado.

P: Pois, nós temos um pouco a ideia de que se calhar há pessoas que se viram mais para o umbigo...

CF: Se um indivíduo for bom numa determinada área e se for mau a explicar a matéria, se os alunos não gostam do estilo dele, deixá-lo estar. "Ah não, nós só queremos bons professores", dizem-me. Eu acho que muitas vezes não se reconhece logo um bom professor. Há professores bons que só passado um tempo é que se notam. De modo que quando tiverem um mau professor, ou que lhes pareça mau, perguntem: mas em que é que ele é bom, algum dia o acharemos bom? Há muitas maneiras de aprender e muitas

coisas para aprender, e às vezes temos muita pressa, queremos saber tudo já. Ora, a aprendizagem é uma coisa lenta, decorre ao longo da vida toda. Portanto, quando pensam que aquele fulano não é bom professor, pode ser que mais tarde venham a dizer "ah, afinal ensinou-me isto". Às vezes basta só uma frase, ou uma ajuda na altura certa. É preciso um bocadinho de paciência, alguns bons professores não se revelam instantaneamente. De resto, isso do bom e do mau é muito relativo. Estamos a falar de bons e maus professores, mas o que são bons e maus alunos? Muitas vezes aquele que se pensa ser um mau aluno... é o que se diz do Einstein, que era um mau aluno mas não era tão mau como isso.

LIVROS

P: Já que se falou dos manuais... os nossos manuais ou são sebentas, fotocópias, ou são livros caríssimos...

CF: Eu acho que há um espaço na língua portuguesa para a edição pedagógica, porque nós podemos saber muito bem outras línguas mas a língua-mãe é única. Nós podemos ler muito bem em Inglês, mas lemos ainda melhor em Português.

P: A ideia é traduzir, ou produzir em Português?

CF: As duas coisas! Há um espaço a preencher para livros em português de ciência, a vários níveis: graduação, pós-graduação, etc. Aliás, os países civilizados são aqueles que têm os manuais na sua própria língua, sejam de autores nacionais ou traduções. Eu tento contribuir para que a nossa edição cresça: temos as valiosas edições da Gulbenkian, algumas editoras como a Gradiva têm bons livros de ciência, e certas universidades têm feito um esforço... Agora, a cultura da fotocópia e da sebenta é muito má: se dou umas fotocópias avulsas aos alunos, para além de roubar os autores e o editor, estou-lhes a dar um conhecimento espartilhado, tira-se um bocadinho daqui, um bocadinho dali. Prefiro seguir um livro, que pode ter coisas de que não goste, mas tem uma unidade, uma sequência, do que dar coisas desfasadas, que os alunos não conseguem relacionar. Se há um bom livro em Português adopto-o, se não

há, indico um livro em Inglês: mas é bom que os alunos se agarrem a qualquer coisa. O conhecimento não está só no professor e no quadro: o livro é uma bóia. A minha preocupação ao dar um curso é comunicar que há ali uma coerência, que se acrescenta algo ao que eles já sabem. E para isso são indispensáveis livros - há a Internet, mas o livro ainda é o meio por excelência de fixar o conhecimento.

P: Eu contei no seu currículum cerca de 10 manuais, que o professor já publicou. Que tipo de apoios é que há?

CF: Com os manuais de ensino básico e secundário, existe um mercado, há muitos alunos, e as editoras...

P: Mas facturaram bem, as editoras, por conta desse mercado, não é? Os livros são caros...

CF: Bom, é um negócio, é um negócio para muita gente. Aliás não há mal nenhum em que seja um negócio, a questão é que haja conteúdos bons e que os melhores livros sobrevivam à lógica por vezes perversa do mercado. Eu acho bem que os professores das escolas escolham; o livro oficial que havia no meu tempo é uma ideia má. Agora, o que talvez pudesse ser feito era haver prémios dados pela comunidade escolar e científica. Uma comissão independente dizia "este livro, por isto e aquilo, deve ser distinguido". E os prémios ajudariam a pôr ordem no mercado. Actualmente, se há bons livros, também se publica muito lixo. Há mesmo muito lixo! A distinção não está feita. Esta tem de ser feita por quem sabe, pelos profissionais, independentemente da lógica das editoras.

P: Bom, mas então há o negócio e há a motivação de quem escreve. E apoios, nomeadamente de Ministérios? É que, se há a cultura da fotocópia, nunca chegamos à solução ideal, livros bons e baratos como os da Gulbenkian. Infelizmente, a maioria dos livros que usamos na universidade são importados. Porque é que não é possível adquirir os direitos de edição de livros actuais, bons e baratos? É por causa do "negócio", não é?

CF: Sim, mas aí eu acho que as Universidades têm um papel a

desempenhar. Podem fazê-lo sozinhas ou associar-se a editoras e fazerem edições cujo intuito seja mais académico do que comercial.

P: O Técnico tem agora a IST Press, e lançou uma série de livros, não sei se já os viu...

CF: Do Técnico têm de ser bons! E Coimbra vai ter a Imprensa da Universidade. Enfim, todos esperamos que produza em qualidade e quantidade. A Universidade de Aveiro também já tem uns livros (inclusivamente uma coleção a meias com a Gradiva), etc. Acho que esse é o caminho a seguir.

P: E os Ministérios...

CF: Vamos lá a ver, eu não acho que nessa área seja muito necessário o Ministério, porque é sempre muito perigoso fazer edições oficiais. O governo é preciso para muitas coisas e, numa sociedade democrática, o governo representa a vontade popular. Mas é preciso não deixar tudo entregue ao governo. Em particular, pensando na educação e na ciência, a responsabilidade principal é nossa, não podemos esperar que seja o governo a escolher, editar e a receitar-nos os livros. O governo deve estabelecer um quadro de regras mínimas e fazer com que se cumpram.

P: Eu não me referia à oficialização dos livros, referia-me mais ao patrocínio, a um subsídio para a publicação.

CF: Há maneiras de o governo promover a edição de bons livros, sem ser ele a publicar ou a pagar. Cada vez mais acho que há coisas que não são tarefa do Governo e que é bom que assim seja. O governo deve intervir, claro, mas não deve intervir de uma maneira autocrática, deve intervir, por exemplo, pelo estímulo à qualidade e pela dissuição da fraude. Nos manuais escolares, porque é que não há-de ajudar nos tais prémios aos livros, porque é que não há-de apoiar as sociedades científicas para que estas escolham os melhores? Assim, uma pessoa saberia: olha, este é o melhor; quem quiser usar outro corre por sua conta e risco! O próprio Feynman, de quem já falámos aqui, esteve em comissões de selecção de livros escolares e dizia: "olhem: aqui há erros". Acho pois que devemos

esperar muita coisa do Governo, mas não tudo. Na Educação e na Ciência, por vezes dizer que a culpa é do Governo é uma desculpa para a nossa própria inacção. "Ah, não há livros, o Governo não ajuda...". A razão porque não há livros é: as pessoas que os deviam escrever não os escrevem, e não os escrevendo não há editores que os publiquem, não havendo editores que os publiquem não há leitores que os leiam, é um círculo vicioso.

MUITOS CORPOS

P: Eu entretanto agora queria passar para a área em que se especializou e em que investiga, de Sistemas de Muitos Corpos... Vai funcionar pela primeira vez no nosso curso uma cadeira de 4º ano que é *Sistemas de Muitos Corpos*. É uma cadeira mais teórica, se quiser eu posso deixar-lhe o programa...

CF: Sim, óptimo. Parece interessante...

P: Sim, é uma cadeira bastante teórica, muito quântica, como nós dizemos, mas ainda não sabemos muito acerca dela... O que me pode motivar a mim para esta área? Quais são as aplicações, onde é que entra o computador...

CF: Logo o nome! Não acham giro? "Muitos Corpos"! Bom, vamos lá a ver se consigo explicar o que é que é a Física de Muitos Corpos. O mundo é formado por partículas e há interacções entre elas. O facto de haver muitas interacções conduz a complicações. A Teoria de Muitos Corpos é uma maneira de introduzir simplicidade, de introduzir ordem naquilo que à primeira vista parece complexo. A Teoria de muitos corpos clásica consiste em usar as equações de Newton para as partículas.

P: Mas passa ao contínuo em muitos casos, não é?

CF: Pode não ser preciso, aliás é muito interessante a ligação entre o contínuo e o discreto. Mas a maneira que temos de saber as propriedades dos líquidos consiste em resolver as equações clássicas do movimento: consideramos, no computador, centenas, milhares de partículas, deixamos as forças intermoleculares actuar e vemos o que acontece para várias condições iniciais. Os muitos

corpos clássicos continuam a ser estudados. Mas a cadeira que vão ter é quântica, o que significa que trata de partículas, átomos ou objectos menores, que obedecem à equação de Schrödinger. Por exemplo, consideremos um metal, com um número de Avogadro de electrões, 10^{23} ; é enorme o engenho necessário para obter as propriedades desse material. Hoje há métodos extremamente habilidosos, que nos permitem saber como é que a mole de electrões se comporta, e prever, por exemplo, como respondem a uma compressão, a uma voltagem, a uma magnetização. Mas também cada vez mais os problemas são mais complexos e os materiais são mais sofisticados. A teoria de muitos corpos tem mostrado a aplicabilidade da Mecânica Quântica a todas as colecções de pequenas partículas.

Os meus objectos favoritos neste momento são colecções de átomos. A Mecânica Quântica consegue prever o comportamento de colecções de átomos dos mais variados tamanhos, quer sejam dois átomos (uma molécula), quer sejam cem átomos (um agregado), quer seja o tal sólido com o número de Avogadro de átomos. É interessante saber como se passa da molécula para o sólido. Ou misturar átomos de vários elementos diferentes, fazer assim uma espécie de alquimia atómica para obter propriedades nova. Uma ideia para a Star Wars: "quero alumínio transparente; gostava de ter um veículo resistente, feito de alumínio, mas que deixasse passar a luz, como o vidro; bem, se calhar, o alumínio, juntando-lhe umas coisas, consegue adquirir propriedades ópticas convenientes." E é um campo muito aliciante da Física Moderna; podem dizer "há as partículas, o cosmos, etc." Mas, ao nível do macroscópico, do que até tem aplicação directa (não é preciso que tenha, mas até tem), há um campo imenso a explorar...

PERSPECTIVAS

P: Fale-nos da sua experiência de doutoramento na Alemanha. Um dos dilemas que nós sentimos é: quando acabamos o curso - fazemos um doutoramento no estrangeiro, fazemos

no técnico, não fazemos doutoramento?

CF: Bem, devem procurar fazer um doutoramento porque cada vez mais ele é o início de uma profissão com requisitos intelectuais, seja em Física seja noutra qualquer...

P: Bem, não me vai dizer que um engenheiro que trabalhe na indústria não é solicitado intelectualmente, e provavelmente ele vai achar que é uma perda de tempo passar mais 4 anos...

CF: Não sei se um engenheiro perde muito se se doutorar...

P: É o problema da sobrequalificação. Eu não estou de acordo...

CF: Não, não há problema nenhum! A sobrequalificação? Então encontramos um taxista que sabe a equação de Schroedinger e discutimos com ele pelo caminho... Entramos para o táxi sem saber como quantizar a energia cinética e ele explica-nos, acho que não é inconveniente nenhum. A mim preocupa-me é o problema contrário, a subqualificação. A sobrequalificação não me preocupa nada.

P: Mas a questão que se põe muitas vezes é atrasar mais uns anos...

CF: Cada vez mais, felizmente, há condições para se fazer o doutoramento rapidamente em Portugal. Isto não quer dizer que alguns interessados não possam ir fazer doutoramentos lá fora. Mas a maioria deve ter condições para o fazer cá. O facto de ir lá para fora pode ser bom, não deveria ser é obrigatório.

A minha experiência na Alemanha foi bastante positiva. Fui embora muito novo e lucrei com o facto de fazer o grau cedo (acabei o doutoramento com 26 anos). Uma pessoa nova está menos viciada. O doutoramento é a aprendizagem do pensamento científico e quanto mais novo mais criativo se consegue ser.

P: Eu já conversei com pessoas com uma visão diferente: um aluno acaba a licenciatura e ainda não sabe muito bem o que é que há de fazer, há vários doutoramentos que lhe interessam. Se ele trabalhar 2 ou 3 anos

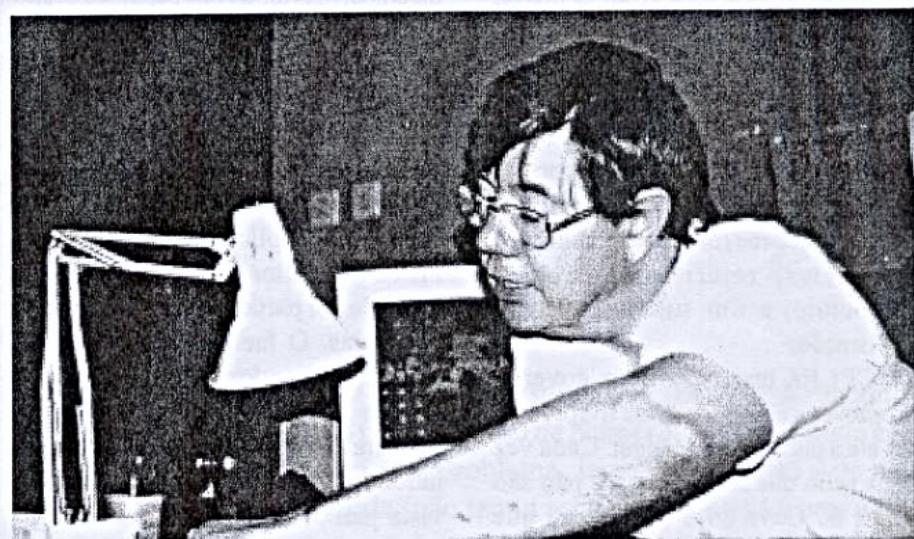
em qualquer lado, por exemplo, a empresa, decide especificamente o que é que quer.

CF: Não, não concordo: a minha opinião é que a pessoa não deve perder muito tempo a escolher. Quer dizer: deve escolher, mas não deve perder muito tempo com essa escolha. Diz-me, por exemplo, "o meu interesse são os fundamentos da Mecânica Quântica" e eu digo - o seu interesse deve ser aproveitar uma boa oportunidade que lhe apareça. Quando fizer o doutoramento, pense nos fundamentos, tem a vida toda para pensar nisso, mas, para já, faça um doutoramento em Física, que é a aprendizagem de uma maneira de pensar e fazer. De modo que se não se doutorar neste assunto específico mas noutro não é nada de grave. Uma pessoa se começar a escolher muito e a coçar muito a cabeça, fica careca antes do tempo.

P: Bom, agora a última questão: que perspectivas há para nós, engenheiros físicos, ou físicos?

CF: Bem, eu nisso quero ser

país deixou de ser fechado. As fronteiras em ciência são um absurdo. Lembro-me que, quando estudava na Alemanha, havia uma grande fila de carros, porque a fronteira estava fechada, só abria às 7h30, e o país estava fechado, estava a dormir, das 0h00 às 7h30 ninguém entrava e ninguém saía. Eu não consigo perceber que haja um canto do planeta que esteja fechado para sono. O país se calhar esteve fechado demasiado tempo, esteve muita gente a dormir durante tempo demais. E agora pode-se entrar e sair à vontade, o país está aberto a todos os tipos de produtos e principalmente à circulação de pessoas. Houve um tempo em que a ciência portuguesa esteve atrasadíssima, se é que existia. A "ciência portuguesa" só quer dizer a ciência feita por portugueses, pessoas que nasceram aqui. Enfim, se se nasce aqui e a fronteira está fechada, a própria ideia de ciência que é a compreensão do Mundo por um método que é partilhado e usado internacionalmente não se pode desenvolver. Actualmente



optimista, porque os pessimistas nunca foram longe. Enfim, por muitos motivos que uma pessoa tenha para estar pessimista (e há falta de novos empregos para novos doutores!), o melhor é ter a ideia que as coisas podem melhorar. Reparem, as perspectivas são interessantes, por um lado porque a ciência é uma empresa inacabada, cada vez há mais desafios. E, por outro lado, se analisarmos a situação de Portugal, vemos que é um país em desenvolvimento, onde há oportunidades. Temos o grande

as perspectivas são melhores do que no passado. Mas nada se faz sem esforço. Os tempos são difíceis? Sim, mas as pessoas não devem esperar que as oportunidades venham ter com elas, devem procurar e criar as suas oportunidades.

P: A minha questão era mais neste sentido: o meio académico está a ficar saturado...

CF: Sim, nas universidades mais antigas isso é verdade, mas há oportunidades nas universidades

novas.

P: ... e no outro lado, na indústria, nas empresas, onde estão os engenheiros convencionais, a situação também não é fácil. No nosso caso, no curso de Física Tecnológica, sabemos um bocadinho de tudo e muito de nada. Somos polivalentes e dinâmicos, mas acho que só as multinacionais ou as empresas de consultadoria se apercebem das nossas potencialidades. Não há desempregados, mas a maior parte faz um doutoramento, depois faz um post-doc, e vai vivendo preocupado às custas de...

CF: Eu acho bem que estejam preocupados, estar despreocupado é mau... Agora, o mercado não é tão pequeno como isso.

P: É que eu não vejo as multinacionais a aparecerem e a contratarem-nos a todos.

CF: Bom, vamos lá ver, o mercado da ciência e da tecnologia é, de facto, o planeta. E a minha carreira tem-me ensinado que a ciência que uma pessoa aprende numa universidade ou numa empresa serve noutras. E vai-nos acontecer o seguinte: como o país está aberto, se não tivermos profissionais competentes nas mais variadas áreas da actividade, seja na universidade, seja na indústria, esses lugares vão ser ocupados por outros. Do mesmo modo iremos para outros lados onde os indígenas sejam piores.

P: O país de certo modo desperdiça o potencial deste tipo de alunos.

CF: Mas eu acho que não devemos ter uma fixação demasiado nacionalista, quer dizer, Portugal é o sítio onde nascemos...

P: É uma pena! No "Forum Estudante", um suplemento do "Correio da Manhã", vinha outro dia sobre o nosso curso: "Engenharia Física Tecnológica: muito génio, pouco emprego". Ou seja: são bons, lá fora até os aceitam porque são mesmo bons, mas cá...

CF: Nós temos responsabilidades especiais para com o sítio onde nascemos, que se chama Portugal. Eu não estou a rejeitar o facto de que as pessoas que são formadas aqui vão naturalmente trabalhar aqui e ajudar o país.

P: É uma questão quase patriótica, eu pelo menos gostava de contribuir para melhorar um bocadinho isto.

CF: O que eu estou a dizer é que as fronteiras são transparentes na ciência e tecnologia, não se pode dizer que o português só tenha de trabalhar aqui; ora bem, um cientista ou engenheiro tem de trabalhar onde for preciso. E eu vejo os estudantes queixarem-se que a carreira está difícil porque não querem sair do sítio onde estudaram. Eu acho que devia ser obrigatória a mobilidade; nos países desenvolvidos os supervisores dão um "pontapé" nos alunos e mandam-nos para outro lado. O próprio Feynman estava no MIT a acabar o curso, disse "agora quero fazer o PhD no MIT" e alguém lhe deu um chuto para fora. Ele perguntou "então mas este não é o melhor sítio do mundo?" e a resposta foi "Não, se ainda não conheces os outros como é que podes saber?!" Mandaram-no para Princeton ou outro sítio ainda melhor. É esse o grande desafio; vocês por exemplo estão no Técnico; não devem continuar no mesmo sítio. Procurem outro. Se não há oportunidades crie-nas. Havia multinacionais que contratavam físicos. Agora, estão a ganhar indústrias pequenas, muitas vezes formadas pelos próprios físicos, e acho que até há exemplos disso no Técnico. A vida é difícil, mas uma vida fácil não teria interesse. Percebo o que diz sobre Portugal, que é o seu sítio, que gostaria de...

P: É neste sentido: se eu, com a vocação que tenho, não puder contribuir para melhorar um bocadinho, para desenvolver o meu país, quem é que pode?

CF: Eu acho o nacionalismo perigoso. Em Portugal encontro uma diferença, há uma história que nos individualiza, uma cultura que nos caracteriza, uma língua que nos distingue, tudo isso é bom até porque senão éramos todos iguais. Mas isso não quer dizer que o eletrão português seja diferente do espanhol... Agora sou eu a fazer a entrevista: não acha que agora há mais perspectivas do que havia há 30 ou 40 anos?

P: Há 40 anos quase não havia físicos em Portugal!

CF: Sim. Não se ensinava Mecânica

Quântica, e, no entanto, já tinha sido descoberta nos anos 20! Em 1926 já havia a equação de Schroedinger na Áustria - e quando é que ela chegou a Portugal? E agora temos esta vantagem: se amanhã alguém descobrir as ondas gravitacionais, no próprio dia sabemos aqui todos pela Internet. E se quisermos estudar as ondas gravitacionais, participamos numa colaboração internacional e sabemos logo. O futuro do nosso país é, cada vez mais, a participação na Europa. Somos um cantinho da Europa e não devemos fazer coisas muito diferentes das que se fazem no resto do continente. Aliás, as tentativas no passado recente para fazermos aqui algo diferente foram, em geral, para pior. Outros países pequenos inferiores a nós em tamanho, como a Dinamarca ou a Áustria, desenvolveram-se do ponto de vista científico e técnico e têm hoje índices superiores aos nossos. E porquê? Porque estiveram abertos, souberam importar e exportar a inovação.

Eu percebo o que quer dizer: a maneira prática de actuar universalmente é fazê-lo localmente. Aliás, a receita é: pensar universalmente e actuar localmente. A ideia que eu queria transmitir é a seguinte: trabalho em Portugal, mas integro uma comunidade maior. A ciência é uma comunidade - eu sei que há outras comunidades, mas esta é a que tem permitido o futuro do planeta. Se um extraterrestre quisesse caracterizar este planeta, o que diria? "É um planeta onde existe um método para compreender o Mundo, que os humanos partilham e aproveitam." E provavelmente até partilharão esse método com os hipotéticos extraterrestres...

¹ O *Curriculum Vitae* de Carlos Fiolhais pode ser consultado em:

http://www.fis.uc.pt/rechum/profs/curriculum_cfiolhais.html

² International Conference for Physics Students

³ Associação para a Divulgação da Ciência e da Tecnologia

Rudimentos de Mecânica Quantica Computacional e conclusões para a vida

Rafael Patrício

Este trabalho teve início quando folheava, na biblioteca do nosso departamento, o livro "Mathematica For The Sciences" (cujo autor não recordo), na procura de um projecto de trabalho para a cadeira de Análise Numérica. O quinto problema do quinto capítulo, deste livro, propõe a construção de um programa de resolução numérica da equação de Schrödinger a 3D para qualquer potencial radial, para estados ligados. Nem mais! Reuni-me com o resto do grupo (Pedro Silva, Rodrigo Abreu e José Barros) e fiz a proposta. Encontrara no livro "The Picture Book of Quantum Mechanics", dos professores S. Brandt e H. D. Dahmen, editado pela Springer-Verlag, uns gráficos a 3D, de superfícies de equiprobabilidade, correspondentes a $|\Psi(r, \theta, \phi)|^2 = \text{Const}$, em que $\Psi(r, \theta, \phi)$ é a função de onda, e $|\Psi(r, \theta, \phi)|^2$ a função densidade de probabilidade. Dai que decidimos que, tendo tempo, o nosso programa nos daria tais gráficos. O projecto foi muito acarinhado pelo professor Juha Videman desde o início até à sua classificação geral (de 20 valores).

Este artigo é uma brevíssima descrição da nossa aventura, dividida em dois capítulos: "O Método" e "Os Gráficos". Quem não estiver interessado na descrição do método usado e quiser avançar para os resultados pode saltar o 1º capítulo. Desta maneira ninguém dirá que escrevo coisas maçadoras ou dará o seu tempo por perdido! Devo, no entanto, salvaguardar que o dito capítulo é facilmente acompanhado por quem já tiver algumas bases de Mecânica Quântica e estudado as Séries de Taylor, das quais podemos deduzir aproximações a derivadas de várias ordens.

O Método

Tal como podemos ler, por exemplo, no capítulo 10º do livro "A Modern Approach To Quantum Mechanics" do professor J. S. Townsend, para o caso de um potencial central, a solução geral que procuramos consiste no produto entre uma função Harmónica Esférica e a solução da equação radial ,

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} \right) R(r) - \frac{2\mu}{\hbar^2} \left[V(r) + \frac{l(l+1)\hbar^2}{2\mu r^2} \right] R(r) + \frac{2\mu E}{\hbar^2} R(r) = 0$$

em que $R(r)$ é a parte radial da função de onda, m é a massa reduzida, E é o valor da energia e \hbar a constante de Planck dividida por 2π .

Substituindo

$$R(r) = \frac{u(r)}{r}$$

a equação radial toma uma forma muito mais simples:

$$\frac{d^2 u(r)}{dr^2} + K^2(r) u(r) = 0$$

$$K^2(r) = \frac{2\mu}{\hbar^2} \left[E - \left[V(r) + \frac{l(l+1)\hbar^2}{2\mu r^2} \right] \right]$$

que é igual à equação de Schrödinger a 1D agora com um potencial efectivo:

$$V_{ef}(r) = V(r) + \frac{l(l+1)\hbar^2}{2\mu r^2}$$

Supondo que o potencial central, $V(r)$, é tal que :

$$\lim_{r \rightarrow 0} r^2 V(r) = 0$$

vem $u(0) = 0$

Para a resolução desta equação encontrámos (na net) o método de Numerov, que é bastante eficiente para este problema, largamente usado e de dedução rápida (não tendo em conta as estimativas dos erros, que foi "o cabo dos trabalhos"). Vejamo-la rapidamente.

Do polinómio de Taylor podemos deduzir:

$$\frac{-2f(x) + f(x-dx) + f(x+dx)}{dx^2} = f''(x) \quad (i)$$

$$12 \left(\frac{-2f(x) + f(x-dx) + f(x+dx)}{dx^4} - \frac{f''(x)}{dx^2} \right) = f'''(x) \quad (ii)$$

Derivando duas vezes a equação radial:

$$\frac{d^4 u(r)}{dr^4} = -[K^2(r) u(r)]''$$

substituindo (ii) no termo à esquerda, (i) no termo à direita, e o termo que sobrar de $u''(r)$ pela própria equação radial, obtemos finalmente a equação com que trabalhámos:

$$u(dr + n dr) = \frac{-24u(n dr) + 10dr^2 K^2(n dr)u(n dr)}{12 + dr^2 K^2(n dr + dr)} + \\ + \frac{12u(n dr - dr) + dr^2 K^2(n dr - dr)u(n dr - dr)}{12 + dr^2 K^2(n dr + dr)}$$

(iii)

em que n é um número inteiro. Uma vez que $K^2(r)$ explode se $r \rightarrow 0$, $n \geq 2$. Como se pode ver, o problema dos pontos iniciais também foi um quebra cabeças, já que sendo $n \geq 2$, para iniciar os cálculos necessitávamos de $u(dr)$ e de $u(2dr)$ mas só tínhamos $u(0)$! Sendo menos audaciosos, pensámos em substituir (i) directamente na equação radial donde vem:

$$u(dr + mdr) = -dr^2 \left(K^2(mdr)u(mdr) + \frac{u(mdr - dr) - 2u(mdr)}{dr^2} \right)$$

se $m=1$, sabendo que $u(0)=0$ (como vimos acima), obtemos:

$$u(2dr) = -dr^2 \left(K^2(dr) + \frac{-2}{dr^2} \right) u(dr) \quad (iv)$$

Sem pensar mais, tirando partido das capacidades de cálculo simbólico do Mathematica, usamos $u(dr)$ como uma incógnita, e demos início ao método, pensando que acharíamos $u(dr)$ no final, ao fazer a normalização da função de onda. Isto, na pior das hipóteses, poderia ser impraticável se a equação demorasse muito tempo a ser resolvida. Mas tivemos uma agradável surpresa. Usando (iv) como ponto inicial todos os resultados de (iii) para $n \geq 2$, eram da forma de um produto de uma constante multiplicada por $u(dr)$. Assim, no ecrã, surgiu algo deste género¹:

$$u(3dx) = 234224.2134 u(dx) \\ u(4dx) = 45646.34967 u(dx) \\ u(5dx) = 982345.82659 u(dx)$$

...

Donde concluímos que a atribuição de um número arbitrário qualquer a $u(dx)$ em nada ia alterar o resultado final, uma vez que ao fazer a normalização da função de onda calculada encontráramos o verdadeiro $u(dx)$. Encontramos depois, em alguns livros, sugestões para os pontos iniciais deste problema, mas nem todas nos pareceram tão boas estimativas como a nossa. Por exemplo: poderá ser apenas um preciosismo, mas é certo que pelo menos nos pontos próximos da origem, a nossa estimativa é

melhor do que outra que usava $u(dx)=0$, e $u(2dx)$ igual a qualquer valor arbitrário, já que, deste modo nem sequer se tem em conta o declive da função nessa zona. Apesar do que possa parecer para alguns, não é certo pensar que os resultados teriam a mesma forma que a descrita acima, para quaisquer outras estimativas dos pontos iniciais. Para outras estimativas obtivemos resultados como²:

$$u(3dx) = 256724.2134 u(dx) + 324.234$$

$$u(4dx) = 49876.34967 u(dx) + 532.856$$

$$u(5dx) = 914245.82659 u(dx) - 346.356$$

...

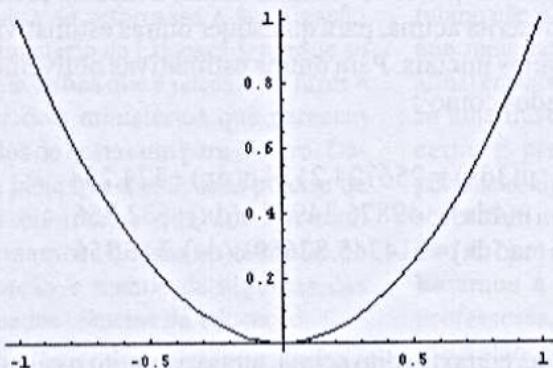
o que, como foi dito acima, atrasaria muito o cálculo da normalização que tem, desta maneira, de ser forçosamente cálculo simbólico. Isto implicaria também que fosse muito mais complicada, por exemplo, uma tradução do programa para C, para o utilizador que não quiser suportar a lentidão do Mathematica.

Os Gráficos

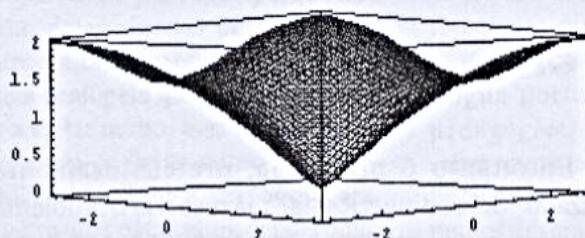
Entretanto o programa, pretensiosamente baptizado "SchrödingerRadial", já resolvia o problema numérico a que nos tínhamos proposto (e muito mais): dava-nos o gráfico de cada função radial, interpolava cada função radial, discriminava as zonas críticas para o método e dava-nos gráficos com a estimativa máxima do erro em cada ponto da integração (tendo em conta o erro do método, as propagações dos erros de todos os cálculos e de todas as incertezas com que se conhecem as constantes determinadas experimentalmente)³. Ficavam por fazer, no entanto, os gráficos que pretendíamos. É certo que tínhamos as soluções numéricas da equação radial como pretendíamos (usámos exemplos como o potencial do átomo de Hidrogénio, ou o do oscilador harmónico isotrópico 3D), com óptimos resultados; multiplicando as soluções numéricas pela Harmónica Esférica adequada tínhamos a solução completa que procurávamos. Mas deparávamo-nos com uma dificuldade: não podíamos visualizar a solução completa porque não sabíamos fazer gráficos a 4D, e já não nos contentávamos com os gráficos das zonas equiprováveis, como os do livro acima!

Passo a explicar: fazer um gráfico de uma função com uma variável independente é fácil! Usamos dois eixos (2D) - um para a variável e outro para a função. Este, por exemplo, é o gráfico da função $y = x^2$, sendo x a variável independente

e y a variável dependente:

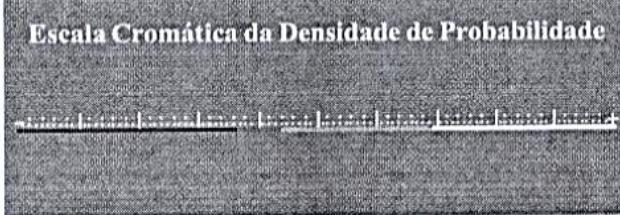


Para fazer um gráfico com duas variáveis independentes definimos, de forma idêntica, três eixos (3D), dois para as variáveis e o terceiro para a função. Este é o exemplo de uma função $z = f(y, x)$:



Neste caso x e y são variáveis independentes e z a variável dependente.

Imaginemos que temos, no entanto, uma função $g = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$. Não podemos representar 4 eixos simultaneamente! Podemos representar superfícies equipotenciais e usar a nossa imaginação para o resto. Neste caso é óbvio que as superfícies equipotenciais são coroas esféricas concêntricas de raio igual a g. Mas existem funções para as quais é mais difícil (mesmo impossível) inferir o seu comportamento a partir de uma superfície equipotencial. Tal é o nosso caso.



Surgiu então uma ideia, “ovo de Colombo”. Se entre o valor máximo e mínimo (0) de $|\Psi(r, \theta, \phi)|^2$ distribuíssemos um espectro de cores suficientemente amplo, a cada superfície equipotencial corresponderia uma única cor. Assim, uma vez que não podíamos

atribuir nenhum eixo à variável dependente ($|\Psi(r, \theta, \phi)|^2$), atribuímos-lhe um espectro de cores⁴. Assim a cada valor da densidade de probabilidade ($|\Psi(r, \theta, \phi)|^2$), corresponde uma cor. Por razões que à frente se tornarão óbvias, a representação era tanto mais útil quanto mais descremada. Não serviria de nada representar todos os pontos obtidos, ficariam perdidos na confusão. Havia que fazer uma escolha escrupulosa quanto à localização do observador no referencial natural do problema, quanto à posição dos pontos representados e quanto ao seu número (sendo este último determinante já que para isto o *Mathematica* exige imensa memória). Por isto é que os gráficos que se seguem têm este aspecto curioso. Os sítios onde o gráfico não está preenchido, devem sê-lo pela nossa imaginação, já que seria muito moroso (e inútil, nas zonas que ficariam cobertas à vista) fazê-lo computacionalmente (com o *Mathematica*).

Os gráficos 1 e 2 a seguir dão-nos uma ideia sobre a distribuição espacial de $|\Psi(r, \theta, \phi)|^2$, para o átomo de Hidrogénio, para os números quânticos $n=3$, $\ell=1$, e $m=0$. Apesar de representarem o mesmo estado dão-nos informações diferentes sobre a distribuição de $|\Psi_{3,1,0}(r, \theta, \phi)|^2$. Para este caso o valor próprio da energia encontrado numericamente foi:

$$E_{n=3, \ell=1} = -1.51092041 \pm 0.0000122868 \text{ e.V.}^5$$

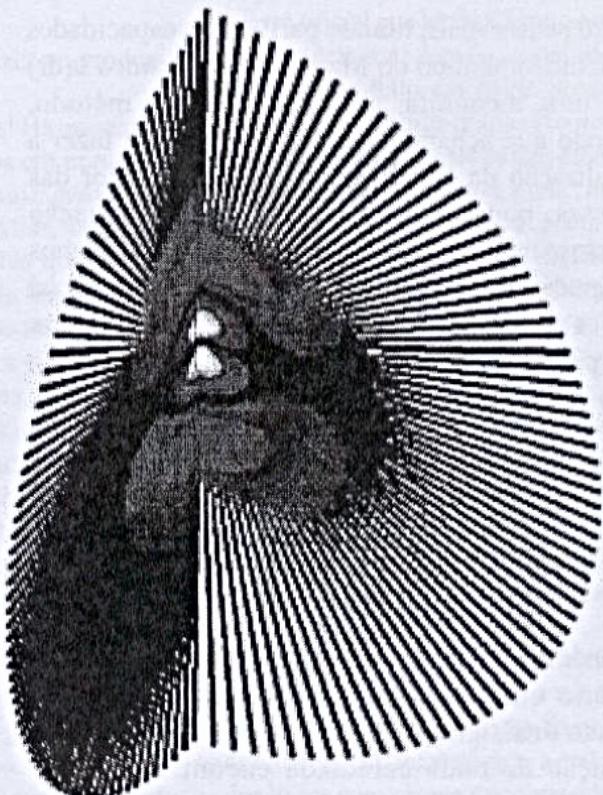


Gráfico 1

gráfico da função $|\Psi_{3,1,0}(r, \theta, \phi)|^2$ para
 $D = \{(r, \theta, \phi) : 0 \leq r \leq 22.026 \text{ Å} \wedge (\theta = 0 \vee \theta = \pi/2) \wedge \phi = k\pi/72, 0 \leq k \leq 72 \wedge k \in \mathbb{Z}\}$

localização do observador: $(3.39, 241.94, 126.103)\theta\phi$

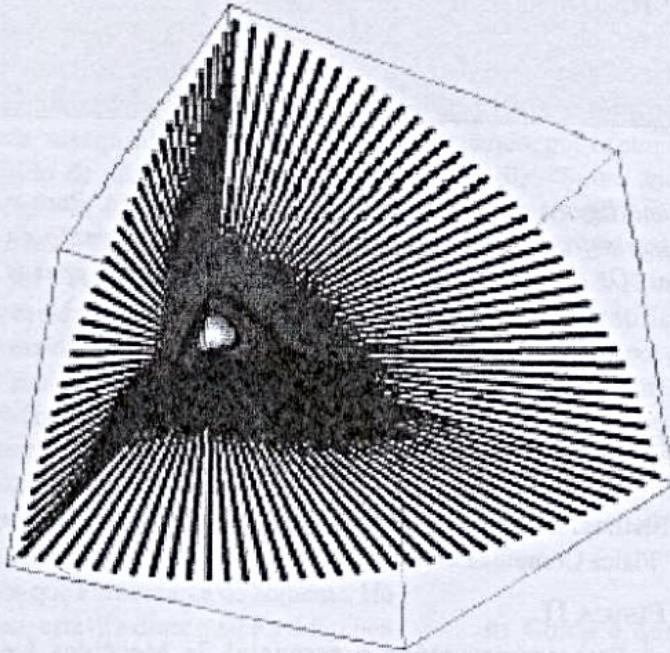


Gráfico 2

gráfico da função $|\Psi_{3,1,0}(D)|^2$ para
 $D = \{(r, \theta, \phi) : 0 \leq r \leq 22.026 \wedge (\theta = 0 \vee \theta = \pi/2) \wedge \phi = k\pi/72 \vee (\theta = k\pi/72 \wedge \phi = 0), 0 \leq k \leq 36 \wedge k \in \mathbb{Z}\}$

localização do observador: $(3.39, 241.94, 126.103), \theta, \phi$

Concluindo: desde o início da teoria atómica que se tentaram criar modelos sobre a estrutura dos átomos, em especial do átomo de Hidrogénio, tentando compreender a posição do seu electrão. Começando no “fruitcake” de Thomson, passando pelo modelo planetário de Rutherford, corrigido depois por Bohr, acabámos, finalmente, por desistir de um modelo materializável, tornando menos atraente os livros sobre a matéria, e causando mal estar aos físicos cada vez que um leigo pergunta: “Mas afinal como é um átomo? Os electrões andam à roda do núcleo, às camadas, não é?”. Ao que respondemos, envergonhados, “Bem..., isso não é bem assim..., os electrões estão para ali..., nas orbitais, mas não em orbitas..., ninguém sabe muito bem onde.”. Nestas circunstâncias não é de admirar que nos vejam como seres estranhos!

Da próxima vez que alguém vos perguntar, “mas afinal qual é o modelo que têm hoje?”, mostrem-lhes o exemplo do gráfico acima, para um dos estados do átomo de Hidrogénio, e digam “É bonito, não é?”.

¹ Estes números são fictícios.

² Idem.

³ Constante de Planck, velocidade da luz, massa do electrão, massa do protão, constante de estrutura fina... – Ver Physics Letters B 239, Abril 1990. Na realidade o utilizador pode definir estes valores e as suas incertezas, o que permite o uso de

unidades atómicas.

⁴ Este espectro no *Mathematica* é bastante mais rico do que neste processador de texto, como poderão confirmar pelos gráficos.

⁵ O valor teórico é $-1.510920644 \pm 9.69277 \times 10^{-8}$ e.V. (o erro apresentado deve-se à propagação das incertezas com que a constante de Planck, velocidade da luz, massa do electrão, massa do protão e constante de estrutura fina são conhecidas).

N.E. - Os gráficos 1 e 2, bem como a escala cromática encontram-se reproduzidos, a cores, na capa para uma correcta visualização



- Nos próximos números do PULSAR:**
- ⇒ Sabes quem ganhou o Nobel da Física em 1957?
A entrevista, em exclusivo, com um dos laureados.
 - ⇒ A nova Licenciatura em Engenharia Biomédica: génesis e perspectivas.
 - ⇒ A LEFT Revisitada - Capítulo II.
 - ⇒ Um inquérito aos mais novos alunos da LEFT sobre a Licenciatura.
 - ⇒ Estudar no estrangeiro...

Como já é do conhecimento geral, a LEFT vai sofrer uma ligeira reestruturação, que aqui se resume. Para o próximo ano lectivo, apenas os dois primeiros anos curriculares sofrem mudanças mas é quase certa a extensão da mudança aos anos mais avançados nos anos lectivos seguintes. Os comentários sobre as novas cadeiras são apenas meros indicadores da filosofia que preside à mudança.

1º ANO 1º SEMESTRE

| 1999/2000 | | 2000/2001 | |
|----------------------|---|-------------------------|--|
| Análise Matemática I | → | Análise Matemática I | |
| Álgebra Linear | → | Álgebra Linear | |
| Física Experimental | → | Física Experimental I | |
| Física Computacional | → | Introdução à Computação | |
| Química Geral | → | Física I | |

FÍSICA EXPERIMENTAL I

A ideia é esta cadeira continuar como até agora, dando uma perspectiva geral das várias áreas da Física. Há apenas uma mudança de nome.

INTRODUÇÃO À COMPUTAÇÃO

O aparecimento desta nova cadeira vem do desdobramento da Física Computacional em dois semestres. Este desdobramento é tido como necessário, dado que se notam algumas dificuldades em resolver problemas computacionalmente da parte dos alunos. Esta será uma cadeira de computação "pura".

FÍSICA I

O objectivo desta cadeira é dar umas luzes sobre várias áreas da Física, proporcionar aos alunos um primeiro contacto com certos conceitos.

1º ANO 2º SEMESTRE

| 1999/2000 | | 2000/2001 | |
|---|---|---|--|
| Análise Matemática II | → | Análise Matemática II | |
| Teoria dos Circuitos e Fundamentos de Electrónica | → | Teoria dos Circuitos e Fundamentos de Electrónica | |
| Complementos de Física Experimental | → | Física Experimental II | |
| Mecânica I | → | Física II | |
| História das Ideias em Física | → | Física Computacional | |

FÍSICA EXPERIMENTAL II

Nesta cadeira serão feitas experiências sobre mecânica e ondas. (Em CFE só se tratavam as ondas, e acabavam por não ser realizadas experiências de mecânica em nenhuma das Físicas Experimentais).

FÍSICA COMPUTACIONAL

Aplicação da computação à resolução de problemas Físicos. Segunda parte do desdobramento da antiga "Física Computacional".

FÍSICA II

Esta cadeira reúne o essencial de Mecânica I e Mecânica II.

2º ANO 1º SEMESTRE

| 1999/2000 | | 2000/2001 | |
|------------------------------|---|------------------------------|--|
| Análise Matemática III | → | Análise Matemática III | |
| Probabilidades e Estatística | → | Probabilidades e Estatística | |
| Oficinas | → | Oficinas | |
| Termodinâmica | → | Física III | |
| Mecânica II | → | Sistemas Digitais | |

FÍSICA III

Termodinâmica.

2º ANO 2º SEMESTRE

| 1999/2000 | | 2000/2001 | |
|-----------------------|---|-------------------------|--|
| Análise Matemática IV | → | Análise Matemática IV | |
| Análise Numérica | → | Análise Numérica | |
| Sistemas Digitais | → | Química Geral | |
| Electromagnetismo | → | Física IV | |
| Física Experimental I | → | Física Experimental III | |

QUÍMICA

Como já foi dada em Física I a maior parte da matéria que costumava ser dada em Química Geral, há agora espaço para se falar das diferenças entre os vários materiais, corrosão e para se abordarem novos temas.

ANÁLISE NUMÉRICA

De ressaltar apenas a continuação da existência de um trabalho de computação nesta cadeira (em Mathematica).

FÍSICA EXPERIMENTAL III

Experiências de termodinâmica e electromagnetismo.

FÍSICA IV

Electromagnetismo.

LEFT Revisitada

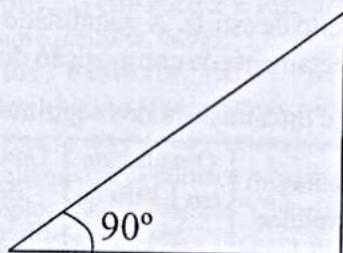
Capítulo I

O que se segue é a primeira parte de uma colecta de *gaffes* e situações cómicas registadas em aulas da LEFT. A maior parte tem já alguns anos pelo que a maioria dos leitores não identificará os “protagonistas” (na sua maioria docentes). Mas ainda que o faça, o objectivo desta publicação não é ferir susceptibilidades ou criar alvos de chacota, até porque todos temos os nossos momentos mais infelizes ou cómicos. Pretende-se, isso sim, oferecer ao leitor uma fonte de gargalhadas ou sorrisos, tão necessários naquelas alturas em que o Curso parece não ter piada nenhuma...

Prof.: Eh pá, isso é pior que fritar batatas... fritas!

Prof.: O vosso cérebro, como o cérebro de outro animal qualquer...

No quadro:



Prof.: ...um combóio a cair de um cavalo...

Prof.: Tenho uma partícula com uma certa massa \vec{v} ...

Prof.: Peço desculpa, mas não podem estar constantemente a mexer nas paredes!

Prof.: Eh pá, você só pensa no exame!

Prof.: Essa bola não subirá para cima.

No quadro: $C\bar{l}(g) + e\cdot(g) \rightarrow C\bar{l}(g)$

Prof.: Isto é como os médicos! É preciso ter olho para os sintomas que se ouvem.

Aluno: Se é a duas dimensões, então o Professor tem que ir a rastejar!

Prof.: Quanto à série de potências, não tenham problemas... Estejam à vontade... Não tenham complexos...

Prof.: ...é como chover na chuva...

No quadro :

$$\frac{dL}{dt} = \frac{dL}{dt}$$

Prof.: Se o vosso colega já percebeu, os outros também já devem ter percebido.

Prof.: ...mas é que o barco está a afogar-se!

Prof.: ...nós acreditamos que estamos aqui a falar, ao mesmo tempo que há uma erupção na Lua...

No quadro: $1 - 1 \cong 0$

No quadro:

$$L = \sum_i \vec{r}_i \times \vec{m}_i \vec{v}$$

Aluno: A Isabel disse que a partir dos 10 kg isso começa a dar barraca...

Prof.: Ó pá, se não caiu até agora, não vai cair agora...

BADUUUUUM!!!

Aviso escrito afixado: A turma de Física que tinha uma aula suplementar hoje às 13h, não tem.

Prof.: Os logaritmos têm propriedades muito boas, como transformar produtos em multiplicações.

Prof.: O L vai ser tão importante quanto o momento angular.

Prof. (dirigindo-se a um aluno apanhado a dormir): Não acha que seria mais inteligente ficar a dormir em casa, em vez de o fazer aqui?

Prof.: Vamos convidar pessoal do Departamento de Física, Marianos Gagos e porcarias dessas.

A publicidade da companhia Transgás diz-nos que o gás natural, que está a ser actualmente instalado nas casas por esse Portugal fora, é mais barato e mais ecológico (significando provavelmente que liberta menos CO₂ do que o gás anterior - o gás de cidade). Consideremos assim os casos da queima de gás, em casa:

Economia:

Uma casa precisa de queimar gás para aquecer, em média, aproximadamente 120 litros de água à temperatura de 50°, por dia. A energia necessária para tal será:

$$E = (\text{Quantidade de água a aquecer}) \times (\text{Variação da temperatura}) \times (\text{Calor específico da água})$$

O calor específico da água é 1000 cal/°C x litro.

A variação de Temperatura dar-se-á entre a temperatura da rede de distribuição (15° approxim.) e a temperatura desejada (50°).

A quantidade de água a aquecer são os 120 litros.

$$E = (120) \times (50-15) \times (1000) = 4200000 \text{ cal.}$$

Durante 1 mês terão sido consumidos trinta vezes este número:

$$E = 30 \times 4200000 = 126000000 \text{ cal}$$

Para obter este valor queimar-se-á gás natural ou de cidade. As capacidades caloríficas dos gases são:

Gás de cidade: 4200 cal / litro

Gás natural: 8600 cal / litro

Para além deste factor é necessário contabilizar as perdas devidas ao rendimento não ideal do esquentador: aproximadamente 60%

Assim, por mês, gastamos a seguinte quantidade de gás:

$$\text{Gás de cidade: } \frac{126000000}{4200 \times 0,60} \approx 50000 \text{ Litros}$$

$$\text{Gás natural: } \frac{126000000}{8600 \times 0,60} \approx 24419 \text{ Litros}$$

Quais os custos que isto representa? No nosso pagamento do gás pagamos:

- A quantidade de gás (gás de cidade: 51\$36 por 1000 litros; gás natural: 102\$98 por 1000 litros);

- A quota do serviço (gás de cidade: 659\$00 por mês; gás natural: 284\$00 por mês);

- IVA: mais 5% da soma dos valores anteriores.

Assim, os custos serão:

$$\text{Gás de cidade: } (51,36 \times 50) + (659) + \text{IVA} = 3388\$00$$

$$\text{Gás natural: } (102,98 \times 24,419) + (284) + \text{IVA} = 2939\$00$$

Ou seja, o gás natural será mais barato... aproximadamente 13%

Poluição

O problema da poluição é mais delicado. Supõe-se "poluição" como a libertação de Dióxido de Carbono (CO₂) pela combustão do gás, CO₂ que é o principal responsável pelo efeito de estufa. A quantidade de CO₂ libertado depende directamente da composição dos gases.

O gás de cidade é uma mistura dos seguintes gases:

| Composto | Percentagem em volume | Quantidade em 1 litro de gás / g | Quantidade de CO ₂ libertada / g |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------------------|---|
| Hidrogénio | 40,9 | 0,0356 | 0 |
| Mon. de Carbono | 0,04* | 0,0005 | 0,0008 |
| Dióx. de Carbono | 4,9 | 0,0962 | 0,0962 |
| Azoto | 25,8 | 0,3225 | -- |
| Árgon | 0 ** | 0 | -- |
| Hélio | 0,07 | 0,0003 | -- |
| Oxigénio | 0,41 | 0,0059 | -- |
| CH ₄ | 24,8 | 0,1771 | 0,487 |
| C ₂ H ₆ | 2,3 | 0,0308 | 0,1129 |
| C ₃ H ₈ | 0,54 | 0,0106 | 0,0333 |
| C ₄ H ₁₀ | 0,19 | 0,0049 | 0,0149 |
| C ₅ H ₁₂ | 0,04 | 0,0013 | 0,004 |
| C ₂ H ₁₀ | 0 ** | 0 | 0 |
| C ₄ H ₈ | 0 ** | 0 | 0 |
| C ₃ H ₆ | 0 ** | 0 | 0 |
| C ₄ H ₆ | 0 ** | 0 | 0 |
| C ₂ H ₂ | 0 ** | 0 | 0 |
| C ₆ H ₁₄ | 0,01 | 0,0004 | 0,0012 |

* - Valor médio: A quantidade de monóxido de Carbono pode ir até aos 3%

** - Estes gases têm presença muito pequena.

O que dá um total de 0,7503 g de Dióxido de Carbono por litro de gás.

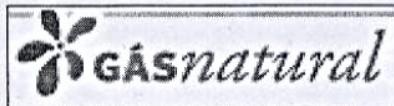
O gás natural, pelo contrário, é principalmente constituído por metano (CH₄), em 95% de volume. O resto da composição é desprezável.

1 litro de gás natural possui assim 0,59374 g de CH₄, que no processo de combustão se transformam em 1,866 g de dióxido de carbono.

Da quantidade de gás gasta temos:

Gás de cidade: $50000 \times 0,7503 = 37,5$ kg de CO₂
Gás natural: $24419 \times 1,866 = 45,6$ kg de CO₂

Ou seja, a queima do gás natural, supostamente mais "limpo" e "ecológico" é mais poluente do que o gás de cidade.



Observações:

Esta estimativa teve em conta vários factores

que a farão variar de caso a caso. Por exemplo:

- A quantidade de água dispendida, assim como a temperatura a que é utilizada, variará de casa para casa, e mesmo de pessoa para pessoa dentro da mesma casa.

- O rendimento do esquentador variará, sem dúvida, de esquentador para esquentador, e, sem dúvida, entre gases diferentes (de cidade ou natural).

- O preço do gás natural, tal como o gás de cidade, pode ser diferente para diferentes localidades.

- Por último mas mais importante: Esta estimativa apenas se refere à queima do gás doméstico, e não tem em conta a sua extração, transporte e regularização, que indubitavelmente também terá o seu custo em termos económicos e ambientais, e que serão diferentes para o gás natural e o de cidade.

Espaço Cultural

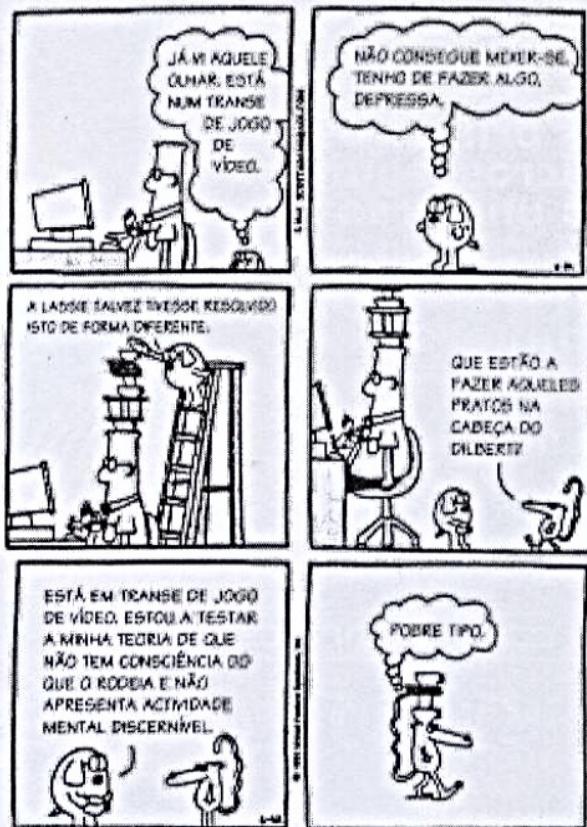


Saudades do Futuro

Encosta a tua cabeça cansada sobre o meu peito,
Deixa-me acariciar os teus cabelos devagar.
Quem dera o tempo parasse neste momento perfeito,
E que às nossas palavras de amor, nada as pudesse apagar.

Tenho saudades dos nossos sonhos para amanhã.
De correr contigo ao longo de campos de trigo.
De te salpicar de mar e areia e rirmo-nos depois.
De fazermos um picnic e lambuzarmo-nos em romã ...
Quero tanto realizar estes sonhos que trago comigo,
Vivermos sem termos que dar satisfações, só nós dois.

Adormeço à noite na esperança de acordar nestes sonhos,
Mas sei que só a seu tempo os poderemos desfrutar.
Mas o tempo não se compadece, não nos quer ver risonhos.
Passa sempre ao mesmo ritmo, e a nós ... resta-nos esperar.

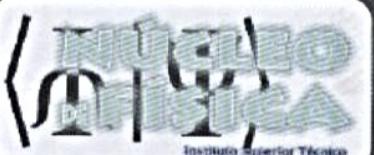


Susana Castro

4^a Semana da Física



www.fisica.ist.utl.pt/~nfist



nfist@fisica.ist.utl.pt

CENTRO DE CONGRESSOS Pavilhão de CIVIL

2 a 5 maio 2000

terça 2

16h - Abertura

"Neutrinos on earth
and heaven"

Prof. Evgeny Akhmedov

quinta 4

11h - Ainda em busca da estrutura da matéria

Prof. Mário Pimenta
LIP

16h - Apresentação da Lic.
em Eng. Biomédica
pelo Departamento de Física do IST

quarta 3

11h - Os primeiros
microsssegundos
do universo

Prof. Jorge Dias de Deus
CENTRA

sexta 5

11h - Velocidades
supraluminosas

Prof. Tito Mendonça
GOLP

16h - "Microphysical
irreversibility
and resonances"

Prof. A. Bohm
University of Texas - Austin - USA

diariamente

..... das 10h às 17h

O CIRCO DA FÍSICA

Exposição Interactiva de fenómenos físicos

simulações computacionais de sistemas físicos e software astronómico
tudo o que sempre quiseste saber sobre telescópios
mas nunca tiveste a coragem de mexer!

observações das manchas solares, e observações astronómicas
nocturnas a partir das 20h - frente ao Edifício de Pós-Graduação

APOIOS



Departamento de Física do
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Tecnodidáctica

Organização: Núcleo de Física do IST . Departamento de Física . IST . Tel.: 21 841 90 82 . Fax: 21 841 90 13