

CHRONOMÈTRE  
PACIFIC



## A anarquia e as leis da física

Os primeiros telescópios em Portugal

O tamanho do próton

# Índice

- artigo geral
- 2 **A anarquia**  
e as leis da física  
João Magueijo
- física sem fronteiras
- 9 **A propósito de  
“Relatividade  
e física clássica-  
continuidade e  
ruptura”** por António Brotas  
Olga Pombo
- física e a sociedade
- 13 A propósito do primeiro  
**doutoramento no  
Instituto Superior Técnico**
- física e a sociedade
- 17 **Longemira:** Os primeiros  
telescópios  
em Portugal  
Henrique Leitão
- crónica: pensamentos quânticos
- 22 **Um grande aplauso**  
para a biologia quântica  
Jim Al-Khalili
- crónica: física divertida
- 17 **Por um novo**  
Museu de Ciência  
em Lisboa  
Carlos Fiolhais
- 24 **Notícias**  
Filipe Moura, Pedro Abreu,  
Joaquim Santos, Gonçalo Figueira,  
Fernando Nogueira
- vamos experimentar
- 33 **Porque é que  
o relógio de  
pêndulo** atrasa  
no Verão?  
Constança Providência, Camille Ducoin
- estórias e histórias
- 35 **Ou Tuva** ou nada!  
Gonçalo Figueira
- livros
- 41 **Histórias da Luz  
e das Cores – Vol. 3**  
Gonçalo Figueira
- 42 **Einstein &  
Oppenheimer**  
O significado do génio  
Carlos Fiolhais
- onda e corpúsculo
- 43 **Doutoramentos  
em Física**  
Augusto Barroso

Imagem da capa: fotografia de Fernando Toucedo em <http://www.flickr.com/photos/80465909@N00/2265469731>

Publicação Trimestral Subsidiada



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



**Ciência. Inovação  
2010**

# Editorial

## Os ossos do ofício

A Geologia e a Biologia descobriram bem antes da Física a evolução nas grandes escalas de tempo. A razão são os ossos do ofício, isto é, os fósseis, que falaram dos tempos muito grandes como um livro aberto. Para a física, esses ossos nunca existiram verdadeiramente, até à descoberta da radiação de fundo do universo. Para agravar a situação, a cultura dos físicos é a dos invariantes e leis universais, válidas em todos os lugares e em todos os tempos. Por isso, muitas vezes os físicos tiveram dificuldades em centrar-se na evolução, no que é não estacionário e mutável no tempo. Um exemplo histórico flagrante disto e citado frequentemente é o “erro” de Einstein da constante cosmológica para garantir um universo estacionário.

Outro exemplo que eu gosto mais, por combinar gerações, conhecimentos e áreas científicas diferentes, é o do confronto entre Rutherford e Lord Kelvin sobre a idade da Terra. Não parecia razoável a Lord Kelvin que o interior da Terra pudesse ser uma fonte de calor, sempre em mutação, ou, usando a linguagem da época, em “transmutação” --- a que chamamos radioactividade. E a evidência da Terra ter 4,5 mil milhões de anos de idade, como os biólogos e geólogos teimavam já no século XIX, não demovia Lord Kelvin, nos princípios do século XX, da sua estimativa de apenas 100 milhões. Que valiam os fósseis nas rochas face aos alicerces profundos da termodinâmica e electromagnetismo clássicos? Foi, podemos dizer assim, a física nuclear que obrigou a Física a encarar que a realidade não é imutável, pois nada há a fazer quando os núcleos dos átomos teimam em mudar espontaneamente (tal como não há muito a fazer, por enquanto, para impedir o envelhecimento das células). Foi a energia resultante dessa mudança dos núcleos que poupou a Terra ao destino de um arrefecimento rápido e permitiu a vida nela, durante tempos que os contadores Geiger apontados às rochas podem medir, como fez Rutherford.

Os físicos perderam pois, face aos geólogos e aos biólogos, a iniciativa da ideia da transformação, tendo de se contentar em serem os primeiros na ideia da unificação. Por acaso esta também faz parte da grande ideia da evolução: “Há grandeza nesta visão de que a vida (...) foi originalmente bafejada apenas com um número reduzido de formas ou mesmo uma só; e que enquanto este planeta

girava de acordo com a imutável lei da gravidade, de um começo tão simples, evoluíram, e continuam a evoluir, intermináveis formas, tão belas e deslumbrantes”, diz Charles Darwin *in* Origem das Espécies, em 1859.

Apesar de a Física ter sido considerada a Ciência central do século XX, só século e meio depois de Darwin é possível a heresia de João Maqueijo sobre as leis da Física: “terão sido diferentes quando o universo era muito jovem? Será inclusivamente possível que no universo primordial não existissem quaisquer leis, e que as leis que hoje ensinamos aos nossos alunos sejam um estado emergente e auto-organizado de um sistema intrinsecamente desregrado? “. Existe o correspondente aos fósseis, para dar base sólida a esta hipótese? Seja como for, é finalmente admitida na Física a provocação da ideia da evolução na concorrência permanente de possibilidades (ao acaso?) na evolução do Universo, e não só das Espécies. A ordem emergente da cegueira do caos.

Esta noção invade-nos facilmente o pensamento. Porque nos ajuda, quase como a religião pode ajudar, a aceitar melhor o paralelo entre viver e morrer. Com o conforto da fragilidade ser a força de evolução do universo. Essa viagem de evolução este ano fez desaparecer dois físicos portugueses, Manuel Alves Marques e João Resina, que, no fluir imparável dos tempos, marcaram uma nova geração de outros físicos formados no IST. A descoberta por acaso de um belo documento histórico da física do século XX em Portugal, escrito em 1962 por Noémio Marques, leva-me a citar António Silveira que detecta em Alves Marques, aluno “desalmado”, “a necessidade irreprimível de se libertar, uma ânsia inelutável de se escapar – de escapar a condição humana”. Que é como quem diz, do vazio da imensidão das escalas de tempo face à de uma vida. Através dos ossos do ofício?

Para nos animar, reiterando a ideia de evolução natural, vale a alegria e ar de desafio da fotografia dos jovens da equipa portuguesa na Olimpíada Internacional de Física IPhO’2010, que decorreu em Zagreb, Croácia de 17 a 25 de Julho de 2010. Pose profissional num tom descontraído-chique. Preparando-se para o ofício? E para criar *suspense*, a notícia do artigo da *Nature* pondo em causa o valor conhecido para o raio do próton, a partir de medições sobre o “desvio de Lamb” no átomo de hidrogénio muónico: se a experiência estiver certa, como parece estar, das duas uma: ou os cálculos feitos para a análise dos resultados têm um erro (pode acontecer aos melhores!) ou então... podem vir aí novidades sobre a polarização do vácuo e as partículas supersimétricas?

Teresa Peña

## Ficha Técnica

### Propriedade

Sociedade Portuguesa de Física  
Av. da República, 45 – 3º Esq.  
1050-187 Lisboa  
Telefone: 217 993 665

### Equipa

Teresa Peña (Directora Editorial)  
Gonçalo Figueira (Director Editorial Adjunto)  
Carlos Herdeiro (Editor)  
Filipe Moura (Editor)  
Tânia Rocha (Assistente Editorial)  
Adelino Paiva (Assistente Editorial)  
Ana Sampaio (Tradutora)

### Secretariado

Maria José Couceiro  
mjose@spf.pt

### Colunistas e Colaboradores regulares

Ana Simões, Carlos Fiolhais, Constança Providência, Jim Al-Khalili

### Colaboraram também neste número

Augusto Barroso  
Fernando Nogueira  
Henrique Leitão  
João Magueijo  
Joaquim Santos  
Olga Pombo  
Paulo Ivo Teixeira  
Pedro Abreu

### Design / Produção Gráfica

Dossier, Comunicação e Imagem  
www.dossier.com.pt

NIPC 501094628

Registo ICS 110856

ISSN 0396-3561

Depósito Legal 51419/91

Tiragem 1.800 Ex.

Publicação Trimestral Subsidiada

As opiniões dos autores não representam necessariamente posições da SPF.

Preço N.º Avulso €5,00 (inclui I.V.A.)

Assinatura Anual €15,00 (inclui I.V.A.)

Assinaturas Grátis aos Sócios da SPF.

# A anarquia e as leis da física<sup>1</sup>

João Magueijo

Department of Physics, Imperial College London,  
South Kensington Campus, London SW7 2AZ, Reino Unido

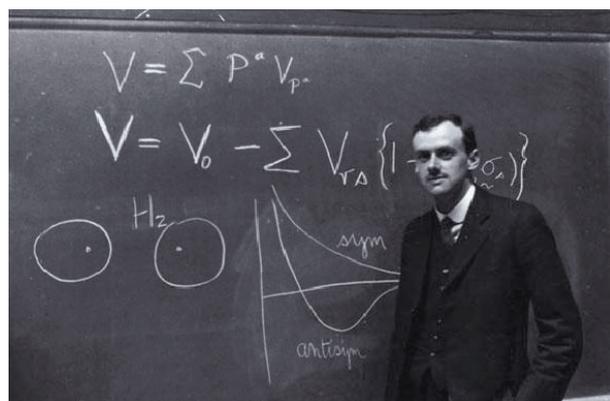
O que hoje vou aqui dizer talvez não faça muito sentido, portanto espero não ser levado demasiadamente a sério. O assunto que vou tratar é sem dúvida muito sério; o que dele tenho a dizer sê-lo-á algo menos. O que me proponho discutir é simplesmente: será a física tão cumpridora das suas leis como gostaríamos que fosse? Habitúamo-nos a pensar na física como um conjunto de leis que nos chegam pré-embaladas, caídas do céu, por assim dizer, e é-nos dito que, enquanto físicos, teremos que lhes obedecer, porque o mundo é assim.

Levantam-se de imediato numerosas dúvidas: poderiam estas leis, mesmo hipoteticamente, ser diferentes do que são? Terão elas de facto sido diferentes quando o universo era muito jovem? Será inclusivamente possível que no universo primordial não existissem quaisquer leis, e que as leis que hoje ensinamos aos nossos alunos sejam um estado emergente e auto-organizado de um sistema intrinsecamente desregrado? Uma possibilidade ainda mais constrangedora é que as leis da física mudem de forma insidiosamente subtil e que estejam a alterar-se neste preciso instante, só que muito pouco.

Faz sentido pôr em causa a estabilidade da física que nos é apresentada nos compêndios, porque às vezes as coisas são bem menos ordenadas do que se diz. Na verdade, a variabilidade das leis da física tem uma linhagem perfeitamente respeitável, a qual remonta à Cambridge da década de 1930.



Como se vê na figura, chove muitíssimo nas Fenlands, e portanto as pessoas não têm nada melhor para fazer do que pôr em causa a estabilidade da física. E foi isso mesmo que este senhor fez:



AIP Emilio Segrè Visual Archives

Paul Adrien Maurice Dirac, o destemido autor do artigo que abriu a Caixa de Pandora da variabilidade nas leis da física. Não resisto a observar que Dirac

1. Este artigo é a tradução e adaptação da Lição Inaugural proferida pelo autor ao assumir a Cátedra de Física Teórica no Imperial College da Universidade de Londres, Reino Unido, no dia 23 de Janeiro de 2008. O vídeo parcial da Lição encontra-se disponível em:

[http://www3.imperial.ac.uk/physics/about/events/archive/previous\\_inaugurals/magueijo](http://www3.imperial.ac.uk/physics/about/events/archive/previous_inaugurals/magueijo).

A tradução é de Paulo Ivo Teixeira, do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e Centro de Física Teórica e Computacional da Universidade de Lisboa, com revisão pelo autor.

escreveu este artigo histórico durante a sua lua-de-mel. Não consta o que a sua recém-casada mulher terá pensado disto... mas trata-se de um artigo absolutamente crucial. A citação que se segue é extraída de um trabalho posterior, mas o conteúdo é o mesmo:

*“Uma área científica onde tem havido especulação a meu ver excessiva é a cosmologia. Embora haja muitos poucos factos sólidos em que se basear, os físicos teóricos têm-se entretido a construir diversos modelos do universo, fazendo as suposições mais do seu agrado. Esses modelos estão provavelmente todos errados.”*

Dirac era habitualmente bastante malcriado. Mas prossigamos.

*“Supõe-se frequentemente que as leis da Natureza foram sempre aquilo que são agora. Não há nenhuma justificação para isto. As leis podem ter vindo a mudar, e em particular grandezas consideradas como constantes universais podem ter variado ao longo das eras cosmológicas. Variações desse tipo invalidariam por completo os modelos cosmológicos em voga.”*

Esta questão é realmente muito profunda. Na verdade, não é uma, mas sim *duas* questões muito profundas, perfeitamente distintas. Em primeiro lugar, pergunta-se se as constantes da natureza variam no tempo; em segundo lugar, mais radicalmente, se as próprias leis da física variam no tempo. Pôr em causa a estabilidade das leis da física é muito mais revolucionário. Poderia suceder que uma constante universal que entra numa determinada lei variasse, dando, portanto, a impressão de que essa lei varia no tempo. Mas poderia acontecer que a variabilidade dessa constante universal fosse governada por uma super-lei, essa sim verdadeiramente invariante, não se podendo, portanto, realmente dizer que as leis da física variassem. Pelo contrário, quando afirmamos que as leis da física variam, estamos a negar a existência de uma tal super-lei. Logo, afirmar que as leis da física – e não apenas as constantes da natureza – variam é muitíssimo mais dramático, mais terrível, mais lunático... O que nos leva a perguntar: o que terá levado Dirac a abordar tal extremismo (e logo durante a sua lua-de-mel)?

Superficialmente, teve decerto que ver com a cosmologia, o estudo do nosso universo. Em particular um aspecto da cosmologia tão bem descrito por Lev Landau:

*“Os cosmólogos erram com frequência, mas raramente duvidam.”*

No contexto da cosmologia, é de facto uma extra-

polação gigantesca afirmar que as leis da física que observamos aqui e agora tenham sido sempre as mesmas durante toda a longa história do universo, desde a aurora dos tempos. Não há qualquer razão para se acreditar que assim seja, é uma extrapolação quase ridícula, que nos aconselha a, no mínimo, adoptar uma atitude céptica. Talvez as leis da física fossem diferentes no passado.

Mas o que levou Dirac a interrogar-se sobre este assunto foi mais do que um saudável cepticismo, foi uma outra questão fundamental: o problema da origem das constantes da natureza. Porque tomam elas os valores que tomam? Sabemos que  $\pi$  é igual a 3,1415... etc., etc. ... e neste caso também sabemos porquê: o valor de  $\pi$  é o que é por várias razões geométricas e matemáticas. O mesmo já não acontece com os valores de muitas outras constantes universais: as massas do electrão e do protão, a carga do electrão, e muitas outras que aparecem nas leis da física. Como por exemplo a constante de estrutura fina, medida pela primeira vez nos espectros atómicos:

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$$

Esta constante, em cuja definição entram a carga do electrão  $e$ , a constante de Planck  $\hbar$  e a velocidade da luz  $c$ , tem um valor aproximadamente igual a um cento e trinta e sete avos. Porquê este valor tão específico, e não outro? Na altura em que Dirac avançou a sua ideia anarquista de leis mutáveis, acreditava-se piamente que pudesse existir uma relação entre os valores das constantes matemáticas (como  $\pi$  e  $e$ , todas elas perfeitamente compreensíveis) e os valores das constantes físicas. Mais precisamente, pensava-se que as constantes físicas deveriam poder exprimir-se em função das constantes matemáticas. Através de manipulações numerológicas de factores de  $\pi$ , 2 etc., talvez se conseguisse chegar à constante de estrutura fina. Foi o que Heisenberg propôs, quando fez notar que

$$\alpha \approx \frac{\pi}{2^4 3^3} \approx \frac{1}{137}$$

Assim, sabendo nós porque tem  $\pi$  o valor que tem, esta expressão, que nos dá  $\alpha$  em função de  $\pi$ , explica porque tem  $\alpha$  o valor que tem. O que, à partida, parecia razoável.

Só que se fizeram medições mais precisas e verificou-se que  $\alpha$  afinal não era exactamente igual a  $1/137$ ; foram aparecendo cada vez mais casas decimais. Propôs-se então que

$$\alpha \approx \frac{9}{8\pi^4} \left[ \frac{\pi^5}{2^4 5!} \right]^{1/4}$$

o que já não parece assim tão boa ideia.

Num certo sentido, ao pôr em causa a imutabilidade das constantes e das leis da física, Dirac estava a opor-se à numerologia. Talvez, sugeriu ele, estas constantes não sejam afinal constantes, mas sim mais um exemplo dos campos

que entram em teorias físicas. Mas campos muito rígidos, cuja variação (no espaço ou no tempo) exige o dispêndio de enormes quantidades de energia, e que, por isso, nos dão a impressão de serem constantes, dado o ambiente que nos rodeia ser pouco emocionante: inserido num universo velho e frio, e longe de campos gravíticos intensos. Colocásemos nós, porém, esse campos em situações extremas, como a vizinhança de um buraco negro ou o universo primordial, e vê-los-íamos revelar a sua verdadeira identidade de variáveis dinâmicas.

Nesta nova perspectiva, o problema das “constantes” altera-se completamente: os valores observados são meramente circunstanciais, determinados pela história do universo e pela dinâmica dos respectivos campos. Nunca me ocorreria deduzir uma fórmula recheada de  $\pi$ 's e outras constantes matemáticas para explicar a iluminação duma sala: ela é o que é porque alguém acendeu a luz. De igual modo, talvez o valor de  $\alpha$  seja determinado pela história do nosso universo e pela dinâmica e evolução de campos associados às constantes.

Vista deste ângulo, a questão muda completamente de figura e a melhor maneira que encontrei de o ilustrar é a seguinte história. Este insigne senhor – o físico Wolfgang Pauli, famoso entre outras coisas pelo neutrino e pela teoria do spin – estava de tal forma obcecado pelo número um centro e trinta e sete avos que, ao ser internado no hospital com a doença que o haveria de matar, insistiu em que o pusessem no quarto nº 137.



Mas, se a hipótese de Dirac fosse correcta, esse quarto não teria nada de especial: se Pauli estivesse a morrer daqui a mil milhões de anos, pediria antes para ficar no quarto nº 138. O número 137 não tem nada de particular, e o facto de aparecer em  $\alpha$  é temporário. O valor correntemente observado da constante de estrutura fina, bem como os de todas as outras constantes da natureza, é fruto das circunstâncias, e fugaz.

Mas o que tem tudo isto a ver com a variabilidade das leis da física, a segunda e mais profunda questão levantada por Dirac? Para o compreender é preciso dar um passo em frente (“one step beyond”)



e chegar de facto à loucura (“madness”) total. E é aqui que entra a teoria da velocidade da luz variável – a portadora da necessária loucura. Impõe-se, porém, que façamos primeiro um pequeno desvio. é composta por diferentes ingredientes: a carga do electrão, a constan-

te de Planck e a velocidade da luz. Se varia, qual destas “constantes” é responsável pela variação?

É habitual falar-se num  $\alpha$  variável, e não nos parâmetros que entram na sua fórmula, porque  $\alpha$  é um número puro, sem unidades e, portanto, um objecto bem definido, no sentido em que não é afectado pelas tautologias inerentes à definição de unidades em física. Mas, quando nos interrogamos “qual destes componentes,  $e$ ,  $h$  ou  $c$ , está a variar?”... bem, todos eles têm unidades, por exemplo  $c$  é uma velocidade, logo esbarramos inevitavelmente no problema de como definir “unidades rígidas” quando até as supostas constantes da natureza poderão estar a variar. Decorre igualmente que não será fácil decidir qual das três constantes –  $e$ ,  $h$  ou  $c$  – é responsável pela variação de  $\alpha$  no âmbito de uma dada teoria.

Isto fez confusão a muita gente. Houve até quem afirmasse que não faz sentido falar em  $c$  variável, mas apenas em  $\alpha$  variável, uma vez que este não tem dimensões. Claro que tal argumento aplica-se igualmente a um  $e$  variável, só que ninguém parece ter dado por isso até eclodir o “escândalo” da velocidade da luz variável. Esta observação é de cariz sociológico, mas o problema é bem real, quer se fale de um  $e$  variável ou de um  $c$  variável. O problema das constantes com dimensões é que os seus valores dependem das definições das respectivas unidades. O valor de  $c$  é diferente consoante se use milhas ou quilómetros para medir distâncias. Podemos eliminar a variabilidade simplesmente redefinindo as unidades: por exemplo, medindo a distancia em anos-luz e o tempo em anos,  $c$  será sempre igual a 1: a 1 ano-luz por ano! Querirá isto dizer que nunca poderemos, então, falar da variabilidade de constantes com dimensões?

Vou contar uma rábula que talvez ilumine o assunto. No tempo de Galileu, acreditava-se que a aceleração da gravidade era constante. Por mais que nos afastássemos da Terra, a aceleração da gravidade seria a mesma que à sua superfície. Presumivelmente, tomaria idêntico valor na Lua, ou em qualquer outra parte do universo. O que Newton fez, para explicar as órbitas dos planetas, as leis de Kepler, etc., foi afirmar que a aceleração da gravidade devida a um corpo de massa  $M$  é inversamente proporcional ao quadrado da distância a que dele nos encontramos, e directamente proporcional à sua massa:

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

Na perspectiva de Newton, o que é constante já não é  $g$ , mas sim a constante de proporcionalidade,  $G$ , que aparece na expressão da lei que nos dá  $g$ . Mudança de perspectiva esta que envolve unidades, e as suas tautologias, uma vez que  $g$  é uma aceleração.

E, tal como no caso da velocidade da luz, é possível tornar  $g$  novamente constante, simplesmente redefinindo as suas unidades. Mesmo no âmbito da fenomenologia newtoniana. Não acreditam? Suponhamos que meço o tempo com um relógio de pêndulo, daqueles antigos, como havia na casa dos meus avós. Mas meço o tempo assim não só na Terra, mas também na Lua, ou numa nave espacial, em qualquer parte do Universo. Se a nossa unidade de tempo for o período do pêndulo, então Galileu tinha razão:  $g$  é constante, *mesmo no quadro da fenomenologia de Newton*. Nestas unidades, a aceleração da gravidade na Lua, por exemplo, é a mesma que na Terra, que é a mesma numa nave espacial onde quer que ela esteja... resumindo, em qualquer parte, desde que eu meça o tempo com um relógio de pêndulo.

O que transforma a teoria newtoniana numa teoria de  $g$  variável é apenas o facto de medirmos o tempo com relógios electromagnéticos (do simples relógio de corda ao mais sofisticado relógio atómico). Mas seria idiotice utilizar quaisquer outras unidades na descrição da fenomenologia newtoniana: um  $g$  variável (e um tempo medido electricamente) torna **enunciado** das leis da física muito mais simples.

Este exemplo mostra que em física se podem fazer – e se fazem – afirmações acerca da variabilidade (espacial ou temporal) de grandezas dimensionais, ou seja, com unidades. Fazê-lo equivale a definir um sistema de unidades e, embora tautológica, como todas as definições, a definição de um sistema de unidades nunca é gratuita: normalmente é a que permite exprimir a fenomenologia da forma mais simples. E o exemplo que acabo de dar é mais do que uma analogia histórica: Se  $\alpha$  variar, é como se todos os nossos sofisticados relógios atómicos, que nos dão as modernas unidades temporais, fossem um pouco como os relógios de pêndulo. Portanto, ao interrogarmo-nos sobre “O que é que varia em  $\alpha$ ?” estamos na realidade a interrogar-nos sobre toda a fenomenologia, a qual seria diferente consoante fosse  $e$ , a constante de Planck ou a velocidade da luz a variar.

Podemos agora voltar ao ponto de partida: a variabilidade das leis e sua possível relação com a variabilidade de  $c$ . Uma consequência bem conhecida de atribuir a  $c$  as culpas da variação de  $\alpha$  é que deixa de haver invariância de Lorentz. Mas um  $c$  variável pode também introduzir variabilidade nas leis da física. A velocidade da luz é parte tão íntima das leis da física que, ao deixá-la variar da forma mais brutal possível em todas as leis, excluimos qualquer possibilidade de existência de uma superlei invariante. Logo, uma consequência possível de se atribuir as culpas de um  $\alpha$  variável a um  $c$  variável é que as leis da física sejam intrinsecamente dependentes do tempo.

Esta afirmação é dramática. Fisicamente e, infelizmente, não só.

Para começar, quem a faz inevitavelmente atrai as atenções da imprensa, nem sempre ao nível desejado. Veja-se, por exemplo, esta manchete, de que muito me orgulho, embora não compreenda bem o que quer dizer: “*People who work on varying speed of light are the Punk Rockers of physics.*” Fascinante, não? Os Sex Pistols da física. A imprensa portuguesa foi um pouco mais morigerada: admitir a possibilidade de a velocidade da luz variar conquista-nos, ao que parece, um lugar na “outra selecção”.



Tudo isto se passou logo a seguir ao Euro 2004, altura em que as fotos da selecção nacional estavam por toda a parte. Esta era a “selecção alternativa”. Um cosmólogo, como se vê, é retratado de telescópio na mão, envergando uma linda camisa com estrelas e outros astros. E na companhia de celebridades, como o senhor na ponta esquerda da fila da frente, que não era, então, ainda tão famoso como viria a tornar-se, mas as coisas são mesmo assim...

Nada disto, insultuoso ou lisonjeiro, faz, na verdade, grande sentido. Para encontrarmos a perspectiva sociológica correcta, deixem-me referir um facto pouco conhecido: que a primeira teoria da velocidade da luz variável foi proposta pelo próprio Einstein, em 1911. Fê-lo por razões que não são as que actualmente motivam quem investiga a variabilidade de  $c$ . Não quero subverter a história: as razões que o impeliram foram muito diferentes. Mas parece-me que há uma importante lição a tirar aqui: que o ilustre senhor que está por trás da invariância de  $c$  – hoje aceite como dogma – não era, ele próprio, nada dogmático a esse respeito. Se tivesse encontrado uma boa razão para abandonar o princípio que propusera, estaria disposto a fazê-lo.

É claro que em 1911, Einstein residia em Praga, e pessoas maldosas houve que sugeriram origens bem diferentes para uma ideia tão radical. Mas isso será outra história.



Hebrew University of Jerusalem

De qualquer modo, a ideia que quero transmitir é que existe uma motivação física para a variabilidade das leis – a qual tem consequências físicas dramáticas. Não se trata de uma questão metafísica – pelo contrário, é uma questão muito física, pela seguinte razão: existe uma ligação muito interessante entre as simetrias das leis da natureza e as grandezas conservadas, que aparecem em teoremas de conservação como seja para o momento linear, energia, momento angular, etc. E foi esta senhora, Emmy Noether, que o demonstrou, com grande generalidade.



Segundo o chamado “Teorema de Noether” a toda e qualquer simetria está associada a conservação de uma grandeza física. É um teorema espantoso, que nos permite explicar de forma elegante a emergência de leis de conservação em sistemas diversos. Mas uma implicação do teorema de Noether é que podemos, portanto, perguntar que princípio de conservação estaremos a deitar borda fora quando deixarmos as leis da

física variar e, portanto, destruímos a simetria temporal da física. Ora sucede que a invariância da física relativamente a translações no tempo está relacionada com a conservação da energia. Logo, ao fazer afirmações estultícias do género “O universo não só está em mudança, mas também o estão as próprias leis que o regem”, está-se a afirmar algo muito violento: está-se a dizer que o princípio de conservação da energia tem de ser violado. O que nada tem de metafísico. Na verdade, penso que todos concordam que não existe nada de fisicamente mais concreto do que energia aparecer ou desaparecer.

Regressando ao dilema de Dirac – à importante diferença entre meras constantes que variam e leis variáveis – descobrimos agora que, se escolhermos a segunda possibilidade, estaremos a fazer uma previsão muito concreta: que a conservação de energia deveria ser violada. Habitualmente, quando a energia parece não se conservar, sucede apenas que nos esquecemos de contabilizar alguma das suas parcelas. Por exemplo, se a energia mecânica não se conserva, é porque parte dela se transformou em calor, ou em qualquer outra forma de energia que perfaz a diferença. Se contabilizarmos todas as parcelas, normalmente acabamos por verificar que a energia, afinal, se conserva. Sempre foi assim... Mas se as leis da física forem variáveis, tudo muda, dada a estreita relação entre simetrias e leis da física imposta pelo teorema de Noether. A energia deixa, de facto, de ser conservada.

Esta é a face oculta de um universo verdadeiramente em evolução, um universo em que não só o conteúdo material muda (o que é um facto), mas onde as próprias leis que o



Garzia Banini-Feyerabend

governam estão em mudança. Será isto anarquista? Bem, só em alguns sentidos, mas certamente que não no sentido proposto por Feyerabend – que, como se sabe, é o mestre da anarquia filosófica em ciência, que eu muito aprecio, mas que não é para aqui chamada. Além de que eu podia bem ter proposto algo ainda mais anarquista.



Blackstone-Shelburne, New York, courtesy AIP Emilio Segre Visual Archives, Wheeler Collection

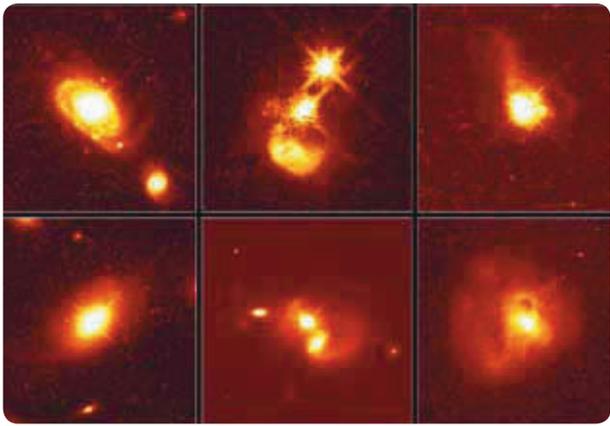
Será talvez surpreendente que tudo possa ainda ser bem mais radical. Um exemplo extravagante: algum tempo atrás, John Wheeler avançou a estranhíssima hipótese de que, no princípio do universo, poderá

nem ter havido leis, mutáveis ou não, mas apenas um sistema ocasionalmente auto-organizado, cuja evolução o conduziu, pelos menos em algumas regiões, a um estado aparentemente ordeiro ao nível macroscópico. Por trás das aparências, porém, não existiriam quaisquer leis.

É o que se passa, por exemplo, em teoria quântica de laçadas: os estados microfísicos não têm invariância de Lorentz, são irregulares, não locais e não causais. Só na fase fria que corresponde ao nosso universo contemporâneo é que nos é permitido fazer médias macroscópicas, as quais aparentam o comportamento organizado, regular, causal que nos é familiar.

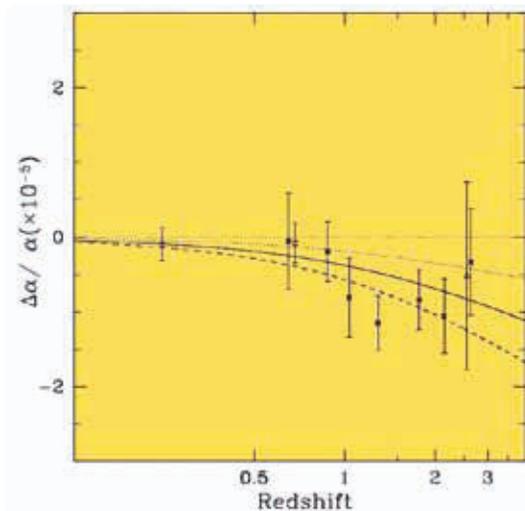
A meu ver, o único problema desta visão mais anarquista é que torna extremamente difícil prever o que quer que seja, pelo menos no estado corrente destas teorias. O tipo de variabilidade que introduzi com a teoria da velocidade da luz variável, pelo contrário, é directamente “física experimental” e permite fazer previsões acerca da conservação de energia, as quais podem ser testadas no laboratório.

E, já que falo em previsões, permitam-me que refira que existem *alguns* indícios de que  $\alpha$  varia. Há uns anos, um grupo de astrónomos efectuou observações sobre quasares. Os quasares são objectos astronómicos muitíssimo distantes: situam-se a vários milhares de milhões de anos-luz de nós, razão pela qual os vemos como eram no passado, há milhares de milhões de anos.



J. Bahcall (Institute for Advanced Study), M. Disney (Uni. Wales) e NASA

A partir dos espectros da luz dos quasares é possível determinar o valor da constante de estrutura fina no passado. Recorde-se que se chama “constante de estrutura fina” porque foi descoberta ao estudar-se a “estrutura fina” dos espectros atômicos. O gráfico que a seguir apresento mostra o valor de  $\alpha$  em função do tempo.



H. B. Sandvik, J. D. Barrow and J. Magueijo, Phys. Rev. Lett. 88, 031302 (2002)

Como se pode ver, existem alguns indícios, não de muito boa qualidade, mas alguns indícios, de que, ao recuarmos no tempo,  $\alpha$  poderá estar a variar.

Quanto às minhas outras previsões, acerca de um  $c$  variável e da variabilidade das próprias leis da física, a conversa é outra – não existem quaisquer indícios experimentais. A variabilidade de  $\alpha$  pode ter vindo para ficar. Se decorre daqui que  $c$  é variável, ou que as leis da física são intrinsecamente variáveis, é outra história. Mas é uma questão em aberto.

Espero ter demonstrado a possibilidade da mutabilidade das leis da física e a sua ligação com um  $c$  variável. Trata-se de uma possibilidade do foro da física, não da metafísica, com implicações, por exemplo, para o teorema da conservação da energia. Poucos se têm apercebido disto, o que reflecte o facto de os físicos, numa altura em que teorias de cordas e pior são a moda, às vezes não distinguirem claramente questões físicas e metafísicas. Mas não

há aqui nada de novo. Parece-me muito curioso que a primeira pessoa que examinou a possibilidade de a velocidade da luz variar tenha sido Lord Kelvin, em 1874, no quadro de uma investigação experimental (e não de uma teoria). Em 1874, a variabilidade de  $c$  era uma questão experimental e não escandalizava ninguém. Depois veio o ano-milagre de 1905, em que Einstein propôs a sua teoria da relatividade. E repare-se agora nesta extraordinária afirmação que Eddington fez, na década de 1930:

“Um valor de  $c$  variável é auto-contraditório.”

Isto é um disparate completo. É mesmo uma das coisas mais estúpidas que já ouvi em toda a minha vida. Quem não souber nada de física, ao ler isto, ficará com a impressão de que, até 1905, a física era auto-contraditória. Não me parece que o fosse, a constância de  $c$  **não** é puramente uma questão de lógica, mas **sim** de experiência. A relatividade nasceu da confluência de um enorme conjunto de observações, famosamente as experiências de Michelson-Morley, mas mais geralmente todas as experiências e observações que conduziram à teoria electromagnética de Maxwell. A relatividade obviamente usa lógica, mas nasceu, acima de tudo, de dados experimentais.

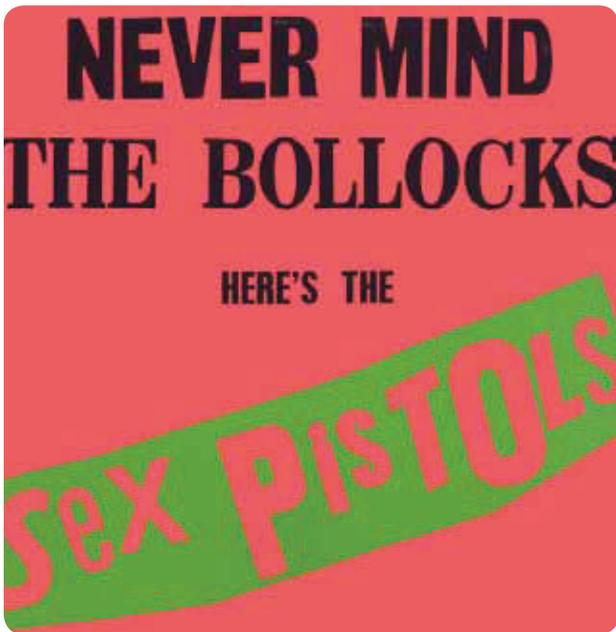
De certa forma, é natural ficar com a impressão errada. Actualmente, a velocidade da luz é constante por definição, devido à maneira como definimos as unidades de espaço e tempo, logo podemos ficar com a impressão de que é uma necessidade lógica. Mas, como tentei mostrar com o exemplo do pêndulo e a aceleração da gravidade, tais definições não aparecem num vácuo. Nunca teríamos definido as unidades actuais se não existisse um grande conjunto de dados experimentais (sejam eles as leis de Kepler ou o electromagnetismo de Maxwell) cuja interpretação fica mais simples com as definições que escolhemos. Se surgissem novos dados que tornassem necessário redefinir as unidades, seríamos obrigados, por força da experiência, a considerar um  $c$  variável. Tal como fomos obrigados a considerar uma aceleração da gravidade variável no passado.

Sucedem, porém, que a invariância de  $c$  faz parte tão íntima da nossa maneira actual de fazer física, e não só da forma de definir unidades, mas também do modo como utilizamos o formalismo e escrevemos equações, que um  $c$  variável se nos afigura como uma impossibilidade lógica. Isso deve-se exclusivamente ao facto de termos perdido de vista os dados experimentais que conduziram ao presente formalismo, que outrora não existia, e que virá, talvez, a revelar-se supérfluo no contexto de novos dados experimentais. Mas, nos dias de hoje, tal é a obsessão com formalismo e matemática que a física se perde de vista. Neste contexto parece-me muito apropriado citar Einstein:

“Desde que os matemáticos invadiram a relatividade, eu próprio deixei de a entender.”

O formalismo e as definições mataram as motivações físicas que lhes deram origem. Considerem-se, por exemplo, as

nossas definições das unidades de espaço e de tempo. A unidade de tempo é definida a partir de uma transição atómica; a unidade de espaço é definida como a distância percorrida pela luz durante essa unidade de tempo. Logo, a velocidade da luz é constante por *definição*. É como se disséssemos que a velocidade da luz é um ano-luz por ano! É uma tautologia: por definição,  $c$  não pode variar. Mas nunca utilizaríamos semelhante definição, nem o formalismo que lhe está por trás, se a fenomenologia que deu origem à teoria da relatividade não estivesse correcta. Por isso, na sua exasperação com os matemáticos, o que Einstein estava realmente a dizer poderia ser traduzido para a linguagem dos Sex Pistols como “*Never mind the bollocks*”:



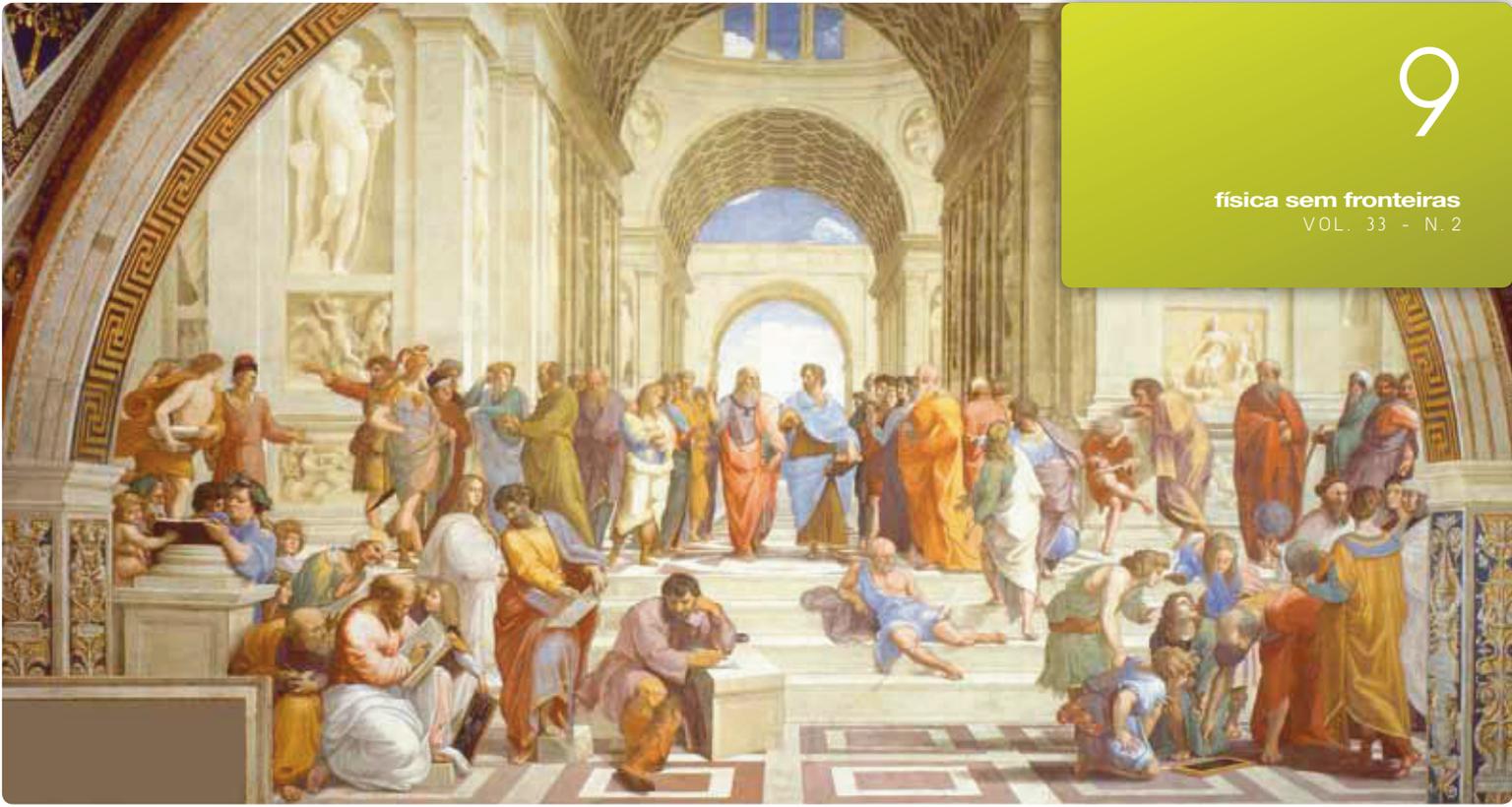
Porque a relatividade tem que ver com observações, e não com conversa fiada. Então, se a invariância da velocidade da luz é um possível facto experimental, a sua variabilidade é-o igualmente. Tal como o será a variabilidade das leis da física. E esta é uma afirmação geral sobre tudo aquilo que nasce de dados experimentais. Termino com uma citação de Hertz:

“O que vem da experiência pode sempre ser rectificado pela experiência.”



### João Magueijo

nasceu em Évora em 1967. Doutorou-se na Universidade de Cambridge em 1993, após o que se tornou *Research Fellow* do St. John's College. Em 1996 mudou-se para o Imperial College London, onde começou por ser Royal Society Research Fellow e é actualmente docente. Foi elevado a Professor Catedrático em 2006. Os seus interesses científicos têm oscilado entre os aspectos observacionais e lunáticos da cosmologia.



# A propósito de “Relatividade e física clássica – continuidade e ruptura” por António Brotas

Olga Pombo

Centro de Filosofia das Ciências da Universidade de Lisboa

**Comentar um livro<sup>1</sup> de uma admirável figura de intelectual, de homem de ciência, de professor universitário, de político, de cidadão é sempre uma tarefa difícil.**

No caso presente assim acontece. Não sendo eu física, como falar de um livro de que não sei falar? É certo que, na página 131, o autor declara, “Este não é um livro de Física mas um livro em que se fala de Física”. Mas, não sendo eu física, como atrever-me a falar do conteúdo de um livro que, não sendo embora de Física, é “um livro em que se fala de Física”?

No entanto, talvez seja possível encontrar uma solução que honre o autor e não me obrigue a falar do que não sei. Um livro é uma caixa de surpresas, um lugar esplendoroso onde se podem sempre encontrar sentidos insuspeitados, lugares inesperados. Por mais cifrado que seja, um livro é sempre habitado por diversas vozes e susceptível de ser lido de diversos modos. Nesta caso concreto, o que talvez possa fazer – o que vou fazer – é tão só repescar

algumas passagens, em alguns casos apenas algumas frases, e ver de que modo elas podem abrir para os problemas da filosofia da ciência de que me ocupo.

Assim, na página XIV da *Apresentação* do livro pode ler-se: “Para os físicos já avançados na idade, pode começar a ser interessante olhar, não directamente para a física, mas para o modo como os físicos fazem física”. Logo aqui o livro interpela a filosofia da ciência de forma quase subliminar. Como se a filosofia da ciência fosse necessariamente tarefa para cientistas em fim de carreira.

A passagem citada insinua um nó de problemas: como ser cientista e simultaneamente olhar a ciência? Não equivaleria isso, como diria Augusto Comte, a estar à janela e ver-se passar na rua? E como ser cientista sem olhar, sem nunca ter olhado, para a ciência que se faz? E, como ser filósofo e olhar a ciência que se não faz? Dito de outro modo: será necessário ser cientista para poder olhar para o modo de fazer ciência, ou seja, para poder ser filósofo da ciência? Será que só os cientistas podem ser filósofos da ciência? Poderá a filosofia da ciência ser tarefa de cientistas? Não estarão os cientistas, jovens ou em fim da carreira, condenados a fazer uma filosofia da ciência ingénua, necessariamente incauta pela ausência de conhecimento da tradição filosófica? Não

1. Ver recensão sobre este livro publicada na Gazeta de Física, vol. 33, núm. 1 (2010).

estarão os cientistas condenados a fazer uma “filosofia espontânea dos cientistas” como dizia Althusser? Deverá então a filosofia da ciência ser uma tarefa de ela mesma científica? Objecto de uma ciência específica, a constituir ainda, seja ela a epistemologia dialéctica de Bachelard, a epistemologia genética de Piaget ou a epistemologia naturalizada de Quine? Ou será que a filosofia da ciência só pode ser tarefa de puros filósofos? Será esse o caso de Kant e Hume? Será que Comte, Carnap ou Reichenbach são puros filósofos? Que dizer de Popper, Kuhn e Lakatos, van Fraassen ou Putnam?

## A natureza da ciência

Nas páginas 52-53 lê-se a dado passo: “Em 1956, dois engenheiros electrotécnicos, Arno Penzias e Robert Wilson, que trabalhavam em antenas para detectar emissões de rádio provenientes dos astros, detectaram uma radiação electromagnética vinda de todas as direcções, a que, em conformidade com as formulas de Planck conhecidas desde o início do século XX, corresponde a temperatura de 3,5 graus Kelvin.”

Mais uma passagem que abre para um outro nó de problemas de que a filosofia da ciência se ocupa. Por um lado, aqueles que se prendem com a relação entre ciência pura e ciência aplicada. Bem sabemos que hoje em dia essa clivagem aparece frequentemente como destituída de sentido. Mas, será ela ainda pertinente? Poderá ela ainda dar conta da diferença de regimes de trabalho entre actividades operatórias (dos engenheiros), que visam a solução de problemas concretos, e aquelas teóricas ou contemplativas (dos cientistas puros) que procuram desvendar os segredos do mundo?

Por outro lado, aqueles que dizem respeito ao facto de os engenheiros estarem a trabalhar com um determinado objectivo e descobrirem outra coisa que não estava prevista. Aqui se insinua um problema maior da filosofia da ciência. O que é a descoberta científica? Que princípios a determinam? Que circunstâncias a explicam? Como compreender essa secreta continuidade que faz com que a investigação numa área possa conduzir a descobertas em áreas diferentes? Será necessário postular uma ligação profunda entre todas as coisas do mundo para explicar a virtualidade heurística desse tipo de deslocamento, desse tipo de transversalidade fértil? Ou, pelo contrário, como o autor parece supor – os engenheiros procuravam uma coisa e, por acaso, descobriram outra – a descoberta é um acontecimento casual, um fenómeno eruptivo, súbito, inexplicável?

O encaminhamento para este tipo de explicação parece ser reforçado pelo que o autor diz na página 104, ao recordar a sua própria experiência de descoberta: “Um dia, ao olhar para uma moeda, notei que essa moeda parada e a rodar era a mesma moeda mas em condições físicas diferentes. Tinha descoberto 3 graus de liberdade no movimento dos sólidos que não são referidos em nenhum livro de Física Clássica”. Será que a descoberta do “problema do disco a rodar”, recorrente no livro e na investigação de António Brotas, é um bom exemplo do que seria uma descoberta súbita e inexplicável? Será que, como o autor pretende, se naquele dia não tivesse olhado, a descoberta não teria sido feita? Ou, pelo contrário, será necessário reconhecer que uma tal descoberta terá sido possível graças a um conjunto imenso de condições, condições subjectivas (disponibilida-

de, atenção, empenhamento, curiosidade) e sobretudo condições cognitivas (conhecimentos prévios). Não será verdade que, em ciência, só vê quem está preparado para ver? Só observa quem tem já um esboço de teoria em gestação? Foi Newton que viu cair a maçã. Foi Arquimedes que gritou Eureka. Não será que todos estes casos podem ser lidos, não como historias de acaso, mas ao invés como descobertas longamente preparadas por persistentes anos de trabalho, por conhecimentos sólidos sobre as diversas áreas envolvidas e pela consciência aguda da insuficiência das explicações disponíveis?

Cito agora uma pequena passagem da página 53: “As noções de evolução e de história entraram na Física”. Mais uma vez, aqui se insinua uma questão muito interessante que tem feito correr rios de tinta. Refiro-me à tão proclamada diferença entre ciências humanas ou ciências *soft* e as ciências da natureza ou ciências *duras*. A linha de demarcação entre estes dois universos tem passado pela constatação de que as ciências humanas são resistentes – ou mesmo incapazes – de matematização. A sua mais recente constituição como disciplinas científicas ficaria a dever-se, não ao facto de o seu objecto de estudo ser o mais complexo, mas justamente ao carácter determinante que nelas o tempo desempenha. Por outras palavras, para lá da individualidade e singularidade radical dos seus objectos de estudo, as ciências humanas estariam inevitavelmente confrontadas com acontecimentos únicos, cuja irrepetibilidade torna, em limite, impossível a formulação da lei. Ciências portanto compreensivas e não explicativas.

A inexorável temporalidade do facto humano seria assim o óbice maior da constituição das ciências humanas como disciplinas de pleno direito. Ora, como refere António Brotas, assistimos hoje à inundação das ciências duras pelos problemas do tempo. Para lá da História dos homens, do nascimento e morte das civilizações, do desenvolvimento das vidas dos indivíduos, são as espécies animais e vegetais que têm história, é o planeta Terra que se transforma no tempo, são as rochas que se fazem e desfazem, é o universo que se contrai e expande. Muito além e aquém da história dos homens, há uma historicidade das espécies, do planeta, do universo. As leis da Física não são eternas como pensava Newton. Mas, face a esta avassaladora experiência da historicidade, por onde estabelecer então a linha que separa ciências humanas e naturais? Como manter a intemporal sobrançeria destas face à fragilidade demasiado humana daquelas?

António Brotas não tematiza a questão. Tão pouco a aflora ou sequer identifica. Mas ela ressoa naquilo que diz com a luz clara da inteligência.

## O deslumbramento da ciência

Vale a pena citar uma outra passagem na mesma página: “O surpreendente é nós, situados num ponto do espaço-tempo, termos conseguido chegar a tão vastos conhecimentos e ter acesso a um tão grande volume de informações (que cres-

ce vertiginosamente) e, sobretudo, termos sabido, embora com muitas interrogações, integrar todos estes conhecimentos, de modo a sermos capazes de falar do Universo, referindo-nos a ele como um todo, quase como se fosse uma coisa que estivesse diante de nós, esquecendo que somos nós que estamos dentro dele”. Estamos perante uma afirmação contemplativa. O que é surpreendente é que o homem tenha sabido chegar tão longe. O que é maravilhoso, o que é deslumbrante é que Deus não jogue aos dados. Ou seja, é que a ciência seja possível. O que faz pensar é que uma tão poderosa capacidade de pensar seja atributo do homem. E o que não é menos admirável é que António Brotas se dê a si mesmo o direito de se maravilhar com esse facto, que não recalque uma confissão tão sincera.

No entanto, a passagem citada tem ainda uma outra abertura. Ela toca ao de leve um dos mais profundos problemas da filosofia da ciência. A questão da sua unidade. Como somos capazes de falar do Universo? Como somos capazes de integrar todos os conhecimentos que dele vamos construindo? Por que razão não partimos da poeira das nossas sensações? Por que razão ligamos umas às outras as nossas percepções? Porque razão vemos relações secretas entre coisas aparentemente diversas, por que razão percebemos similitudes, reconhecemos analogias? Como explicar que possamos olhar o universo “como um todo, quase como se fosse uma coisa que estivesse diante de nós, esquecendo que somos nós que estamos dentro dele”. Numa palavra, nós somos feitos de estrelas e, no entanto, somos capazes de pensar as estrelas.

O problema da unidade da ciência reaparece um pouco mais à frente, numa passagem da página 55 que passo a citar: “A procura de uma unificação das interacções fundamentais é um dos objectivos da Física actual.” Não apenas, actual, diríamos nós. Mas de sempre. A História da Ciência está atravessada por dois movimentos de sentido inverso. Por um lado, uma tendência à especialização, à dispersão das disciplinas. Por outro, uma tendência inversa mas complementar à unificação, à procura de explicações cada vez mais gerais e abrangentes. Se a primeira é a base do trabalho analítico, da delimitação cada vez mais fina do objecto de estudo, condição do progresso do conhecimento, a segunda é a raiz de qualquer esforço compreensivo, de qualquer tentativa séria de explicação do mundo. Por outras palavras, a tendência à unidade da ciência corresponde à finalidade última da ciência, à própria essência do conhecimento. Compreender é articular. Conhecer é integrar. Trata-se de uma força hoje difícil de ver, ofuscados que somos pela dispersão das disciplinas e das instituições com que hoje a ciência se faz e se tende a confundir. Há mesmo quem julgue ultrapassada essa vontade unificadora pelo avassalador e inexorável processo de especialização. Sobretudo aqueles que definem a ciência como cálculo de entidades quantificáveis e

mera *performance* eficiente e que, por isso, estão prontos a abandonar qualquer empenho explicativo.

António Brotas está consciente da determinação fragmentada da ciência do século XX mas sabe também da inevitável força unificadora que lhe subjaz. Como escreve na página 59: “Surgiram, assim, físicos relativistas que pouco se interessavam e quase nada sabiam de Física Quântica, e físicos quânticos que quase nada sabiam de Relatividade. Os primeiros têm hoje o imenso campo da observação dos cosmos, onde estão a reencontrar a Física Quântica. Os segundos, possivelmente sem olhar muito para a relatividade, vão certamente descobrir novos factos, utilizar novos métodos e técnicas, e ter ideias e encontrar outras formas de pensar que influenciarão toda a Física, incluindo os desenvolvimentos da relatividade.”

Embora seja cada vez mais difícil, a tendência à unidade é também cada vez mais necessária. Se já não aceitamos unidades feitas de uniformidade, ainda assim não podemos renunciar a uma unidade (leibniziana) que integre as diferenças sem as abolir. E há sinais cada vez mais numerosos de que o século XXI será o século de uma poderosa racionalidade transversal. Como dizem Prigogine e Stengers (1988: 208): “algumas pessoas procuram reduzir toda a ciência a uma simples pesquisa de relações gerais, permitindo prever e dominar os fenómenos. Mas esta concepção “adulta” e desencantada da racionalidade nunca pôde calar a convicção em que se enraíza a paixão dos físicos: a sua pesquisa visa compreender o mundo, tornar inteligível o devir da natureza, e não simplesmente descrever a maneira como ela se comporta”.<sup>2</sup> António Brotas não pertence ao número dos desencantados. Ele sabe maravilhar-se e quer compreender. Melhor dito, ele quer compreender e por isso sabe maravilhar-se.

## A prática da ciência

Gostaria agora de citar duas passagens que se encontram na página 72. “Recentemente, a Gazeta de Física, da Sociedade Portuguesa de Física, não aceitou publicar o texto anterior, com base no parecer de um *referee* que disse não ter conhecimento de que se tenha alguma vez feito a distinção entre rígido e indeformável nos textos de Física”. Mais adiante, António Brotas recorda o envio de um artigo para o *American Journal of Physics*, refere que a revista informou que “o artigo era aceite, mas na condição de suprimir a equação do movimento relativista de uma barra rígida que um *referee* tinha considerado sem interesse”.

Estamos perante mais um delicado problema de que a filosofia da ciência também se ocupa. Para lá da Sociologia da Ciência para quem a ciência é uma instituição como qualquer outra, a Filosofia da Ciência tem-se ocupado longamente do problema da natureza institucional da ciência. Trata-se em última análise de reconhecer que a investigação isolada não existe, não existiu nunca nem existe agora, que a ciência não se faz de forma solitária mas que, pelo contrário, supõe uma tradição e uma situação. Tradição enquanto inserção na diacronia dos conhecimentos adquiridos pelas gerações passadas, formulados, registados, substanciados nos livros das bibliotecas, nos espécimes, nas amostras, nas colecções recolhidas nos museus. A

2. I. Prigogine e I. Stengers, “Entre le Temps et l’Éternité” (1988). Trad. port. de Florbela Fernandes e José Carlos Fernandes, “Entre o Tempo e a Eternidade”, Lisboa, Gradiva (1990).

razão constituinte implica uma razão constituída, um saber estabelecido que se transmite nas escolas, um conhecimento consagrado nas páginas das enciclopédias. Situação enquanto imersão no espaço dialógico da comunidade de pares, trabalhadores da verdade que recebem e analisam cada nova comunicação, que discutem cada novo avanço, que pedem esclarecimentos sobre cada nova pretensão.

A ciência é um fenómeno citadino e polémico. Ela reclama espaços de argumentação e liberdade, ela exige a demonstração e obriga à prova. Ora, a natureza constitutivamente comunicativa do conhecimento científico supõe um conjunto de dispositivos de legitimação entre os quais se contam as revistas científicas e os seus *referees*. Claro está que o sistema não é isento de falhas, que pode haver - e há - grandes atropelos. E se o *referee* não está inteiramente preparado para a tarefa que lhe é atribuída? Se não está inteiramente dentro do problema? Se é demasiado exigente ou demasiado benevolente? E se é inimigo do autor? E se é seu amigo? Dir-se-á que o sistema comporá dificuldades porventura inultrapassáveis. Mas, qual a alternativa? Como a Democracia. Quem não conhece as suas contradições? Quem não é capaz de apontar as suas imperfeições congénitas? Mas, que regime lhe seria preferível?

Acresce que a questão dos *referees* é um aspecto particular da questão mais geral da legitimação do saber científico. Questão que tem sido pensada em diferentes perspectivas e equacionada de diferentes modos e que está directamente ligada a uma outra questão, de gravidade máxima, de que a filosofia da ciência se tem ocupado longamente: o problema da verdade em ciência. E entre as várias soluções que foram propostas, há naturalmente aquelas que tendem a pensar a verdade de um enunciado científico em função da aquiescência que lhe é concedida pela respectiva comunidade científica. A ideia é que, não é por ser declarado verdadeiro pela comunidade científica que um enunciado é verdadeiro, mas, ao invés, ele é verdadeiro porque os pares assim o declaram. Se adoptarmos esta tese, o lugar dos *referees* na produção científica é de importância capital. Se não aceitarmos esta tese, o *referee* é tão só uma das figuras da instituição científica cujo papel legitimador deve ser articulado com outras instâncias igualmente decisivas. Por exemplo, as linhagens cúmplices de professores e alunos, as relações de fidelidade entre mestres e discípulos, isto é, as escolas de investigação nas quais os *seniors* recebem, formam e enquadram os jovens investigadores.

No caso presente, António Brotas tem a grandeza de referir toda a genealogia dos seus professores parisienses (De Broglie, Mme. De Tonnelat, Lichnerowicz, Mlle. Mavridés) e de honrar a memória dos seus alunos resgatando ao esquecimento de um velho jornal do Recife o nome de dois jovens brasileiros que morreram pela liberdade do Brasil. No enterro desses jovens, como recorda na página 105, o padre oficiante “falou longamente dos anjos”, algo que, como diz, “está fora das regras e do tempo dos homens, algo que, sendo um começo, continua para sempre”, ou seja, algo que, como a morte daqueles alunos, nos atira para além de nós mesmos.

De qualquer forma, na situação institucional da ciência contemporânea e para lá das dificuldades insanáveis que o sistema comporta, há acordo no reconhecimento da função fundamental do *referee*, tanto em termos de selecção das contribuições relevantes no interior da esmagadora massa de publicações científicas que hoje se publicam diariamente, como em termos de legitimação dos resultados obtidos e sua comunicação entre pares. António Brotas sabe isso perfeitamente. É pois num gesto de grande ironia e risonha capacidade de lançar sobre si mesmo um olhar não complacente que, a propósito da publicação do dito artigo em dois jornais regionais do nosso país, o *Falcão de Pinhel* e a *Gazeta da Beira*, António Brotas possa escrever na mesma página: “Penso, assim, que são os únicos jornais do mundo onde está publicada a equação relativista do movimento da barra rígida, que Einstein não conheceu e o *American Journal of Physics* recusou”.

Não posso terminar sem uma breve referência ao texto de ficção apresentado no último capítulo do livro “O molusco de Einstein. Contributo para a nossa sobrevivência entre micróbios e robots”. Utopia negra sobre a auto-extinção da espécie, sobre os perigos da globalização, dos desastres ambientais, da redução da biodiversidade, da normalização dos indivíduos, da uniformização dos comportamentos. A ideia central é comovente: a ausência da dúvida é mortífera. A sobrevivência reside na capacidade de colocar as boas questões. E a vida – a sublimidade da vida – reside na capacidade de continuar a perguntar.

Finalmente, gostaria de sublinhar o carácter simbólico de um dos últimos textos do livro em que o autor apresenta, como se de uma transcrição sonora se tratasse, o desenvolvimento de uma sua aula de Matemática. Não uma aula fictícia, mas, como diz na página 135, “a aula com que iniciava o ensino da Matemática aos alunos do 1º ano da Escola Naval, onde fui professor em 1976 e 1977”. Poucos se atreveriam a uma tal gesto. Poucos teriam a simplicidade de um tal desnudamento. E, se nos lembrarmos que, na sua raiz etimológica, a matemática é aquilo mesmo que se pode ensinar – do grego *mathesis* (ensinar) e *mathemata* (ensinável) – compreendemos de que modo este livro tem no seu horizonte a valorização da escola, do ensino que ela tem por missão sagrada efectuar, da Matemática enquanto exemplo paradigmático do ensinável e, enfim, desse gesto maior da Ciência, da Escola e da Cultura que consiste em tomarmos consciência que somos anões aos ombros de gigantes<sup>3</sup>.

Na página 132, um professor fala para os seus alunos: “Vocês sabem o que são equações diferenciais? Não? Não faz mal. Daqui a 5 minutos já sabem”.

Vai começar o milagre da transmissão. Por ele somos capazes de chegar onde nunca chegaríamos sozinhos. Um professor vai começar uma aula de Matemática. Todos queremos ser seus alunos.

# A propósito do primeiro doutoramento no Instituto Superior Técnico

No passado dia 6 de Abril faleceu o Prof. Manuel Alves Marques, aos 80 anos de idade. Investigador incansável na luta pela promoção da física experimental em Portugal, foi pioneiro em áreas como o uso de lasers para o estudo das propriedades de soluções líquidas.

*Com alguma emoção os Editores da Gazeta de Física tornam público que o Professor Alves Marques foi o único físico a tornar-se socio benemérito da SPF, com um legado para ser usado pela Gazeta, feito pelo mesmo em vida, no ano de 2009.*

*Há quase meio século atrás, foi o primeiro a realizar um doutoramento pelo Instituto Superior Técnico (IST), num contexto muito pouco propício. Estava-se em 1962, a Guerra Colonial tinha começado, bem como as grandes vagas de emigração: sem grandes laboratórios, praticamente sem financiamento, a escolha da carreira de investigador no nosso país era uma opção extremamente arriscada. Mesmo dentro do próprio IST, que formava engenheiros à força de régua de cálculo e tabelas de logaritmos, a investigação era vista como uma curiosidade desnecessária. Alves Marques, então assistente, tinha uma*

*carga lectiva de 15 horas semanais, e entre as aulas, a sua preparação, o atendimento a alunos e os exames, teve que encontrar tempo para os seus trabalhos de doutoramento<sup>1</sup>.*

*Foi orientado pelo Prof. António da Silveira, personalidade marcante no ensino da física e dinamizador da criação de laboratórios para o ensino no IST. A sua preparação para a prestação de provas de doutoramento, que duravam três dias, seguiu o modelo vigente na época: realização de um trabalho prático, demonstração de conhecimentos sobre dois temas de física, e defesa da dissertação propriamente dita. Os dois temas foram sorteados 48 horas antes da discussão, de um total de doze, dos quais o candidato foi informado com 90 dias de antecedência. Como testemunho desta época hoje distante, e em homenagem ao legado do Prof. Alves Marques (ver também pág. 27), reproduzimos aqui um texto originalmente publicado na revista Técnica<sup>2</sup>, da autoria de Noémio Macias Marques, dando conta deste acontecimento.*

No final do ano lectivo transacto, realizou-se o primeiro doutoramento no Instituto Superior Técnico – doutoramento em Engenharia Electrotécnica – e este facto não pode naturalmente deixar de ser apontado como dos mais relevantes da nossa vida universitária. Para sublinhar o seu significado ocorreu-nos pedir o acolhimento da **Revista Técnica** e a esclarecida atenção dos seus leitores.

A realçar aspectos essenciais do nosso breve comentário, julgámos de interesse inserir alguns excertos do preâmbulo à argumentação do Professor António da Silveira, a quem agradecemos a gentileza de nos ter cedido e retocado as respectivas notas, expressamente solicitadas para este efeito.

A reforma do plano de estudos de Engenharia, estabelecida por diploma de 1955, fundamentou-se nas conclusões dos debates havidos em torno de experiências pedagógicas de diversas origens, para

firmar uma orientação, aliás já antes seguida por alguns mestres entre nós: o ensino de base deve ser constituído por matérias de ciência pura ministradas, com o devido rigor, em extensão e profundidade. Pressupõe-se que se há-de estruturar o ensino destas matérias sobre um desenvolvimento teórico de longo alcance e permanente actualidade e que ele deve englobar uma ampla gama de elucidativos trabalhos de laboratório.

Isto pode considerar-se o ponto de partida para conferir em definitivo um carácter eminentemente científico à formação do Engenheiro, quer pela índole de uma parte substancial do curso, quer pela sua necessária repercussão em toda a ulterior aquisição de conhecimentos e aprendizagem técnica.

Como reforço de tal orientação é lícito interpretar ainda a possibilidade, preconizada no mesmo diploma, de realização de estágios regulamentares em centros de investigação científica integrados na Universidade. Se é certo que, ao

1. Ver entrevista no jornal Pulsar, Núm. 9 (Maio de 1997): [http://pulsar.nfist.pt/pulsar\\_revistas/pulsar09.pdf](http://pulsar.nfist.pt/pulsar_revistas/pulsar09.pdf)

2. Técnica, Ano XXXVII, Núm. 322 (Nov. 1962), pág. 73 (Ass. Estudantes do Inst. Sup. Técnico)

nível estritamente escolar do curso, uma sólida base científica deve fundamentar a cultura técnica, igualmente certo é que a via mais adequada para atingir a formação que nestes moldes se esboça consiste em empreender, ao nível complementar do curso, uma iniciação na investigação científica em estágio num Instituto universitário.

Parece-nos dispensável encarecer o interesse geral destas medidas, numa época em que, por motivos bem conhecidos e correspondendo a necessidades bem patenteadas, cada vez mais as actividades humanas se radicam na investigação científica. Importa-nos aqui sobretudo pôr em relevo o papel que uma iniciação científica pode desempenhar na formação do indivíduo. Por sua própria natureza a iniciação científica implica a mobilização constante, e a mais exigente, dos recursos intelectuais; oferece horizontes largos e campo vasto à iniciativa criadora; proporciona oportunidade e assunto para ampla e franca discussão das ideias. Por estas vias, em condições adequadas e ambiente

propício, fomenta no indivíduo o pleno desenvolvimento da personalidade e o anima numa integração social válida.

Ora é nestas directrizes de reforma – e contribuindo, a nosso ver, para acentuar o seu real sentido – que se enquadra naturalmente a instituição do doutoramento em Engenharia no Instituto Superior Técnico, onde não existia até 1955.

Na verdade, o trabalho de doutoramento, quer dizer, a elaboração e sustentação de uma tese positiva e original – que represente um avanço sensível nalgum domínio do conhecimento – constitui, mediante a exaustiva contestação de especialistas autorizados, a prova de maturidade do investigador científico. Por isso, o doutoramento dá, em todos os países, em todas as universidades, a garantia de uma formação científica autêntica.

O primeiro a apresentar-se a provas de doutoramento no Instituto Superior Técnico foi o Engenheiro Manuel Alves Marques, cujo *curriculum vitae* é um exemplo singular de estréua dedicação a uma carreira exclusiva de investigação e ensino.

Formado no I. S. T., concluiu o Curso de Engenharia Electrotécnica em 1953, com a classificação de 17 valores e foi contemplado com o prémio *Bandeira de Melo*. Ainda estudante, encetou a sua actividade docente no I. S. T., onde tem exercido as funções de Assistente de Física, e foi encarregado durante dois anos da regência da cadeira de Física Geral.

Bolseiro do Instituto de Alta Cultura desde 1956, estuda, sob a orientação do Professor António da Silveira, a estrutura da matéria, com trabalhos experimentais que realiza no Laboratório de Física do I. S. T.. Neste Laboratório encontrou o Engenheiro Alves Marques condições materiais apropriadas para o seu estudo por meio de espectrografia do efeito de Raman. Teve no entanto a ocasião e o mérito de fazer construir dispositivos complementares da montagem existente, para ampliar e refinar a capacidade de observação. Conseguiu assim dar frutuosa continuidade à linha das investigações em que se colocou e ao desenvolvimento das ideias para que foi orientado. Sobre os resultados obtidos concebeu e elaborou a sua tese de doutoramento, “A estrutura dos catiões complexos  $Mg^{2+}(OH)_6$  e  $Al^{3+}(OH)_6$  em solução”, publicada na Revista da Faculdade de Ciências de Lisboa.

Colaborou em comunicações feitas à Academia das Ciências de Lisboa (Dezembro de 1959) e à Academia das Ciências de Paris (Junho de 1961) em cujos Comptes Rendues foram publicados em parte os resultados experimentais da sua tese, numa Nota apresentada pelo Prof. Francis Perrin. Dá ainda a sua colaboração ao Seminário de Física do Instituto

Espólio de António da Silveira, cortesia Prof. Carlos Varandas.

Senhôr Professor Silveira

espólio  
António da Silveira

Entra hoje em vigor um estatuto que me considera professor de pleno direito do Instituto Superior Técnico.

Não poderia deixar de me recordar do Professor que me proporcionou o acesso a professor do Instituto! Não é de modo algum oportunidade rara recordar-me do Professor António da Silveira. Quando estou perplexo ante de tomar uma decisão que considero importante pergunto a mim próprio “Como actuaria neste caso o Professor Silveira se aqui estivesse?”

É em situações que não são embaraçosas também me lembro do Professor Silveira...

Crea-me vosso amigo

M. Alves Marques

Dezembro de 1979

Carta de M. Alves Marques a António da Silveira no dia em que foi nomeado professor do IST.

de Alta Cultura em que participou com uma conferência proferida em Abril de 1961 sobre “Problemas de estrutura das soluções”.

Em 1960 foi-lhe concedida uma bolsa de estudo para investigar a estrutura da matéria por meio dos raios X, mercê de um acordo entre o Instituto de Alta Cultura e a Shell Portuguesa.

A objectividade e a justa medida que devem informar as rubricas de um *curriculum vitae* raramente deixam transparecer alguma coisa da história humana que o enquadra — e essa é por vezes suficientemente edificante para ser evocada como lição de vida.

Do que foi a iniciação do Engenheiro Alves Marques e em que circunstâncias se desenrolou, sob que solicitações exteriores venceu, na vontade inabalável em singrar pelo caminho árduo de uma autêntica formação científica — disse-o com perfeito conhecimento de causa o Professor António da Silveira no preâmbulo da sua argumentação nas provas de doutoramento. Reproduzimos aqui as suas palavras textuais:

«Nestas provas académicas o meu papel deveria ser, naturalmente, mais um papel de relator do que de argumentador. Reservo a argumentação para o fim. Primeiro é a título de relato que tenho duas palavras a dizer.

É natural que os que correram a estas provas — não só estes, mas sobretudo estes — tenham inquirido de como e por que artes o Eng.º Alves Marques se encontra a fazer um doutoramento — o primeiro doutoramento do I. S. T.

O Eng.º Alves Marques foi um estudante assíduo, procurando cumprir, um estudante uniformemente bem classificado: um “bom estudante”, como se diz entre nós.

Isto, entre nós, são geralmente “simples atributos”, não chegam a ser “virtudes”. Estes atributos, entre nós, geralmente, pouco ou nada abonam em favor do que porventura possa haver de autêntico num indivíduo, como virtudes que o imponham acima do comum.

Não é uma simples impressão, é um juízo formado que poderia ser largamente exemplificado.

Ainda estudante, entrou para assistente de Física, o que porventura já poderia abonar alguma coisa.

Foi nessa qualidade que um dia me procurou. “Andava eu no 3º ano” da Faculdade de Ciências, quando o Eng.º Alves Marques me veio dizer que gostava de se dedicar à Física, de se iniciar nos

trabalhos de investigação científica.

Devo dizer que logo, logo, não o tomei muito a sério: é que eu tenho uma certa experiência de um certo género de “meninos” em busca de qualquer coisa “de fino e de fácil”, que querem fazer investigação — como dizem — mas que desistem a breve trecho, logo que se apercebem de que investigar se escreve com um V...

Não fiz, pois, grande caso; mas o nosso Engenheiro — que é persistente — voltou e tornou a voltar, até que eu resolvi averiguar das suas inclinações “engenheirais”.

E ouvi isto: Que tinha primeiro rejeitado um lugar que lhe haviam oferecido num estabelecimento do Estado onde fizera um estágio. Depois, que lhe ofereceram um emprego numa companhia de cimentos. E o proponente, muito ancho da sua condição, acrescentava: não se esqueça de que terá casa, água e luz!

Queriam pôr o nosso Engenheiro a fazer cimento, mas ele — se o não disse pensou-o — achou que era cedo de mais para “fazer pó”; e recusou.

Enfim, mais uma: Um professor do I. S. T. que não está aqui presente perguntou-me um dia: Que espécie de indivíduo é que V. tem lá como assistente a quem eu ofereci uma boa situação e que recusou alegando desejar primeiro dedicar-se à investigação, adquirir uma formação de investigador?

Não sei já o que respondi, mas com estas informações fiquei suspensivo.

Caspitê! Este engenheiro parece ter um grão de loucura, talvez se possa salvar.

Tudo isto me fez pensar numa certa obra de Rodin — o imaginário — talvez a mais bela e que nunca deixou de estar exposta. Tive a noção de que o Engenheiro Alves Marques sentia uma necessidade irreprimível de se libertar, uma ânsia inelutável de se escapar — de escapar à condição humana da generalidade dos colegas do seu tempo.

Aceitei-o portanto.

Começou a trabalhar no Centro de Estudos de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa. Como tinha sido um bom estudante a sua iniciação devia ser acidentada. É que o Eng.º Alves Marques tinha de começar por dar provas perante si próprio antes de as dar perante os outros. Como tinha sido um bom estudante — um “desalmado” — a sua iniciação devia ser tumultuosa, e foi.

E não deixou de haver, certamente, quem se empenhasse em duvidar de que ele chegasse um dia a fazer alguma coisa. A estes o nosso Engenheiro respondeu sempre, obstinadamente, com o silêncio — a um tempo a mais sensível e a mais sublime das respostas. Enfim, passados uns dois anos estava a trabalhar com regularidade e muito convencido.»

As provas de doutoramento decorreram perante um júri constituído por todos os professores catedráticos do Instituto Superior Técnico e pelos professores catedráticos de Física das Faculdades de Ciências de Lisboa, Porto e Coimbra – e com numerosa assistência interessada. Tiveram início no dia 16 de Julho com a prova prática, que consistiu na realização de um trabalho de laboratório. No dia 21 de Julho efectuaram-se os interrogatórios sobre os pontos tirados à sorte com 48 h de antecedência, de entre os doze passados pelo júri e para o estudo dos quais o candidato dispõe de noventa dias que imediatamente precedem esta segunda prova. Decidiu o Conselho Escolar do I. S. T. que fossem os professores de Física presentes no júri a dar os enunciados destes pontos. Surgiram assim os seguintes assuntos:

*Estatística do radiação isotérmico. Leis de Rayleigh, de Wien e de Planck.*

*Relações de incerteza. Princípio de incerteza. Ilustrações. Teoria dos calores específicos.*

*Propriedades magnéticas da matéria.*

*Condução do calor; teoria e exemplos da sua aplicação.*

*Ondas electromagnéticas nos meios condutores.*

*Mecânica dos meios contínuos; deformações e tensões.*

*O átomo de hidrogénio em Mecânica Quântica.*

*Método de Kron de resolução de redes lineares.*

*Reflexão e refração vítrea e metálica.*

*Potenciais electromagnéticos. O campo de uma partícula.*

*Fissão e fusão nucleares.*

Do sorteio resultou ser o candidato interrogado pelo Professor Coutinho Braga, da Universidade do Porto, sobre “Propriedades magnéticas da matéria” e pelo Professor Almeida Santos, da Universidade de Coimbra, sobre “Ondas electromagnéticas nos meios condutores”.

Enquanto que a estas provas se deve atribuir um carácter de exame, entre nós talvez imprescindível, sobre os conhecimentos gerais do candidato ou a capacidade de os aprofundar em curto prazo – não resta dúvida de que é a defesa de tese a prova fulcral e decisiva, que polariza todas as atenções, na clarividência do exacto conteúdo de um doutoramento. Ela teve lugar no dia 22 de Julho, com argumentações a cargo dos Professores Amaro Monteiro, da Faculdade de Ciências de Lisboa e António da Silveira, do Instituto Superior Técnico.

Através de todas as provas o candidato confirmou as suas excepcionais qualidades e revelou conhecimentos profundos, a par de um perfeito domínio dos problemas da sua especialidade. A discussão da tese tornou patente a extraordinária importância deste trabalho no campo da estrutura das soluções e a valiosa contribuição que fornece para a Física do estado líquido.

O júri conferiu o doutoramento ao Engenheiro Manuel Alves Marques, aprovando-o com a classificação de *18 valores, muito bom com distinção*.

Uma instituição criada por via legislativa só passa a ter efectiva existência quando os homens persistem em dar-lhe realização concreta. A responsabilidade grave do impulso inicial à instituição do doutoramento no Instituto Superior Técnico recaiu no Engenheiro Manuel Alves Marques, que se mostrou à altura de assumi-la com êxito. Possa o exemplo do Doutor Manuel Alves Marques e a sua actividade no Laboratório de Física, onde já foi investido nas funções de 1º Assistente e prossegue sua carreira científica, tornar-se forte estímulo encorajador dos jovens engenheiros para a realização de novos doutoramentos.

É essa esperança de continuidade e projecção futura que nos impele a evocar aqui, como nota final, a fala do Professor António da Silveira, no preâmbulo da sua argumentação, ao salientar a presença, no júri, de representantes das três Universidades do País. Dirigindo-se especialmente a esses doutos professores, frisou:

«Estão aqui os seis físicos da Universidade Clássica mais o físico da Universidade Técnica que são – em linguagem um pouco barroca – os sete oficiais da Física nacional para talhar, dirão uns a capa e batina, dirão outros o “fato de ganga” do primeiro doutor pelo Instituto Superior Técnico

São na verdade estas provas de doutoramento as primeiras que se realizam no I. S. T., sendo estas provas académicas as que caracterizam propriamente a Universidade, pode dizer-se com propriedade que é pela mão de V. Ex.<sup>as</sup> que o I. S. T. entra na Universidade *jure et facto*. Agradeço pois pela minha parte muito sinceramente a V. Ex.<sup>as</sup> a colaboração que nos vieram dar, ajudando a voltar a página e a abrir um novo capítulo na história do I. S. T.».

# Longemira:

## Os primeiros telescópios em Portugal

Henrique Leitão

CIUHCT

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

leitao.henrique@gmail.com

**As sensacionais novidades que Galileu descobriu com o telescópio entre 1609-1611 foram conhecidas em Portugal desde muito cedo e foi a partir do nosso país que foram divulgadas para vários pontos do globo.**

Nos últimos meses de 1609, Galileu Galilei (1564-1648), usando telescópios que ele próprio construíra, iniciou um conjunto de observações dos céus que se viriam a revelar extraordinárias. O que viu, e sobretudo o que pode concluir a partir dessas observações, era de tal importância que, passado pouco tempo, em Março de 1610, publicava em Veneza um primeiro relato dessas novidades a que chamou *Sidereus Nuncius*, o “Mensageiro das Estrelas” [1]. O livro foi um sucesso imediato, esgotando-se em poucos dias e a sua notícia atravessou quase de imediato toda Europa. Praticamente de um dia para o outro Galileu passou de professor sem distinção especial na Universidade de Pádua para o mais importante cientista da Europa e protegido da poderosa família Medici em Florença. Continuou a fazer observações durante todo o ano de 1610 e de 1611, dando a conhecer os novos resultados em publicações dispersas, que confirmavam e ampliavam a sensação dos primeiros descobrimentos.

As observações telescópicas de Galileu são talvez os acontecimentos mais dramáticos nesse denso complexo de factos a que se convencionou chamar a “revolução científica”. Quase de uma assentada foram alteradas praticamente todas as regras do jogo. Não se tratou apenas de os novos factos observados (a superfície montanhosa da Lua, as miríades de estrelas novas, os satélites de Júpiter, as fases de Vénus, etc.) serem surpreendentes e terem repercussões intelectuais muito profundas. Foi também a entrada em cena de um novo instrumento científico – o telescópio – até aí pouco

mais do que um divertimento óptico. Mas Galileu fez ainda muito mais. Alterou profundamente as regras de validação de novos factos científicos, transformou os códigos habituais de transmissão científica, fez um recurso inovador das representações gráficas, questionou a tradicional separação entre filosofia natural e astronomia, ensaiou novos modos de aproximação aos mecenas científicos, etc. É impossível explicar aqui todas as consequências que estas mudanças vieram a ter, mas não oferece qualquer dúvida que celebrá-las – como se fez ao longo de todo o ano de 2009, com o Ano Internacional da Astronomia – foi uma decisão muito acertada.

Aos portugueses talvez interesse saber que estes acontecimentos sensacionais foram conhecidos e vividos no nosso país com uma actualidade e um interesse pouco comuns na nossa história científica, e que Portugal desempenhou um papel da maior importância na divulgação mundial das descobertas galileanas. Por isso, seria de lamentar se a comemoração do Ano Internacional da Astronomia não servisse também para recordar e dar o devido realce à perspectiva portuguesa destes factos.

Mesmo antes de publicitar os seus descobrimentos no *Sidereus Nuncius*, Galileu já os discutia com os matemáticos e astrónomos da Companhia de Jesus, na altura liderados pelo alemão Cristovão Clávio (1538-1612), e que constituíam, no Colégio Romano, um dos centros mais respeitados de ciência da Europa. Estes, por sua vez, acompanhavam os progressos de Galileu, construindo também telescópios e fazendo as suas próprias observações [2]. Os jesuítas, aliás, viriam a desempenhar um papel central na aceitação das novas descobertas pois quando Galileu, nos meses seguintes à publicação do *Sidereus Nuncius*, necessitou que as suas novidades fossem confirmadas e validadas por terceiros, foi para eles e para Kepler que se virou. Kepler, como se sabe, respondeu de maneira efusiva, num texto que depois recebeu o título de *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*, confirmando todas as observações de Galileu mesmo sem sequer ter um telescópio, e os matemáticos jesuítas também não poderiam ter agido de maneira mais favorável: foram os primeiros a homenagear publicamente Galileu, recebendo-o apoteoticamente numa sessão em sua honra no Colégio Romano, em Maio de 1611, e, em privado,

responderam às questões do cardeal Bellarmino, o mais importante teólogo do Vaticano na altura, confirmando todas as observações galileianas. Tudo isto é bem sabido.

O que é menos conhecido é que, precisamente por estes anos, isto é, durante o período mais crítico do debate cosmológico, uma instituição em Portugal, a chamada “Aula da Esfera” do colégio jesuíta de Santo Antão em Lisboa (onde actualmente é o Hospital de S. José), tinha uma ligação muito estreita com os matemáticos do colégio Romano e que, devido a esta peculiar ligação institucional e à natureza supra-nacional da Companhia de Jesus, o nosso país viveu estes acontecimentos de uma maneira particularmente atempada.

Embora a historiografia mais antiga tenha, em geral, passado ao lado destes factos, os estudos das últimas décadas deixaram claro que essa “Aula da Esfera”, que funcionou ininterruptamente de finais do século XVI até 1759, foi uma instituição a todos os títulos única na história científica portuguesa [3-7]. É hoje reconhecido que nenhuma descrição do desenvolvimento científico do nosso país pode omitir uma referência a este colégio pois aí se ensinaram e se praticaram, muitas vezes com carácter verdadeiramente pioneiro entre nós, temas científicos tão variados como a matemática, a astronomia de observação e a astronomia teórica, a náutica, a cosmografia, a teoria do calendário, a hidráulica, a óptica, a fortificação, a estática, etc. A “Aula da Esfera” foi a mais relevante escola de assuntos náuticos e a porta de entrada em Portugal de muitas novidades científicas desde o uso de logaritmos ao emprego da projecção de Mercator, passando pela construção de instrumentos científicos, pelos primeiros textos conhecidos de estática teórica, etc. Foi ainda o primeiro local, e durante muitas décadas o único, em que o estatuto científico da matemática foi proclamado em moldes que se poderiam chamar modernos [8-10]. E foi também o local por onde Galileu, o telescópio e o debate cosmológico se difundiram no nosso país.

As notícias acerca de Galileu, o telescópio, e as novas observações celestes chegaram seguramente muito cedo a Lisboa. Um bom indicador da celeridade dessa transmissão é o facto de, em 1612, essas notícias já terem alcançado a Índia de onde, nesse ano, um missionário jesuíta ouvira falar delas e escrevia pedindo mais informações [11].

Um testemunho ainda mais surpreendente da rapidez da divulgação dessas notícias e do entusiasmo que causavam entre os membros da Companhia de Jesus é o facto de, em 1614, um missionário português em Pequim ter redigido já um resumo dessas novidades em chinês, que é o primeiro relato dos descobrimentos telescópicos no Império do Meio. O resumo em questão é o chamado *Tianwen lüe* (“Sumário de questões sobre o Céu”), escrito pelo jesuíta português Manuel Dias júnior (1574-1659) e que veio a ser publicado em 1615 [12,13]. O *Tianwen lüe* provocaria grande interesse entre os literatos chineses, tendo tido várias edições ao longo dos séculos e sendo incluído em todas as grandes bibliotecas imperiais. O passo em que se resumem as des-

cobertas telescópicas (ver Figura 1) apresenta uma imagem de Saturno como foi visto por Galileu (numa configuração tricorpórea) e o seguinte texto [12]:

“Há pouco tempo, um famoso sábio ocidental, versado em astronomia, e que se dedicou a observar as coisas misteriosas do Sol, da Lua e das estrelas, ciente da fraqueza dos seus olhos, construiu um instrumento maravilhoso para vir em auxílio deles. Com este instrumento, um objecto da grandeza de um ce, posto a uma distância de 60 li, vê-se como se estivesse diante dos olhos. A Lua, observada com este instrumento, aparece mil vezes maior. Vé-nus, com este instrumento, aparece grande como a Lua; a sua luz aumenta e diminui exactamente como a do disco da Lua. Saturno com este instrumento é, pela figura aqui anexa, de forma arredondada como um ovo de galinha, com duas pequenas estrelas aos seus lados, que não se pode saber se são exactamente aderentes ou não a ele. Júpiter, com este instrumento, vê-se sempre rodeado de quatro pequenas estrelas que giram em torno dele muito velozmente; umas do lado Este e outras do lado Oeste, ou [vice-versa], umas do lado Oeste e outras do lado Este, ou todas do lado Este, ou todas do lado Oeste; mas o seu movimento é muito diferente daquele [das estrelas] das 28 constelações. [...] No dia em que este instrumento chegar à China daremos mais pormenores do seu maravilhoso uso.”

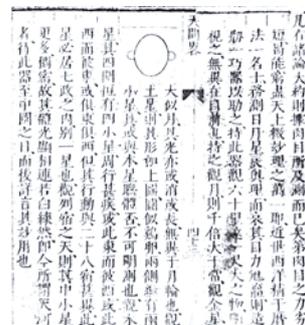


Figura 1 - A primeira descrição das observações telescópicas de Galileu na China, por um missionário português. Página do *Tianwen lüe* (“Sumário de questões sobre o Céu”), pelo jesuíta Manuel Dias júnior (1574-1659), redigido em 1614 e publicado no ano seguinte. A figura representa o planeta Saturno, tal como Galileu o viu. A tradução deste texto é apresentada no corpo do artigo. O *Tianwen lüe* causou grande impacto junto dos literatos chineses: foi editado várias vezes e incluído nas principais bibliotecas imperiais.

A disseminação do novo instrumento e das novidades celestes a partir de Lisboa não se deu apenas para o Oriente. Parece ter sido também por esta via que os primeiros telescópios chegaram à América do Sul. Em Novembro de 1614, na batalha de Guanxanduba, o Major Diogo de Campos Moreno refere que o comandante Jerónimo de Albuquerque observava o inimigo com “hum oculo de longa vista” [14,15] A aparente banalidade com que o assunto é referido deixa supor que o telescópio não fosse já uma grande novidade entre os militares portugueses.

Mas o facto mais relevante na disseminação das novidades galileanas e nos debates por elas provocados foi a chegada a Lisboa, em 1614, para leccionar matemática na “Aula da Esfera”, do jesuíta italiano Giovanni Paolo Lembo (ca. 1570-1618), um competente astrónomo que em Roma se celebrizara como hábil construtor de instrumentos científicos. Lembo encontrava-se no *Collegio Romano* nos anos cruciais das descobertas telescópicas de Galileu e no Verão de 1610 construiu o primeiro telescópio desse colégio e fez muitas observações. Em Abril de 1611 fora um dos signatário da carta ao cardeal Bellarmino confirmando as observações de Galileu e em Maio desse ano estivera presente na homenagem ao célebre pisano. Lembo ficaria conhecido sobretudo pela sua habilidade na construção de telescópios, sendo muitas vezes considerado o mais capaz construtor destes instrumentos, depois de Galileu. Ou seja, foi sem dúvida alguma um dos mais bem informados e mais competentes especialistas em observações astronómicas que chegou a Lisboa.

O curso que Giovanni Paolo Lembo leu em Santo Antão nos anos 1615-1617 é um documento da maior importância na história da ciência em Portugal. Ficou registado nas notas tomadas por um aluno não identificado, num manuscrito de cerca de 140 fólios, redigido em português, e que se encontra em bom estado de conservação (Lisboa, ANTT, Manuscritos de Livraria, 1770). Para além das matérias relacionadas com a cosmografia e as questões náuticas, que são uma constante nos cursos deste período, Lembo tratou um conjunto de outros assuntos, que incluem noções de trigonometria, uma introdução à geometria de Euclides, e técnicas de cômputo eclesiástico. Figuram de maneira proeminente neste curso muitos aspectos relacionados com máquinas hidráulicas e instrumentação vária, reflectindo os interesses do professor que, como já dissemos, se destacara como construtor de instrumentos no Colégio Romano.

A parte mais interessante deste curso, naturalmente, é a dedicada à astronomia. Logo no Prólogo, Lembo alude aos “longemira” modernos naquela que é muito possivelmente a primeira referência em português, em contexto científico, ao telescópio. Mais adiante, ao discutir o número de orbes, menciona o nome de Copérnico, “varão doctíssimo”, e prossegue analisando o movimento dos orbes celestes, cotejando as várias hipóteses cosmológicas. Descreve o heliocentrismo copernicano e o possível movimento da Terra, mas logo de seguida conclui pela impossibilidade desse sistema. Como se tornará habitual entre os professores da “Aula da Esfera”, a objecção ao heliocentrismo está centrada sobretudo em argumentos técnicos (físicos e astronómicos), embora se invoquem também problemas escriturísticos. Mas tendo concluído que a opinião

de Copérnico não é sustentável, Giovanni Lembo passa a mostrar que, virtude das recentes observações, o geocentrismo ptolemaico também não é aceitável. É neste contexto que relata as observações telescópicas feitas em Lisboa, as primeiras de que há registo documental terem sido feitas no nosso país.

A mais importante de todas as observações telescópicas, pelo menos no que se refere ao ordenamento dos orbes, é a de que Vénus exhibe fases. Todas as outras observações (mesmo a dos satélites de Júpiter) podem, apesar de tudo, ser incorporadas num esquema ptolemaico. A observação de fases em Vénus, contudo, ao mostrar que Vénus orbita em torno do Sol, obriga a uma radical transformação do esquema planetário tradicional. O curso de Lembo revela uma completa compreensão deste facto e a disposição de explorar as suas consequências, o que levará o professor italiano a propor um novo ordenamento dos orbes. Começa então por relatar a observação de fases no planeta Vénus que fizera em Roma, em 1610, e depois, num passo que é do maior interesse para a história da ciência em Portugal, revela que fizera o mesmo em Lisboa:

“A mesma observação fiz os meses passados estando já aqui em Lixboa e a mostrei não somente a meus ouvintes; mas tambem a outras pessoas curiosas (muitas) qua a virão com pontas do mesmo modo que a luã, ao principio menores, depois maiores cada vez mais; falo com testemunhas de vista.” (fl. 33v)

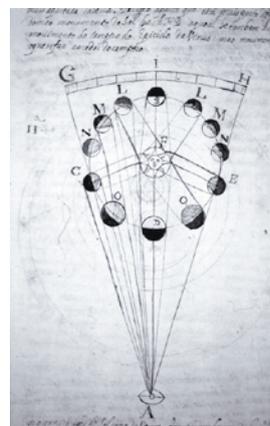


Figura 2 - Explicação das fases de Vénus nas lições de G. P. Lembo na “Aula da Esfera” nos anos 1615-17. A explicação do significado da observação das fases de Vénus e a consequente insustentabilidade do sistema ptolemaico tornaram-se centrais em todas as lições de astronomia no colégio de Santo Antão. As aulas deste professor jesuíta são o primeiro testemunho documental de observações astronómicas com um telescópio em Portugal.

Esta é a primeira referência documental conhecida atestando a realização de observações com um telescópio em Portugal [11,16]. É interessante notar que Lembo dá a entender que a audiência que testemunhou essas observações era mais ampla do que os seus alunos da “Aula da Esfera”, incluindo também muitas outras “pessoas curiosas”, revelando assim que o colégio de Santo Antão se tinha transformado no centro de irradiação das novidades científicas.

A explicação prossegue com uma cuidada descrição da

origem de fases no planeta Vénus, comentando de seguida o professor jesuíta que o mesmo fenómeno se dá com Mercúrio, e que a dificuldade em o observar é simplesmente devida à pequenez do planeta e ao facto de estar sempre muito próximo do Sol. Uma vez mais, refere observações levadas a cabo em Lisboa. Descritos estes novos factos, Lembo discute a sua relevância cosmológica, concluindo que eles impossibilitam que se continue a aceitar o tradicional sistema de Ptolemeu; apresenta então o seu modelo de ordenamento planetário, que é uma variação do sistema de Tycho Brahe.

Na parte final do manuscrito encontram-se instruções para a construção de um telescópio (ver Fig. 3). Trata-se de instruções muito práticas, relacionadas com a técnica necessária para o polimento das lentes. São muito importantes para toda a historiografia científica, não só a portuguesa, pois sabe-se muito pouco sobre o modo prático de polir lentes para telescópios, assunto acerca do qual nem Galileu nem os primeiros construtores deixaram qualquer descrição. Para além disso, testemunham um excepcional pioneirismo pedagógico do colégio lisboeta: tanto quanto conseguimos apurar, o Colégio de Santo Antão foi a primeira instituição de ensino da Europa (e portanto do Mundo) onde alunos foram iniciados no polimento de lentes para construção de telescópios.

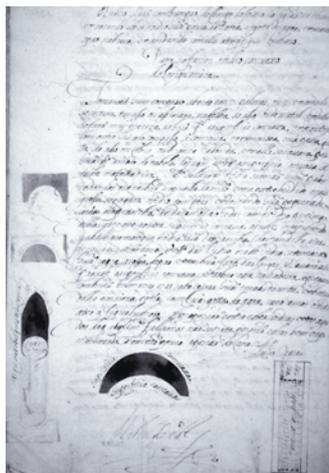


Figura 3 - Instruções para a construção de telescópios em Lisboa, em 1615-17, nas aulas de G. P. Lembo. São das primeiras instruções práticas para a construção de telescópios que se conhecem. A “Aula da Esfera” em Lisboa foi muito possivelmente a primeira instituição de ensino no mundo onde alunos foram iniciados na construção de telescópios.

No colégio de Santo Antão a explicação e análise das observações telescópicas de Galileu e suas implicações cosmológicas não foram um exclusivo das aulas de Giovanni Lembo, muito pelo contrário. Nas primeiras décadas do século XVII os novos dados fornecidos pelos telescópios e o debate em torno do ordenamento cosmológico ocuparam um lugar central nas lições da “Aula da Esfera”, tendo todos os professores tratado estes assuntos em detalhe. O modelo cosmológico ptolemaico foi rejeitado, o modelo astronómico copernicano, embora não aceite, foi discutido e explicado. Tal como a grande maioria dos matemáticos da Europa – e certamente todos os matemáticos da Companhia de Jesus – também os professores da “Aula da Esfera” defenderam

a adopção do sistema de Tycho Brahe (ou alguma variante) que, adequando-se à nova evidência observacional, não levantava os problemas de uma Terra em movimento.

No Outono de 1620 iniciava as suas aulas de matemática em Santo Antão o alemão Johann Christostomus Gall (1586-1643), que havia estudado no colégio de Ingolstad e acompanhara de perto o debate acerca do ordenamento cosmológico. Nas suas lições em Lisboa dedicou uma atenção especial aos assuntos cosmológicos e aos debates em torno do ordenamento celeste [16]. Gall apresenta uma discussão cuidada dos novos factos observados com o telescópio – que designa por “óculo astronómico” ou “óculo comprido” – e uma discussão pormenorizada dos vários sistemas celestes: o de Ptolemeu, o de Tycho Brahe e o de Copérnico. Gall dedicou também uma atenção muito pormenorizada a vários assuntos de óptica geométrica, sem dúvida em consequência da importância do telescópio.

Nos anos seguintes destacar-se-ia sobretudo o italiano Cristoforo Borri (1583-1632), um professor da “Aula da Esfera” que viria a alcançar uma considerável projecção internacional. Borri foi dos mais importantes defensores da teoria do céu fluido, explicando também nas suas aulas em Lisboa que em face das novas observações cosmológicas o sistema cosmológico ptolemaico não era aceitável. Analisou a natureza das novas observações, comentou em detalhe o funcionamento e os princípios ópticos do telescópio, insistiu também na necessidade de reformular profundamente a filosofia natural de base aristotélica, defendendo em particular, que os céus teriam uma natureza fluida, não sendo compostos de orbes rígidas. Não achou que o sistema copernicano – cujos prós e contras discutiu – fosse aceitável e avançou com um ordenamento cosmológico semelhante ao de Tycho Brahe [16,17].

Em 1631 saía dos prelos, em Lisboa, a *Collecta astronomica*, de Cristóvão Borri, obra em que a “nova astronomia” era apresentada em toda a sua amplitude. O livro tem a importância de ser a primeira obra publicada em Portugal em que se discutem de maneira desenvolvida o funcionamento do telescópio, as novas observações astronómicas e as suas implicações cosmológicas, e os vários sistemas astronómicos; é o primeiro livro impresso no nosso país em que se explica porque o modelo de Ptolemeu é insustentável e em que se defende que os céus têm uma natureza fluida e não rígida. Trata-se, portanto, de um documento do maior valor na história da ciência em Portugal, e mesmo da ciência europeia da época, pois o seu impacto sentiu-se muito para além das fronteiras nacionais. Nas décadas seguintes a “Aula da Esfera” continuou a ser o centro irradiador das novidades científicas em

Portugal. Depois de Borri, o inglês Ignace Stafford (1599-1642), que aí leccionou entre 1630 e 1636, continuou a analisar estes importantes assuntos astronómicos. Entre 1638 e 1641 foi professor na “Aula da Esfera” o inglês Simon Fallon (1604-1642) que, a avaliar pelas notas de aulas que chegaram até aos dias de hoje, usou boa parte das suas lições para discutir muitos aspectos da nova astronomia. Para além das lições na “Aula da Esfera”, onde ensinavam muitos professores estrangeiros, Lisboa era por estes anos palco de um movimento de circulação de cientistas de características únicas na nossa história. Uma vez que a Companhia de Jesus enviou para o Extremo Oriente, mais especificamente para a China, números muitos significativos de missionários com treino avançado em matemática e astronomia, todos esses homens estiveram durante meses ou anos em Portugal, à espera da melhor ocasião para partirem para o Oriente, muitos deles associando-se às actividades científicas do colégio de Santo Antão, fazendo observações, dando aulas privadas, intervindo em discussões, etc. Por exemplo, pelos anos de 1617-1618, passaram por Lisboa os jesuítas matemáticos Giacomo Rho (ca. 1592-1638), Johannes Schreck (1576-1630), Wenzel Pantaleon Kirwitzer (ca. 1589-1626), e Johann Adam Schall von Bell (1591-1666). Todos estes homens eram autoridades em assuntos científicos e destacar-se iam pela sua acção científica no Extremo Oriente. Traziam consigo não apenas livros e instrumentos, mas sobretudo o domínio mais avançado de muitos assuntos científicos e o conhecimento das polémicas cosmológicas, que assim eram discutidas em Santo Antão por professores, alunos, e “muitas outras pessoas curiosas”.

A história da disseminação das primeiras notícias acerca de Galileu e da construção dos primeiros telescópios em Portugal, aqui traçada de maneira esquemática, revela uma vitalidade intelectual e um enquadramento institucional muito peculiar na história portuguesa. As condições institucionais então vigentes – em particular a existência de uma vasta rede de ensino com características supranacionais – permitiu um contacto e um intercâmbio do nosso país com outros centros científicos europeus. Não tem qualquer fundamento a ideia de que entre nós não se conhecessem as novidades telescópicas descobertas por Galileu ou os debates que elas originaram. Pelo contrário, como sucedeu no caso da China, foi devido a essa rede e devido a portugueses que pela primeira vez essas notícias extraordinárias alcançaram outros pontos do mundo. Mas todos estes episódios traduzem apenas uma pequena fracção daquilo que foi a actividade científica em Portugal no século XVII, uma actividade que, a despeito da abundante documentação que a testemunha, está ainda quase toda por conhecer.

1. Galileu Galilei, “Sidereus Nuncius. O Mensageiro das Estrelas”. Tradução, estudo e notas por Henrique Leitão (Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010).
2. Eileen Reeves e Albert van Helden, “Verifying Galileo’s discoveries: telescope-making at the Collegio Romano”, *Acta Historica Astronomiae*, 33, 127-141 (2007).
3. Luís de Albuquerque, “A ‘Aula de Esfera’ do Colégio de Santo Antão no século XVII”, *Anais da Academia Portuguesa de História*, 2ª série, vol. 21, 337-391 (1972).
4. Ugo Baldini, “L’insegnamento della matematica nel Collegio di S. Antão a Lisbona, 1590-1640”, in: “A Companhia de Jesus e a Missionação no Oriente” (Lisboa: Brotéria e Fundação Oriente, 2000) 275-310.
5. Ugo Baldini, “The teaching of mathematics in the Jesuit colleges of Portugal from 1640 to Pombal”, in Luís Saraiva, Henrique Leitão (eds.), “The Practice of Mathematics in Portugal. Papers from the International Meeting organized by the Portuguese Mathematical Society, Óbidos, 16-18 November, 2000” (Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2004) 293-465.
6. Henrique Leitão, “A Ciência na “Aula da Esfera” no Colégio de Santo Antão, 1590-1759” (Lisboa: Comissariado Geral das Comemorações do V Centenário do Nascimento de S. Francisco Xavier, 2007).
7. “Sphaera Mundi: A Ciência na «Aula da Esfera». Manuscritos Científicos do Colégio de Santo Antão nas colecções da BNP”. Comissário científico: Henrique de Sousa Leitão; coordenação técnica: Lígia de Azevedo Martins (Lisboa: Biblioteca Nacional de Portugal, 2008).
8. Luís Miguel Carolino, “João Delgado SJ e a «Quaestio de Certitudine Mathematicarum» em inícios do século XVII”, *Revista Brasileira de História da Matemática*, 6 (2006) 17-49.
9. Bernardo Machado Mota, *O Estatuto da Matemática em Portugal nos Séculos XVI e XVII* (Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 2008).
10. Bernardo Mota, “O debate sobre o estatuto da Matemática em Santo Antão a partir de 1590”, in [7], 45-70.
11. Henrique Leitão, “Galileo’s Telescopic Observations in Portugal”, em: José Montesinos y Carlos Solís (eds.), *Largo Campo di Filosofare. Eurosymposium Galileo 2001* (La Orotava: Fundación Canaria Orotava de la Historia de la Ciencia, 2001) 903-913.
12. Henrique Leitão, “The contents and context of Manuel Dias’ Tianwenlue”, in Luís Saraiva and Catherine Jami (eds.), “History of Mathematical Sciences: Portugal and the East, III. The Jesuits, the Padroado and East Asian Science (1552-1773)” (Singapore: World Scientific, 2008) 99-12.
13. Rui Magone, “The textual tradition of Manuel Dias’ Tianwenlue”, in Luís Saraiva and Catherine Jami (eds.), “History of Mathematical Sciences: Portugal and the East, III. The Jesuits, the Padroado and East Asian Science (1552-1773)” (Singapore: World Scientific, 2008) 123-138.
14. Diogo de Campos Moreno, “Jornada do Maranhão por ordem de S. Magestade feito o anno de 1614”, in “Colecção de notícias para a história e geografia das nações ultramarinas que vivem nos domínios Portuguezes, ou lhes são vizinhas” (Lisboa: Academia Real das Sciencias, 1814).
15. Engel Sluiter, “The first known telescopes carried to America, Asia and the Arctic, 1614-39”, *Journal for the History of Astronomy* 28, 141-145 (1997).
16. Henrique Leitão, “O debate cosmológico na “Aula da Esfera” do Colégio de Santo Antão”, in [7], 27-44.
17. Luís Miguel Carolino, “The making of a Tychoic cosmology: Cristoforo Borri and the development of Tycho Brahe’s astronomical system in the early seventeenth-century”, *Journal for the History of Astronomy* 39, 313-344 (2008).

# Um grande aplauso para a biologia quântica

Jim Al-Khalili

**Existem muitas subáreas da investigação científica em todo o mundo que utilizam as estranhas regras quânticas para descrever o nosso universo, desde a física da matéria condensada à física molecular, à física atômica, à física nuclear e à física de partículas. Existe ainda a química quântica, a óptica quântica, a nanotecnologia, a informação quântica, a cosmologia quântica, a gravidade quântica, e a lista continua. A estas junta-se agora a fascinante área da biologia quântica.**

Um dos fundadores da mecânica quântica foi o austríaco Erwin Schrödinger. É muito conhecido no mundo da física por ter obtido a equação com o seu nome, conhecida de todos os estudantes de mecânica quântica. Porém, mais tarde, em 1944, Schrödinger escreveu também um livro de ciência popular muito influente intitulado "What is Life?", onde especulava que o comportamento da matéria viva a nível celular pode ser descrito em termos de física e química puras, e que a essa escala até a mecânica quântica desempenharia um papel. Introduziu também a ideia de um "cristal aperiódico" que contivesse a informação genética na sua configuração de ligações químicas covalentes. Um dos responsáveis pela descoberta do ADN, Francis Crick, afirmou que este livro foi a sua inspiração.

Sendo assim, será que a mecânica quântica desempenha algum papel na célula? Em certa medida, tem de desempenhar. Afinal de contas, as moléculas da vida mantêm-se ligadas da mesma maneira que qualquer outra molécula: por meio de ligações químicas sujeitas às regras do mundo quântico. Muito mais interessante é saber se as características mais estranhas da mecânica quântica também desempenham algum papel. Uma das mais óbvias é o efeito de túnel (o equivalente subatômico a atravessar as paredes). Esta é uma das muitas áreas que estão a ser estudadas por um novo tipo de investigadores que ocupam uma posição de fronteira entre a física quântica e a microbiologia.



Cortesia de Jim Al-Khalili

Descrevendo por palavras simples, há certas mutações genéticas que acontecem quando se quebram pontes de hidrogénio entre dois pares de bases no ADN e se forma uma nova ligação adjacente. Foi possível descrever este fenómeno em termos de um próton que atravessa por efeito de túnel a barreira entre dois poços de potencial. É curioso que muitos biólogos vêm com cepticismo a necessidade de recorrer à mecânica quântica, ao passo que muitos físicos olham com desdém para os modelos simples que estão a ser usados para estudar sistemas complexos como as células vivas. Por outro lado, esta é uma ótima notícia para os que tiverem a coragem necessária para explorar esta nova fronteira da ciência, dado que ainda não é uma área demasiado ocupada.

Um tema que neste momento me interessa pessoalmente é o efeito do ambiente externo (dentro da célula) de um sistema quântico, ambiente ao qual o sistema se pode acoplar, causando aquilo a que se costuma chamar Descoerência - em que os estranhos efeitos quânticos se esvaem, fazendo lembrar a dissipação do calor. Desde há duas décadas alguns grupos em todo o mundo têm estudado este efeito, e este trabalho tem efeitos de longo alcance. Por exemplo, pode ajudar a compreender como é que o cancro se desenvolve. De facto, para que uma célula com cancro apareça tem de acontecer uma série de mutações independentes na mesma célula. Cada uma destas mutações é muito rara. Sendo assim, parece óbvio que a probabilidade de diversas mutações independentes ocorrerem na mesma célula é muito baixa. Uma das hipóteses sugeridas é que a mecânica quântica desempenhe algum papel nestas mutações, o que poderia explicar porque é que o cancro é muito mais comum do que se esperaria.



# Por um novo Museu de Ciência em Lisboa

Carlos Fiolhais

**Os actuais *Museus da Politécnica da Universidade de Lisboa*, juntamente com o Jardim Botânico a eles anexo, ocupam um espaço nobre da cidade e albergam um notável património científico que importa cuidar, valorizar e promover. Um grande projecto científico-cultural que envolvesse a Universidade e o município deveria proporcionar um novo centro de atracção na capital.**

Por outro lado, seria uma boa oportunidade para tratar de modo ainda mais profissional o seu património científico (incluindo espólio de medicina e astronomia que está noutros sítios, e que constitui um legado de notáveis actividades científicas nos séculos XIX e XX). Acima de tudo, representa uma oportunidade de a Universidade se abrir ainda mais à cidade, ao país e ao mundo, promovendo a cultura científica para o maior número possível de cidadãos

A actual situação, com dois museus em larga medida divorciados um do outro, é insustentável. Ao défice de uma estratégia conjunta e à não optimização dos custos de gestão e divulgação, acresce o facto de se revelar confuso para o visitante o actual trajec-to. Fez bem, portanto, a Comissão Internacional que apresentou um relatório sobre os museus em propor a constituição de um único Museu. Caminhar nessa direcção representaria não só uma sinergia de esforços mas também uma economia do investimento. E significaria desistir de uma tradição de isolamento das várias áreas disciplinares, que é feita tendo em

atenção interesses particulares e não o interesse geral. A moderna ciência é, de resto, altamente interdisciplinar.

O novo museu exige uma refundação que pressupõe um novo nome e um novo programa, que deve ser procurado de um modo o mais colectivo possível. Não é curial que o novo Museu seja baptizado com o nome de um dos dois museus actualmente coligados sob a designação de *Museus da Politécnica*. Se se tivesse de escolher uma das actuais, o que não tem, *Museu de Ciência* seria até uma designação mais abrangente. Se o novo museu se chamar *Museu Nacional de História Natural* seria uma perda, inglória, do actual Museu de Ciência, que há 25 anos o físico Fernando Bragança Gil criou entre mil dificuldades e que modernamente Ana Eiró tem denodadamente continuado.

Existindo outras Universidades nacionais (Coimbra e Porto) com espólios científicos similares, impõe-se, num país pequeno, de escassos recursos e ainda por cima numa situação de crise, que haja uma colaboração eficaz entre elas, numa estrutura em rede, quer no trabalho técnico de organização e mostra, tanto real como virtual, das colecções, quer ainda na permuta de exposições temporárias ou, pelo menos, de instrumentos, objectos e documentos a incluir nestas. É bom que as escolas superiores com maiores tradições convirjam na defesa de cultura científica. A ligação entre Lisboa e Coimbra, em particular, devia ser reforçada, atendendo até à história comum (Museu da Ajuda devido a Vandelli, Gabinete de Física em Coimbra com origem no Colégio dos Nobres, etc.) A reivindicação junto do governo da nação – que, infelizmente, tem olvidado quase por completo o património científico – de meios poderia e deveria ser conjunta, aumentando com isso a sua probabilidade de êxito. Essa reivindicação não deve fazer esquecer a angariação de apoios que tem de ser feita junto da sociedade em geral. A sociedade, para ter memória e identidade, necessita de dignificar o património científico. E este necessita, decerto, de toda a ajuda que a sociedade lhe puder dar.

## O PROTÃO É, AFINAL, MAIS PEQUENO!

**Joaquim Santos**

Centro de Instrumentação - Departamento de Física da Universidade de Coimbra, Grupo de Instrumentação Atómica e Nuclear, Rua Larga, 3004 516 Coimbra

jmf@gian.fis.uc.pt

<http://gian.fis.uc.pt/pt/index.html>

Uma equipa internacional de investigadores (<https://muhy.web.psi.ch/wiki/>), da qual faz parte um grupo de investigadores portugueses das universidades de Coimbra e Aveiro, verificou que o protão é, afinal, mais pequeno do que o assumido até agora pela comunidade científica. Este resultado surpreendente foi obtido numa experiência com um nível de precisão sem precedentes e foi publicado em Julho passado na prestigiada revista Nature [1], tendo sido escolhido para capa da referida revista.

O protão, um dos constituintes básicos de toda a matéria, é, na realidade, mais pequeno do que se pensava. O valor obtido nesta experiência para o raio do protão é dez vezes mais preciso mas, surpreendentemente, 4% menor do que o valor assumido até agora. As consequências desta discrepância estão ainda por esclarecer, não se sabendo actualmente qual o alcance das suas implicações na Física, podendo, no limite, vir a questionar a validade de uma das teorias fundamentais mais sólidas ou fazer alterar o valor da constante física fundamental de maior precisão, a constante de Rydberg.

O hidrogénio é o mais simples de todos os átomos, pois consiste num único protão à volta do qual orbita um único electrão. Dada a sua simplicidade, o átomo de hidrogénio é o melhor objecto para a investigação de questões de base da Física Quântica.

A teoria da Electrodinâmica Quântica, que descreve a interacção entre a luz e a matéria, fornece previsões sobre propriedades atómicas com elevada precisão. O conhecimento, com elevada precisão, do tamanho do protão, em especial o seu raio de carga, é o factor limitativo para a comparação entre os valores medidos em experiências de espectroscopia atómica e aquela teoria. Até ao presente, o valor aceite pela comunidade científica para o raio do protão é conhecido com uma precisão de apenas 1%, obtido a partir de experiências de espectroscopia do átomo de hidrogénio.

A presente colaboração tinha como objectivo melhorar dez vezes a precisão do raio de carga do protão, através da implementação de uma experiência de tal modo arrojada tecnicamente. No átomo de hidrogénio, o electrão foi substi-

tuído por uma partícula semelhante mas 200 vezes mais pesada, o muão. Este facto implica que a órbita do muão se encontre 200 vezes mais próxima do protão, incrementando deste modo o efeito do tamanho do protão nos resultados de espectroscopia do hidrogénio muónico.

Desde os anos 70 que investigadores do Paul Scherrer Institute, na Suíça, perseguiram o objectivo de determinar o raio do protão utilizando hidrogénio muónico. No entanto, foram necessários 40 anos para que a concepção dessa ideia pudesse vir a ser materializada, devido ao facto de terem que ser ultrapassados muitos desafios técnicos e experimentais, entre os quais o facto de o muão ser uma partícula instável e sobreviver apenas durante cerca de dois milionésimos de segundo. A concretização deste sonho foi finalmente possível com a agregação de várias equipas em que cada uma contribuiu com a sua especialização nas áreas de Física de Aceleradores, Física Atómica, Física dos Lasers e Física dos Detectores de Radiação.

A equipa portuguesa, coordenada por elementos do Centro de Instrumentação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, foi responsável pelo sistema de detecção de raios-x, um dos sistemas pilares da experiência e teve um papel importante no desenvolvimento do sistema de aquisição e processamento dos sinais desses detectores. No início, foi convidada a participar nesta colaboração para implementar detectores de raios-x de baixa energia, que haviam sido desenvolvidos e estudados em detalhe no Centro de Instrumentação. Estes estudos haviam sido realizados no âmbito dos trabalhos de doutoramento do aluno João Veloso, agora Professor da Universidade de Aveiro. A compactidade, área de detecção elevada e excelente resolução em energia eram bons argumentos para a sua utilização na experiência. Contudo, a partir de 2002, a colaboração acabou por optar pela utilização de detectores

de fotodíodos de avalanche já existentes no mercado e também então em estudo no nosso Centro, no âmbito dos trabalhos de doutoramento do aluno Luís Fernandes, agora Investigador da FCTUC. A maior compactidade e simplicidade de operação dos fotodíodos de avalanche foram os argumentos decisivos para a sua escolha, mesmo sacrificando em parte a área de detecção e a resolução em energia. Desde então foram optimizados vários parâmetros experimentais de modo a obter-se um melhor desempenho deste tipo de detectores. O desempenho do sistema de detecção de raios-x foi notável, o que contribuiu significativamente para o sucesso da experiência.

Em 2002, 2003 e 2007 foram encetadas tentativas infrutíferas. Pensou-se que o sistema laser não era suficientemente rápido e potente. Concluiu-se, a

Cortesia de Macmillan Publishers Ltd.  
(Nature, copyright 2010)



posteriori, que se tinha estado a emitir impulsos de laser com a frequência errada, pois tinham por base o valor até então conhecido para o raio do protão. A descoberta deu-se no verão de 2009. Após três meses de montagem intensiva de todo o sistema experimental e três semanas de recolha de dados, 24 horas por dia, na noite de 5 de Julho de 2009 decidiu-se alargar a gama de frequências do laser e finalmente pudemos observar, de forma inequívoca, o sinal há muito procurado.

Depois de uma longa e cuidada análise dos resultados, o valor obtido para o raio do protão, 0,84184 fm (1 fm = 1 femtometro =  $10^{-15}$  m), tem uma precisão dez vezes superior à anterior, mas encontra-se em clara discordância com o valor aceite até então (0,8768 fm). As razões para esta discrepância estão a ser analisadas e discutidas pela comunidade científica. Neste momento tudo se encontra em aberto, desde as medidas anteriores de elevada precisão aos cálculos teóricos complexos e até, possivelmente, à teoria fundamental mais testada, a própria Electrodinâmica Quântica. No entanto, antes de ser questionada a validade desta teoria, têm que ser verificados alguns cálculos teóricos. Uma ajuda para o esclarecimento das dúvidas levantadas poderá ser a próxima experiência, planeada para 2012, onde esta equipa de cientistas irá investigar o hélio muónico, através da mesma técnica, para determinar o seu raio de carga. Os meios técnicos e científicos já existem para o efeito.

Participaram na colaboração 32 cientistas provenientes de três continentes. A experiência foi realizada no Paul Scherrer Institute, Suíça, devido ao facto de possuir o feixe de muões mais intenso do mundo. O sistema laser foi desenvolvido pelas equipas francesa e alemã. Os detectores de raios-x foram da responsabilidade da equipa portuguesa. O sistema electrónico de controlo foi da responsabilidade da equipa suíça. Houve ainda contribuições por parte de elementos dos Estados Unidos e de Taiwan. A equipa portuguesa é composta por oito investigadores, sendo seis investigadores do Centro de Instrumentação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra – Professor Joaquim Santos, Coordenador do CI, Doutor Luís Fernandes, Doutor José Matias (Prof. Adjunto do ISEC), Doutor João Cardoso, Mestre Fernando Amaro e Mestre Cristina Monteiro, membros do CI, e dois investigadores da Universidade de Aveiro – Professor João Veloso e Doutor Daniel Covita. Ambos os grupos portugueses são internacionalmente reconhecidos pelos seus conhecimentos e perícia na área dos detectores de radiação.

Em particular, refira-se que a equipa alemã é liderada pelo Prof. Dr. Theodor W. Hänsch, Prémio Nobel da Física em 2005.

A participação da equipa portuguesa na futura experiência de elevada relevância conta com o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Lisboa, através do projecto PTDC/FIS/102110/2008.

## Como foi medido o raio do protão

Muões de baixa energia (alguns keV), são enviados num feixe e “parados” num alvo de hidrogénio. O muão passa a ocupar uma órbita “mais interior” no átomo de hidrogénio, “empurrando” para fora o electrão e formando o hidrogénio muónico,  $\mu\text{H}$ . Este átomo exótico fica inicialmente num estado excitado ( $N \sim 14$ ) e decai rapidamente (alguns ns) para o estado fundamental, levando à emissão de raios-x de 2 keV da transição 2p-1s. Contudo 1% das vezes o  $\mu\text{H}$  acaba no estado metaestável 2s.

Deste modo, quando um muão é parado no alvo de hidrogénio é disparado um impulso laser sobre o alvo, o qual ocupa uma cavidade óptica que é, então, varrida pelo impulso laser. Ao varrer a cavidade, os fotões do laser poderão incidir sobre o átomo do hidrogénio muónico que estiver no estado 2s e promover a transição 2s-2p, se o comprimento de onda do laser estiver em ressonância com a diferença de energias (chamada desvio de Lamb) entre aqueles dois estados. Ao atingir o estado 2p o hidrogénio muónico decai imediatamente para o estado fundamental, emitindo um raio-x com uma energia de 2 keV.

O comprimento de onda do laser é ajustável, na região das microondas. Fazendo coincidências entre o disparo do laser (que chega à cavidade umas largas centenas de ns depois do muão ser “parado” no alvo) e a detecção de raios-x de 2 keV, poderemos obter a curva de ressonância para a transição 2s-2p, medindo o número de raios-x de 2 keV detectados em coincidência com o disparo do laser. Deste modo, obtemos o valor do desvio de Lamb com um erro dado pela largura intrínseca da transição 2s-2p. O desvio de Lamb permite determinar directamente o valor do raio do protão, de acordo com as formulações teóricas desenvolvidas a partir da Electrodinâmica Quântica.

1. Randolph Pohl, Aldo Antognini, François Nez, Fernando D. Amaro, François Biraben, João M. R. Cardoso, Daniel S. Covita, Andreas Dax, Satish Dhawan, Luis M. P. Fernandes, Adolf Giesen, Thomas Graf, Theodor W. Hänsch, Paul Indelicato, Lucile Julien, Cheng-Yang Kao, Paul Knowles, Eric-Olivier Le Bigot, Yi-Wei Liu, José A. M. Lopes, Livia Ludhova, Cristina M. B. Monteiro, Françoise Mulhauser, Tobias Nebel, Paul Rabinowitz, Joaquim M. F. dos Santos, Lukas A. Schaller, Karsten Schuhmann, Catherine Schwob, David Taqqu, João F. C. A. Veloso & Franz Kottmann, “The size of the proton”, *Nature* 466 (7303), pág. 213-216 (2010).  
DOI: 10.1038/nature09250

## OBITUÁRIOS: M. ALVES MARQUES E J. RESINA RODRIGUES

### Filipe Moura

Nesta edição da Gazeta homenageamos duas personalidades da física em Portugal, recentemente falecidas: os Professores Manuel Alves Marques (a 6 de Abril) e João Resina Rodrigues (3 de Junho). Dois percursos paralelos, na vida e na universidade – nasceram no mesmo ano, e cursaram engenharia no Instituto Superior Técnico. Alves Marques veio a ser o primeiro doutorado desta instituição (ver artigo na pág.13, Resina optou pelos caminhos da filosofia, acumulando o sacerdócio com a investigação. As aulas de ambos no Técnico influenciaram várias gerações de físicos e engenheiros. Ficam aqui algumas recordações pessoais de um ex-aluno.

### João Resina Rodrigues (1930 - 2010)

Estudante de Engenharia Química no Instituto Superior Técnico, tendo sido colega de curso de Maria de Lurdes Pintasilgo, viria posteriormente a ordenar-se sacerdote, tendo-se doutorado em Filosofia na Universidade de Lovaina. Regressou ao Instituto Superior Técnico como docente de História da Ciência, tendo testemunhado de perto as convulsões e crises académicas da escola antes de 1974. Ao mesmo tempo manteve sempre a actividade de sacerdote, sendo prior da Capela do Rato, que funcionava como lugar de reunião de católicos anti-salazaristas. Por estas razões era elemento suspeito para o regime fascista, tendo sido vigiado pela PIDE durante as suas homilias e mesmo fora da igreja.

Já depois do 25 de Abril continuou como sacerdote e a dar aulas de física (História das Ideias e Mecânica Analítica) no Instituto Superior Técnico, tendo sido professor de diversas gerações de alunos. Das suas aulas recordo o profundo respeito pela diversidade de opiniões. Resina era um homem que sabia ouvir, e respeitava quem pensasse de forma diferente da sua. Nas suas aulas falava-nos do valor inquestionável da ciência (ele próprio foi cientista) e jamais se serviu da sua posição de docente no ensino superior público para qualquer tipo de proselitismo. Fazia questão de frisar que não estava interessado ali em saber se éramos crentes ou não.

A título pessoal, recordo a aula teórica que ele teve de dar de pé em cima da secretária num anfiteatro do Pavilhão Central, para chegar a um quadro que estava avariado,

e que ele próprio classificou como “aula de alto nível”... Recordo também as aulas práticas, onde enfatizava os conceitos essenciais (algo que todo o bom professor deve fazer) com a famosa expressão “não saber isto é pior que cuspir na sopa”. Se eu lhe colocava alguma questão que ele achava que eu deveria saber, ele respondia, num tom levemente irritado: “Ó homem, não me chateie!” Logo de seguida arrepentia-se e, num tom algo condescendente mas que revelava toda a sua bondade, recordava-me: “Eu provei isso na aula teórica!” Será recordado por quem o conheceu. Como diria Vinicius, eu, que não creio, peço a Deus pelo Prof. Resina.

### Manuel Alves Marques (1930 - 2010)

O local era um laboratório de Física Experimental no Instituto Superior Técnico, e as personagens um professor, um assistente e três alunos (um dos quais eu) que queriam realizar a experiência de birrefringência. O objectivo era estudar esta propriedade de certos cristais anisótropos, que consiste em haver índices de refração diferentes para polarizações diferentes da luz. Para observarmos este fenómeno, precisávamos de luz linearmente polarizada. Como é bem sabido da óptica elementar, se incidirmos um feixe laser na superfície de um material normal com um ângulo bem preciso, característico desse mesmo material (o chamado ângulo de Brewster), a luz reflectida é completamente (isto é, linearmente) polarizada.

Era essa luz que procurávamos obter (para depois incidir no cristal birrefringente). O assistente do laboratório assegurava-nos que o professor lhe havia garantido que o bloco reflector se encontrava já disposto no ângulo de Brewster relativamente ao feixe incidente, pelo que não precisávamos de nos preocupar em encontrá-lo. Só tínhamos que ligar o laser. De seguida, para efeitos de controlo, passávamos a luz reflectida por um polarizador, que rodávamos. Só que, por mais voltas que déssemos, não havia ângulo do polarizador para o qual não houvesse luz refractada. Dito de uma forma mais simples

(conclusão reforçada após trocas de polarizadores, sempre com o mesmo resultado): claramente, a luz reflectida por aquele bloco não estava polarizada como deveria.



Prof. Manuel Alves Marques (direita), junto dos Profs. Rui Marques (Un. Coimbra) e Paula Bordalo (IST), em 2004.

Que conclusão é que físicos teóricos (que era o que dois dos alunos se viriam a tornar) imediatamente retiram de uma situação como esta? Logicamente, a única fornecida pela teoria de Maxwell: “o bloco não está no ângulo de Brewster!” O assistente concordou, e assim se iniciou a “busca do ângulo de Brewster”. Rodávamos o bloco mais um grau, menos um grau, num e noutro sentido, e íamos testando a polarização do feixe reflectido. Para todos os ângulos, rodávamos o polarizador e não havia maneira de o feixe se anular.

Já não sabíamos, nós nem o assistente, o que fazer mais, quando entrou no laboratório o professor (Manuel Alves Marques). Perguntou-nos se estava tudo a correr bem. Quando lhe contámos o que se passava, e como tínhamos procedido, isto é, que tínhamos alterado a disposição do “seu” laboratório, inalterado (tal como ele) ao longo de tantos anos, fulminou-nos e os seus olhos quase saltavam das órbitas:

— Ponham tudo como estava!

Ao verificar que tínhamos tomado nota da posição inicial do reflector, e que nos foi de facto possível

colocar tudo como estava inicialmente, a sua voz retomou o habitual tom calmo e quase sumido.

De seguida, sacou de um lenço do bolso da gabardina que trazia quase sempre vestida, fizesse chuva ou fizesse sol, e com ele esfregou o bloco reflector, no ponto de incidência do laser, enquanto nos explicava:

— Deve haver aqui alguma impureza!

E de facto, após a limpeza do bloco, bastou uma rotação do polarizador para extinguir o feixe: a luz era linearmente polarizada. A falha não era do ângulo de Brewster!

Este episódio exemplar permitiu-nos aprender que, embora a física tenha por objectivo a explicação de todos os fenómenos naturais, no mundo real estes dependem de muitos motivos, raramente podendo ser explicados por aplicação directa das teorias mais simples.

No fim da aula, sem que o prof. Alves Marques nem o assistente o vissem, ainda pensámos em voltar a rodar o bloco, desta vez retirando-o propositadamente do ângulo de Brewster, para os nossos colegas que fizessem a experiência a seguir nos contarem qual tinha sido a reacção do assistente (que assistira ao episódio tão surpreendido como nós). Talvez, em lugar de rodar o bloco, ele passasse o resto da aula a poli-lo: “Eu sei o que isto é! É uma impureza!”

Não fizemos tal maldade. Nem os nossos colegas nem o pobre assistente a mereciam. Muito menos o prof. Alves Marques, que dedicou toda a sua vida à física e que, por isso, mereceu e merece, agora na hora do seu desaparecimento, o nosso respeito.

Cortesia Paula Bordalo.



# Aconteceu

Fernando Nogueira

## OLIMPÍADAS REGIONAIS DE FÍSICA

Decorreram no passado dia 24 de Abril as XXVI Olimpíadas Regionais de Física. Participaram neste evento 943 alunos de 318 escolas de todo o país, agrupados em dois escalões etários: 561 alunos do 9º ano competiram no escalão A e 382 alunos do 11º ano concorreram ao escalão B. As provas tiveram lugar nos Departamentos de Física das Universidades do Porto e de Coimbra e no pólo do Instituto Superior Técnico no Taguspark, em Oeiras. Embora as provas (uma prova teórica e uma prova experimental) sejam as mesmas para todas as delegações da SPF, as escolas participam nesta fase das olimpíadas deslocando-se à delegação da SPF a que estão associadas. Os vencedores da etapa regional foram:

### Escalão B

#### Região Norte

1. Bruno Rodrigues Pacheco Murta (E.S. Carlos Amarante, Braga)
2. Rui Pedro Azevedo (Colégio Luso-Francês, Porto)
3. José Manuel Salazar Ribeiro (Externato Delfim Ferreira, Riba de Ave)
4. Hugo Miguel Guedes Pereira dos Santos (E.S. António Sérgio, Vila Nova de Gaia)
5. José Pedro Castro Fonseca (E.S. D. Afonso Sanches, Vila do Conde)
6. Luís Filipe Cleto (Colégio Luso-Francês, Porto)
7. Mafalda Araújo Machado (Externato Delfim Ferreira, Riba de Ave)
8. Pedro José Cerqueira Pinto (Colégio de S. Gonçalo, Amarante)
9. Rafael Teixeira (E.S. de Mirandela, Mirandela)
10. Ricardo Miguel Sá Reis Veloso (Colégio Liceal de Santa Maria de Lamas, Santa Maria de Lamas)

#### Região Centro

1. Nuno Miguel Pereira (E.S. de Albergaria-a-Velha, Albergaria-a-Velha)
2. Henrique Silva Fernandes (E.S. Felismina Alcântara, Mangualde)
3. Bernardo Daniel Cruz (E.S. de Sever do Vouga, Sever do Vouga)
4. Fábio Moreira Barbosa (Colégio Frei Gil, Bustos)
5. José Nuno Azevedo Gomes Teixeira (E.S. Alves Martins, Viseu)
6. Paulo José Pina Barreto Augusto (E.S. Avelar Brotero, Coimbra)
7. João Matias Marques (Instituto Educativo do Juncal, Juncal)
8. José Fernando Duarte Marques (E.S. Avelar Brotero, Coimbra)
9. Ana Margarida Coutinho Mota (E.S. de Viriato, Viseu)
10. Emanuel Almeida Crespo (Colégio Frei Gil, Bustos)

#### Região Sul e Ilhas

1. Rodrigo Toste Gomes (E.S. Vitorino Nemésio, Praia da Vitória)
2. Leonor Aires Figueiredo (E.S. de S. Lourenço, Portalegre)
3. David João Brandligt Jesus (E.S. de Albufeira, Albufeira)
4. Pedro Miguel Cacaís Rua Azevedo (Colégio de Stª Doroteia, Lisboa)
5. André Calado Coroado (E.S. c/ 3º ciclo do Restelo, Lisboa)
6. Nuno Marques Andrade (E.B. 2,3+S de Salvaterra de Magos, Salvaterra de Magos)
7. Shane Beato (E.T.L. Salesiana de Stº António, Estoril)
8. Carolina José Matos Teixeira (E.S. Francisco Franco, Funchal)
9. Emanuel Lopes (E.T.L. Salesiana de Stº António, Estoril)
10. João Paulo Dinis (E.S. Vitorino Nemésio, Praia da Vitória)



## Escalão A

### Região Norte

1. Lara Romana Ribeiro Dias, Ana Beatriz Dias da Graça e Nicole da Silva Lopes (Externato Delfim Ferreira, Riba de Ave)
2. Catarina Afonso Vale, Inês Noites Martins e Raífaela Gonçalves Lopes (E.S. da Maia, Maia)
3. Nuno Filipe Sousa da Costa, Catarina Miguel Martins Vieira e Mário Domingos de Jesus Neves (E.S. de Rio Tinto, Rio Tinto)

### Região Centro

1. Bernardo da Silva Alves, João Luís Janela e Rita Gomes Teixeira (E.B. 2,3 Eugénio de Castro, Coimbra)
2. Carlos Miguel Garrido, Maria Inês Faria e Henrique Miguel Domingos (E.B. 2,3 Grão Vasco, Viseu)
3. José Eduardo Rosa, Nuno Miguel Gonçalves e Pedro Abranches Carvalho (E.S. Infanta D. Maria, Coimbra)

### Região Sul e Ilhas

1. João Miguel Capinha de Araújo, Luís Martins Baptista Franco e Simão Rafael Caetano de Fonseca (E.S. c/ 3º ciclo de Raul Proença, Caldas da Rainha)
2. Isabel Rodrigues, Sofia Brasil e José Nogueira (E.B.+S. Tomás de Borba, Angra do Heroísmo)  
João Pedro de Barros Gomes Cruz Almeida,
3. Filipe Manuel Andrade Matos e Maria Laura Vicêncio Lisboa (Academia de Música de Stª Cecília, Lisboa)

Em paralelo, e também após as provas, realizaram-se várias iniciativas dirigidas aos alunos e aos professores que os acompanharam: palestra “Sismos: causas, efeitos e sinais precursoros” pela Profª. Dra. Teresa Seixas, palestra “O raio verde”, pelo Prof. Dr. José Luis Santos, palestra “Lasers: a luz

super concentrada” pelo Prof. Dr. Hélder Crespo e visita ao Planetário (Delegação Regional do Norte), palestra “O início e a Física do LHC no CERN”, pelo Prof. Dr. João Carvalho e visitas aos Museus de Física, da Ciência e Machado de Castro, à Universidade de Coimbra e ao Jardim Botânico (Delegação Regional do Centro) e espectáculo com a Tuna do IST, *Peddy-paper* e visita às instalações do IST/Taguspark, visita à sala de controle de satélites, apresentação ao vivo do projecto Fórmula “Student” e do projecto do robot do IST, palestra “Detecção de Cinzas Vulcânicas” pelo Prof. Dr. João Fonseca e visita a Monumentos de Oeiras (Delegação Regional Sul e Ilhas).

## OLIMPIADAS NACIONAIS DE FÍSICA

As XXVI Olimpíadas Nacionais de Física foram mais uma vez organizadas pela Delegação Sul e Ilhas da SPF e decorreram no Museu da Electricidade, em Lisboa, nos dias 3 e 4 de Junho. Participaram na etapa nacional todos os premiados da etapa regional, isto é, 27 alunos do escalão A, divididos em 9 equipas, e 30 alunos do escalão B. A Fundação EDP e o Museu da Electricidade, patrocinadores do evento, promoveram durante todo o dia 4 de Junho, enquanto decorriam as provas e a sua correcção, inúmeras actividades lúdicas dirigidas aos alunos e professores acompanhantes. Durante a manhã os professores assistiram a uma conferência sobre “O Universo Invisível” proferida pelo Prof. Jorge Dias de Deus e à tarde participaram num debate sobre possíveis intervenções da SPF na concepção dos programas de Física do ensino secundário, na avaliação dos respectivos manuais escolares e na organização de acções de formação. Os vencedores desta etapa foram:

### Escalão B

1. Leonor Aires Figueiredo (E.S. de S. Lourenço, Portalegre)
2. Paulo José Pina Barreto Augusto (E.S. Avelar Brotero, Coimbra)
3. Rui Pedro Lopes de Azevedo (Colégio Luso-Francês, Porto)
4. João Paulo Pires Dinis (E.S. Vitorino Nemésio, Praia da Vitória)
5. Henrique Silva Fernandes (E.S. Felismina Alcântara, Mangualde)

6. Rodrigo Toste Gomes  
(E.S. Vitorino Nemésio, Praia da Vitória)
7. Bruno Rodrigues Pacheco Murta  
(E.S. Carlos Amarante, Braga)
8. André Calado Coroado  
(E.S. c/ 3º ciclo do Restelo, Lisboa)
9. Rafael Eduardo da Silva Teixeira  
(E.S. de Mirandela, Mirandela)
10. José Pedro Castro Fonseca  
(E.S. D. Afonso Sanches, Vila do Conde)

### Escalão A

1. João Miguel Capinha de Araújo e Luís Martins Baptista Franco  
(E.S. c/ 3º ciclo de Raul Proença, Caldas da Rainha)
2. Bernardo da Silva Alves, João Luís Janela e Rita Gomes Teixeira  
(E.B. 2,3 Eugénio de Castro, Coimbra)
3. João Pedro de Barros Gomes Cruz Almeida, Filipe Manuel Andrade Matos e Maria Laura Vicêncio Lisboa  
(Academia de Música de Stª Cecília, Lisboa)

Os vencedores da etapa nacional ficaram pré-seleccionados para uma preparação a decorrer durante o próximo ano lectivo que os poderá levar a representar Portugal em 2011 na XLII Olimpíada Internacional de Física (Tailândia) ou na XVI Olimpíada Ibero-Americana de Física (Equador). Os seguintes alunos ficaram também pré-seleccionados para esta preparação:

1. Gonçalo Nuno Marques Andrade  
(E.B. 2,3+S de Salvaterra de Magos, Salvaterra de Magos)
2. Hugo Miguel Guedes Pereira dos Santos  
(E.S. António Sérgio, Vila Nova de Gaia)
3. Shane Miguel Lennon Beato  
(E.T.L. Salesiana de Stº António, Estoril)
4. José Nuno Azevedo Gomes Teixeira  
(E.S. Alves Martins, Viseu)
5. Luís Filipe Correia Cleto  
(Colégio Luso-Francês, Porto)
6. José Manuel Salazar Ribeiro  
(Externato Delfim Ferreira, Riba de Ave)
7. João Matias Marques  
(Instituto Educativo do Juncal, Juncal)
8. Mafalda Araújo Machado  
(Externato Delfim Ferreira, Riba de Ave)
9. Emanuel José Campina Alves Baptista  
(E.T.L. Salesiana de Stº António, Estoril)
10. Emanuel Almeida Crespo  
(Colégio Frei Gil, Bustos)

Os vencedores do escalão A estão seleccionados para representar Portugal, em 2011, na IX Olimpíada Europeia de Ciência (EUSO'2011), a decorrer em Praga, na República Checa.

## Inquérito aos participantes - Região Sul e Ilhas

### Participação

**Q0** - É aluno ou professor? Em que escalão participa?  
**1** - aluno esc. A; **2** - aluno esc. B; **3** - professor esc. A;  
**4** - professor esc. B

### Aspectos gerais

**Q1** - Informação disponibilizada sobre as provas teóricas  
**Q2** - Informação disponibilizada sobre as provas práticas  
**Q3** - Encaminhamento para as salas de prova  
**Q4** - Ambiente de trabalho durante as provas teóricas  
**Q5** - Ambiente de trabalho durante as provas práticas  
**Q6** - Local para a realização das provas  
**Q7** - Espaços para a realização das provas  
**Q8** - Actividades complementares às provas  
**1** - má; **2** - razoável; **3** - boa; **4** - excelente

### Prova teórica

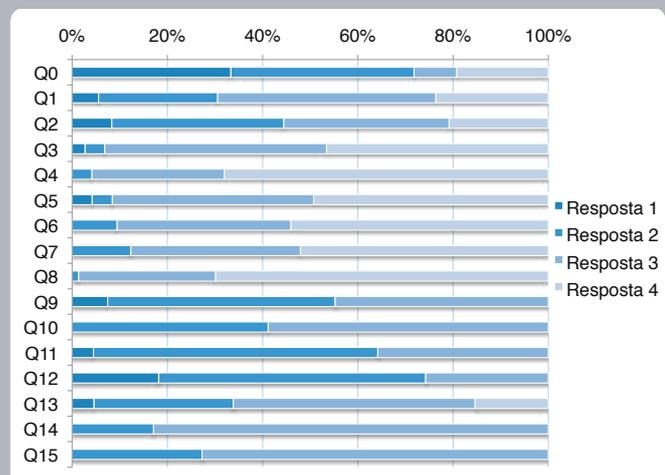
**Q9** - Duração  
**1** - longa; **2** - curta; **3** - boa  
**Q10** - Adequação à matéria da disciplina  
**1** - nenhuma; **2** - razoável; **3** - boa

### Prova prática

**Q11** - Duração  
**1** - longa; **2** - curta; **3** - boa  
**Q12** - Adequação à matéria da disciplina  
**1** - nenhuma; **2** - razoável; **3** - boa  
**Q13** - Qualidade do material disponibilizado  
**1** - mau; **2** - razoável; **3** - bom; **4** - muito bom

### A Física e as Olimpíadas

**Q14** - Efeito das Provas no interesse pela Física  
**1** - menos interesse; **2** - nenhum; **3** - mais interesse  
**Q15** - Se um colega seu lhe perguntasse se valia a pena participar nas Olimpíadas, dir-lhe-ia que:  
**1** - não vale a pena; **2** - vale a pena; **3** - vale muito



## OLIMPIADAS INTERNACIONAIS DE FÍSICA

### Fernando Nogueira

Decorreu de 17 a 25 de Julho, em Zagreb, na Croácia, a XLI edição da Olimpíada Internacional de Física. O evento movimentou este ano 376 alunos, 154 professores e 97 observadores e visitantes de 82 países. Participaram na prova 5 alunos portugueses: Bruno Schmitt Balthazar (E.S. c/ 3 ciclo Manuel da Fonseca, Santiago do Cacém), João Pedro Alves da Silva (E.S. da Maia), Rodrigo Paiva Tavares (E.S. Alves Martins, Viseu), Xavier de Sousa Ferreira Rodrigues (E.S. Dr. Joaquim de Carvalho, Figueira da Foz) e Marvin Fernandes da Silva (Ancorensis - Cooperativa de Ensino, Vila Praia de Âncora). Os alunos foram acompanhados pelos *team-leaders* Fernando Nogueira (Universidade de Coimbra) e António Onofre (Universidade do Minho). O electromagnetismo esteve em destaque nas provas, ou não fosse Nikola Tesla natural da Croácia: uma das três questões teóricas versava o estudo do campo eléctrico criado num condutor esférico pela proximidade de uma carga pontual enquanto a interacção entre dois ímãs era objecto de uma das duas provas experimentais. Nas outras duas questões teóricas os alunos debruçaram-se sobre a eficiência de uma chaminé solar e sobre o modelo da gota líquida para descrever o núcleo e reacções nucleares de transferência. Note-se que quase todas estas questões, mas principalmente as questões sobre o campo eléctrico criado num condutor (resolvida recorrendo ao método das imagens) e sobre o modelo da gota líquida, estão muito para além do currículo do ensino secundário português. A segunda questão teórica revelou-se a mais problemática, tendo quase todos os estudantes obtido menos de 2 dos 10 pontos desta questão. A classificação dos estudantes portugueses na prova teórica não foi significativamente diferente da obtida pelos estudantes brasileiros, espanhóis ou franceses, por exemplo. Mas o seu desempenho na prova prática ficou claramente abaixo da média, influenciando decisivamente a classificação final. Apenas foi premiado o aluno Bruno Schmitt Balthazar, que obteve uma **medalha de bronze**. O vencedor absoluto foi mais uma vez um estudante da China, Yichao Yu, que obteve 48,65/50 pontos. As Olimpíadas de Física contaram com os apoios



Equipa portuguesa na XLI IPhO, da esquerda para a direita: **Xavier Rodrigues** (E.S. Dr. Joaquim de Carvalho, Figueira da Foz), **Ana** (guia da equipa portuguesa), **Rodrigo Tavares** (E.S. Alves Martins, Viseu), Marvin Silva (Ancorensis, Vila Praia de Âncora), **Bruno Balthazar** (E.S. Manuel da Fonseca, Santiago do Cacém - **medalha de bronze**) e **João Pedro Silva** (E.S. da Maia). A XLI Olimpíada Internacional de Física IPhO'2010, decorreu em Zagreb, Croácia de 17 a 25 de Julho de 2010.

do Ministério da Educação, da Agência Ciência Viva e da Fundação EDP.

Na página na Internet das Olimpíadas Portuguesas de Física, cujo endereço é <http://olimpiadas.fis.uc.pt>, podem-se obter as provas e a lista dos alunos premiados nas várias fases. Outros endereços importantes são: <http://www.euso.dcu.ie/> (EUSO) e <http://ipho.phy.ntnu.edu.tw/> (IPhO).



# Porque é que o relógio de pêndulo atrasa no Verão?

Constança Providência

Camille Ducoin

## Material

- fio de lã ou outro
- porcas de tamanho 8
- régua
- relógio com ponteiro de segundos ou cronómetro



Certamente já viste um relógio de pêndulo! Talvez em casa dos teus avós ou em casa de um amigo, ou talvez tenhas um relógio de pêndulo em tua casa. Sabes porque se utiliza um pêndulo para medir o tempo? Vamos descobrir! O relógio de pêndulo foi inventado por Christiaan Huygens mas já Galileu tinha tentado construir um.

Um pêndulo é um sistema muito simples: basta pendurares na ponta de um fio comprido um objecto. Pega no fio pela outra ponta, desvia o objecto da sua posição de equilíbrio e larga-o: o objecto fica a oscilar. Os físicos gostam muito deste sistema por ser muito simples e porque todos os outros mais complicados se comportam como este nalgumas condições.

Mas afinal porque podemos utilizar o pêndulo como relógio? Vais descobrir facilmente a resposta se fizeres a seguinte experiência.

Constrói um pêndulo atando uma porca à ponta de um fio com cerca de 60-70 cm de comprimento. Mede o comprimento do fio e anota o valor no teu caderno. Pede a um colega para segurar pela ponta

livre. Desvia a porca do equilíbrio, conta as oscilações que faz durante 30 segundos e toma nota deste número. Volta a repetir quatro vezes. Toma sempre nota do valor obtido. Atenção que o teu colega que segura o fio não deve mexer a mão. E para não te enganares é melhor pedires a outro colega ajuda para medir o tempo. O que concluis dos valores obtidos? O número de oscilações é quase sempre o mesmo!

É por isso que podemos construir um relógio com um pêndulo! Basta saber quantas oscilações o pêndulo faz por minuto e depois contar, contar, contar as oscilações... Claro que assim não vai funcionar porque logo nos enganamos na contagem. Christiaan Huygens resolveu este problema e inventou um mecanismo que conta as oscilações: o relógio de pêndulo.

O pêndulo tem algumas propriedades interessantes. Será que o número de oscilações depende da massa do objecto que penduras no fio? O que acontece se em vez de uma porca usares mais? Repete a experiência mantendo o mesmo comprimento (é importante não variar o comprimento!) do fio e usando duas e três porcas. Que resultados obténs? O número de oscilações é diferente? Repete sempre cinco vezes cada medição.

Na verdade a massa do objecto não tem influência no resultado!

E se alterarmos o comprimento do fio, o número de oscilações será diferente? Verifica o que acontece quando o comprimento do fio varia. Repete a experiência com uma

porca mas com um fio mais curto, por exemplo com 45 cm. Quantas oscilações faz o pêndulo em trinta segundos? O número de oscilações é maior! E se o fio for mais comprido, o que sucede? Neste caso o número de oscilações em trinta segundos diminui.

Podes prever que os pêndulos têm alguns problemas. Já deves ter observado que as oscilações do pêndulo vão sendo cada vez menores e o pêndulo acaba mesmo por parar. Chamamos a este fenómeno amortecimento. Este problema teve de ser resolvido por Christiaan Huygens quando inventou o relógio de pêndulo, introduzindo um mecanismo especial. Para o relógio não parar é necessário dar a corda de vez em quando. Outro problema é a variação do comprimento do pêndulo com a temperatura: no Verão o fio do pêndulo aumenta de comprimento e no Inverno diminui!

Então no Verão, quando o comprimento do pêndulo

aumenta, o relógio atrasa ou adianta? E no Inverno? (ver resposta no fundo da página)

Este problema também se resolve corrigindo o comprimento do pêndulo no Verão e no Inverno, através de um pequeno parafuso que existe nos relógios.

Podes usar o teu pêndulo para jogar com os teus amigos. Pede a um dos amigos para bater as palmas regularmente sem olhar para o pêndulo. Cada um dos restantes amigos, à vez, tenta reproduzir o ritmo do batimento de palmas com um pêndulo. Para cada jogador o ritmo do batimento de palmas deve ser diferente. Quem conseguir reproduzir o ritmo mais rapidamente ganha!

### Agradecimentos

Esta actividade foi realizada na turma do 2A da Escola EB1 da Solum em Coimbra no âmbito da disciplina Estudo do Meio. Agradecemos a toda a turma e à Professora Conceição Nave o entusiasmo com que descobriram como funciona o pêndulo.

Tabela 1 - Número de oscilações em 30 segundos de um pêndulo com 67 cm variando o número de porcas

comprimento do fio: 67 cm			
Nº de oscilações em 30 s	1 porca	2 porcas	3 porcas
Medida 1	38	36	36
Medida 2	37	37	36
Medida 3	37	37	37
Medida 4	36	37	37
Medida 5	37	37	37

Tabela 2 - Número de oscilações em 30 segundos de um pêndulo com 45 cm e uma porca.

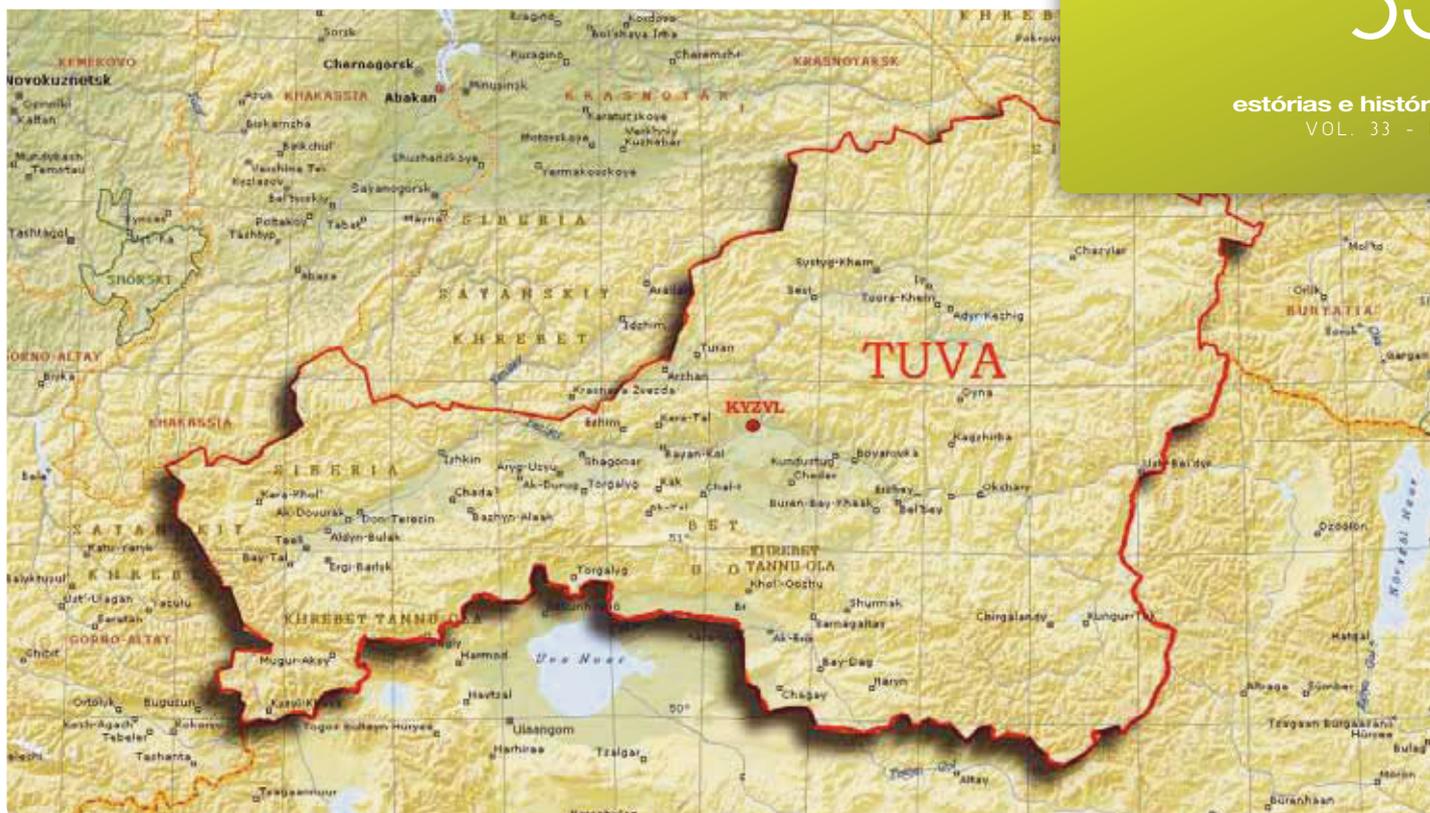
comprimento do fio: 45cm					
1 porca	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	medida 5
Nº oscilações	44	44	45	44	44

Tabela 3 - Número de oscilações em 30 segundos de um pêndulo com 95 cm e uma porca.

comprimento do fio: 95cm					
1 porca	medida 1	medida 2	medida 3	medida 4	medida 5
Nº oscilações	30	31	31	30	31



Resposta: No Verão, quando o comprimento do pêndulo aumenta, o relógio de pêndulo atrasa e no Inverno, quando o comprimento diminui, adianta.



## Ou Tuva ou nada!

Gonçalo Figueira

**Pegue num mapa da Ásia, e tente localizar o centro geográfico do continente. Se pousar o dedo num ponto a norte de uma pequena bossa da Mongólia ocidental, está correcto: aí, entre cumes de montanhas cobertas de neve e estepes a perder de vista, fica a remota república de Tuva. Perto da sua capital, Kyzyl, está localizado o marco que assinala o coração do continente asiático: o local da superfície terrestre mais afastado de qualquer oceano.**

Hoje parte da Federação Russa, Tuva foi uma república independente entre as duas grandes guerras, tendo então o nome Tannu Tuva. Apesar de ser então um país obscuro e distante, tornou-se curiosamente popular entre os adeptos da filatelia. Os selos tuvanos retratavam paisagens e animais exóticos em cores vivas, e por vezes tinham formatos invulgares, como triângulos ou losangos. Mas em 1944 o país foi anexado pela URSS, a produção de selos parou e Tuva caiu no esquecimento.

Um dos jovens coleccionadores fascinados com os selos tuvanos era o famoso físico americano Richard Feynman. Como é bem conhecido, Feynman recebeu o Prémio Nobel da Física em 1965, junto com Julian Schwinger e Sin-Itiro Tomonaga, pelas suas contribuições para o desenvolvimento da electrodinâmica quântica. Além disso, tornou-se uma celebridade científica em vida, pelo seu talento como investigador e professor – mas também ad-

quiriu fama como tocador de bongos, arrombador de cofres e malabarista, entre outras excêntricas...

Nos últimos anos da sua vida, Feynman e Tuva voltaram a encontrar-se – quase pode dizer-se, para viver uma improvável paixão. Tudo começou numa noite de 1977, em que Feynman e a sua mulher Gwineth estavam a jantar na sua casa californiana com o seu amigo Ralph Leighton (filho de Robert B. Leighton que, em conjunto com Matthew Sands, editou a conhecida colecção de livros “The Feynman Lectures on Physics”). A dada altura, a conversa pendia para a geografia. Leighton menciona que é um dos seus temas preferidos, e que até acha que conhece o nome de todos os países. Feynman, também reputado pelo espírito brincalhão, decide testar os conhecimentos do amigo: “Com que então achas que conheces todos os países? Pois bem, o que é feito de Tannu Tuva?” A questão realmente intrigava Feynman, mas Leighton nunca tinha ouvido tal nome, e a sua primeira reacção foi achar que a pergunta era uma par-

tida; de facto, Feynman por vezes parecia inventar nomes de sítios e países e lançá-los assim no meio duma conversa. Mas desta vez ele insiste que, de facto, tinha havido algures na Ásia um país com esse nome, que ele conhecia dos belos selos da sua juventude. O seu pai até lhe tinha mostrado uma vez onde Tuva ficava no mapa, mas nunca mais ouvira falar desta terra.

Decidem pegar num atlas para tirar as teimas, e efectivamente “descobrem” Tuva, para grande satisfação de Feynman – já não um país independente, mas uma pequena *Republika Tuvinskaya* na imensa mancha da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas. Estudam atentamente o mapa. E é então que ele repara num pormenor insólito: o nome da capital tuvana, Kyzyl, era todo composto por consoantes<sup>1</sup>. Feynman, espírito curioso e explorador por natureza, acha este aspecto tão exótico que exclama: um lugar com um nome destes tem de ser interessante! E lança então uma ideia arrojada: que tal se viajássemos até Tuva, só pela aventura de chegar a um sítio tão longe de tudo? Não é difícil imaginar a excitação do momento – este é precisamente o tipo de desafios que Feynman adora. Leighton fica igualmente entusiasmado, e a partir dessa noite começam a desenhar o plano para chegar a Tuva. Mal imaginam que estão no início de uma aventura que vai durar uma década [1]...



Para compreender as dificuldades de tal empreitada, é preciso pôr as coisas em perspectiva. Hoje basta consultar a internet para ficarmos a saber tudo o que precisamos sobre um qualquer destino, e até podemos comprar confortavelmente a viagem *online*. Mas no final dos anos 70, ainda por cima numa época em que as relações entre os EUA e a URSS não eram propriamente amistosas, era extremamente difícil encontrar qualquer informação que fosse sobre aquele território.

Assim, durante os seus tempos livres, os dois amigos começam por percorrer várias bibliotecas e arquivos à procura de tudo o que dissesse respeito a Tuva. Ao fim de alguns meses, os resultados são escassos; apenas alguns livros escritos em russo, algumas fotografias, e um relato em inglês datando de 1913. Num artigo numa revista descobrem que

Kyzyl é a “cidade atômica” da URSS, devido às vastas reservas de urânio da região. Isto preocupa bastante Feynman; dada a sua participação fulcral no desenvolvimento da bomba atômica em Los Álamos, durante a Segunda Guerra Mundial, seria muito difícil que o KGB aceitasse a explicação de que agora queria visitar Kyzyl só por achar graça ao nome... O tempo vai passando e, apesar de alguns avanços no conhecimento da vida e da linguagem tuvanas, ainda não há qualquer progresso quanto à viagem, nem fazem ideia de por onde começar. Entretanto, no verão de 1978 Feynman tem a desagradável surpresa de uma operação de urgência para remover um tumor abdominal, de que leva vários meses a recuperar.

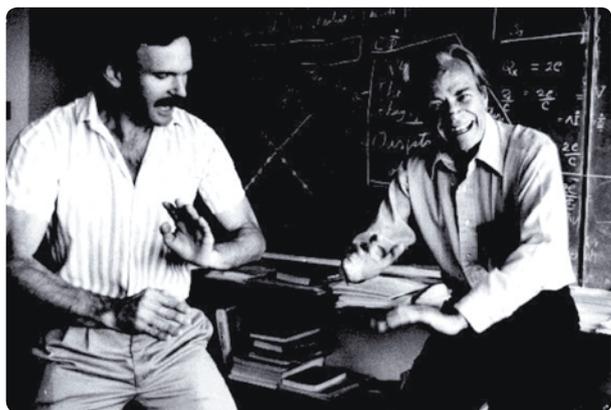
No início do ano seguinte Leighton ouve uma emissão da Rádio Moscovo em onda curta, dedicada a Tuva, à sua história e tradições. No final do programa dizem que é fácil chegar até lá, bastando voar confortavelmente desde Moscovo. Finalmente, a primeira informação útil – e ainda por cima é fácil! Escrevem a dizer que gostaram muito do programa, e a perguntar como proceder para visitar Tuva. Entretanto, com a ajuda de um dicionário russo-tuvano e de um amigo que fala russo começam também a aprender a escrever cartas em tuvano (ou qualquer coisa próxima disso...). Enviam uma ao director do instituto que editou o dicionário – é o único endereço de Tuva que conhecem. Ao fim de algumas semanas, a resposta que chega da Rádio Moscovo é simples e definitiva: a agência oficial soviética de viagens para estrangeiros não cobre a região de Tuva, pelo que não é possível visitá-la. É um balde de água fria que faz regressar tudo à estaca zero. Para piorar as coisas, as relações entre russos e americanos degradam-se seriamente quando a URSS invade o Afeganistão nesse ano, e o sonho de chegar a Tuva parece ficar cada vez mais inalcançável.

Mas nenhum dos dois se deixa afectar por este revés, e o interesse por Tuva continua em crescendo. Inclusivamente fundam uma liga de amigos dedicada a este tema: *Friends of Tuva* [2]. Lêem sobre o curioso canto tuvano, em que o cantor produz duas notas em simultâneo (ver caixa). Recebem – um ano mais tarde – resposta à carta em tuvano que enviaram, que se divertem a decifrar palavra por palavra. Voltam a escrever, e aperfeiçoam o conhecimento do idioma traduzindo histórias tradicionais dum livro que entretanto encontraram. No Carnaval, Feynman decide vestir-se de lama tibetano (o mais próximo de Tuva que conseguiu!) para uma festa de Carnaval. O fato foi um sucesso – a tal ponto que o pintora oficial de Feynman, no Caltech, o retrata nesse hábito de monge, segurando um diagrama

1. Na verdade, a letra y pode ser uma consoante ou uma vogal, conforme a sua posição numa dada sílaba; em “Kyzyl” é de facto uma vogal em ambos os casos, como também por exemplo em “mystery”.

de Feynman na mão direita e um cadeado aberto na esquerda.

Feynman e Leighton encontram-se regularmente, para sessões de percussão e troca de novidades sobre Tuva. Um dia, Feynman mostra-lhe um disco de canto tuvano que recebeu de presente do seu colega do Caltech, Kip Thorne, acabado de regressar de Moscovo: é o primeiro contacto que têm com o misterioso estilo musical, e ficam sem palavras para descrever os sons estranhos que ouvem.



Ralph Leighton (esq.) e Richard Feynman (dir.).

As tentativas de encontrar uma porta para a viagem continuam. Escrevem para o jornal *Pravda* de Kyzyl, à agência de imprensa TASS, e até a membros do Politburo soviético, explicando como a viagem poderia ser útil para amenizar as tensões entre os dois países. Mas os resultados são desanimadores, e os acontecimentos à escala mundial também: em 1984, a URSS e quase todos os países do bloco leste boicotam os Jogos Olímpicos de Los Angeles. Estava-se no auge da guerra fria e, para Feynman e Leighton, Tuva continuava tão longe como há sete anos atrás.

No final desse ano, sai um artigo de várias páginas a cores sobre a Tuva contemporânea na revista *Soviet Life*. É a mais completa fonte de informação que já tinham visto até então. Na última página descobrem, estupefactos, uma fotografia recente de três americanos em Kyzyl. Tratava-se de três botânicos que tinham viajado ao abrigo de um acordo científico, para catalogar espécies de plantas da região. Isto significava duas coisas: que era possível viajar, e que tudo o que era preciso era um motivo sólido. Já antes, Feynman se tinha lembrado de que poderia usar o seu estatuto e fama para conseguir a viagem: por exemplo, poderia oferecer-se para dar umas aulas de física em Moscovo, o que seria certamente aceite pelas autoridades. Mas em troca, Feynman pediria para ir a Tuva *primeiro*, e dar as aulas depois. Muito provavelmente funcionaria; mas Feynman apercebeu-se de que assim seria demasiado fácil, e todo o espírito de aventura e diversão seria perdido,

pelo que desistiu da ideia – o que o movia não era tanto *chegar ao destino* mas antes descobrir *como lá chegar*.

Assim, precisavam de uma razão para que a viagem fosse plausível, desde que Feynman viajasse de modo discreto e incógnito. Detestaria publicidade ao redor da sua viagem, o que seria difícil ao saber-se que um dos mais famosos cientistas do mundo se preparava para visitar Kyzyl; por outro lado, Feynman abominava o tratamento que os cientistas recebiam na URSS, pelo que não queria estar a pedir favores.

E a razão surge de uma fonte inesperada. Em 1985, no decorrer de uma viagem pelas zonas “permitidas” da URSS, Leighton tem conhecimento de uma grande exposição dedicada à antiga Rota da Seda, com vários artefactos tuvanos. A exposição era organizada pela Academia das Ciências soviética e, após percorrer algumas cidades russas, iria para Gotemburgo, Suécia, no ano seguinte. Leighton tem então uma ideia repentina: e se ele propuser que a exposição viaje até um museu americano? Isso seria um motivo poderoso para iniciar uma colaboração que, quem sabe, poderia incluir uma visita a Tuva. O facto de nem ele, nem Feynman, perceberem fosse o que fosse de exposições ou de museus não o preocupou... Por esta altura, os dois estão certamente entre os melhores especialistas do hemisfério ocidental sobre tudo o que é tuvano, e isso é motivação suficiente.

Em Fevereiro de 1986 Leighton vai a Gotemburgo visitar a exposição e encontrar-se com os organizadores. Feynman não o pode acompanhar por entretanto ter sido chamado para a comissão que investigava o desastre do vaivém *Challenger*, ocorrido no mês anterior. Apesar de Leighton, professor de liceu, ser completamente amador no assunto, a reunião corre bem: fica combinado que Feynman escreverá uma carta ao presidente da Academia de Ciências propondo levar a exposição até aos Estados Unidos, salientando como isso poderá contribuir para uma melhoria das relações entre os países. De regresso, conseguem um acordo com o Museu de História Natural de Los Angeles, e começam a tratar das complexidades burocráticas da organização.

Em Setembro, Feynman é outra vez operado; o cancro tinha regressado. Ainda no hospital, recebe a notícia de que a exposição está aprovada para o início de 1989. A estratégia para conseguirem incluir a viagem no acordo é ele e Leighton passarem por fotógrafos, e irem visitar vários sítios da URSS – entre os quais naturalmente Tuva – para recolherem material adicional para a exposição. Na mesma altura, os presidentes Reagan e Gorbachev negociam com sucesso a redução dos arsenais nucleares, e as nuvens da guerra fria começam a dissipar-se. Finalmente, Tuva à vista!

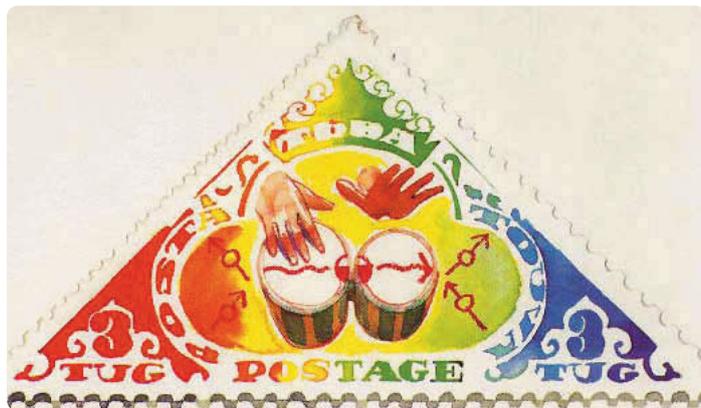
Mas o caminho ainda está cheio de melindres diplomáticos. Para recolherem imagens na URSS, precisam da autorização da agência oficial de filmes soviética. Mais cartas e telexes, num processo que parece interminável. Neste momento, o grupo de viajantes tinha crescido para sete pessoas, incluindo familiares e amigos dos dois. Os tempos de resposta da agência russa são lentíssimos, e não

há qualquer luz ao fundo do túnel. Perdem-se meses em correspondências inúteis, até que se apercebem que a raiz do problema está apenas em não terem ainda compreendido as subtilezas de uma tradicional interacção com russos: para desbloquear uma situação, é sempre esperado um pequeno “favor” voluntário... neste caso, a agência ficará satisfeita com uns meros 80 mil dólares para tratar de tudo! Após negociações que parecem saídas de um filme de mafiosos, conseguem finalmente acordar um preço e assegurar a viagem para Maio de 1988, bastando agora esperar pelo convite oficial da Academia das Ciências para obterem os vistos. Feynman é submetido a mais uma complicada operação, e fica extremamente debilitado. Ambos começam a aperceber-se seriamente de que o tempo está contra eles.

Em Dezembro de 1987 chegam boas notícias: a viagem está prestes a ser aprovada, e será inclusivamente paga pela Academia. Feynman fica entusiasmado: o seu sonho de uma década está a poucos meses de se realizar. No final de Janeiro, é filmado para um documentário de um canal britânico durante uma das sessões de bongo com Leighton, e fala da sua vida, da ciência, e de Tuva [3]. Apesar de andar bastante abatido, este tema fá-lo ganhar energias, e é visível como os seus olhos brilham de entusiasmo. Mas apenas um par de dias mais tarde é internado de urgência no hospital da UCLA. No dia 15 de Fevereiro de 1988, o cancro vence a batalha final.

Duas semanas depois chega a carta da Academia russa com o convite oficial.

A ironia do destino foi um rude golpe nos Amigos de Tuva. Sem Feynman, o projecto já não fazia sentido. Mas Leighton entendeu que devia prestar-lhe uma homenagem, lembrando-se das suas palavras: a maior diversão está em caminhar, não em chegar ao destino. Viajou até Tuva em 1991, deixando em Kyzyl, junto ao monumento que marca o centro da Ásia, um pequeno memorial em honra de Feynman, com as seguintes palavras: “As suas tentativas de atingir este lugar na terra dos seus sonhos inspiraram outros a chegar até aqui.” [4]



Postal em homenagem a Feynman, em forma de “selo” de Tuva.

Passados mais de vinte anos da sua morte, Feynman continua a ser recordado e celebrado como uma das mentes mais brilhantes e imaginativas da história da ciência. As suas *Lectures* continuam a fascinar alunos e professores

de física, pela clareza com que consegue explicar e elucidar conceitos fundamentais. Os vídeos das sete aulas que deu em Cornell em 1964, sob o título “O carácter de uma lei física”, foram recentemente disponibilizados pela Microsoft em formato interativo. Bill Gates declarou que viu as aulas quando era jovem, e ficou encantado com o estilo de divulgador e o sentido de humor de Feynman. Acabou por vir a adquirir os direitos dos vídeos, com o propósito de poder facultar gratuitamente o acesso aos mesmos, e assim interessar mais pessoas pela ciência. Estão agora reunidos numa página web [5], na qual, além dos vídeos, podemos também aceder a muita informação adicional sobre física e físicos. E qual o nome que foi escolhido para esta iniciativa que celebra o génio de Feynman? Naturalmente, *Projecto Tuva*.

1. A história desta saga é contada em detalhe por Ralph Leighton no seu livro “Tuva or Bust! Richard Feynman’s Last Journey” (Addison Wesley, 1991)

2. O grupo ainda existe e continua activo: <http://www.fotuva.org/>

3. O documentário, de título “Richard Phillips Feynman - The Last Journey of a Genius”, está disponível no seguinte endereço: <http://video.google.com/videoplay?docid=3164300309410618119#>

4. Um caso que se tornou célebre foi o do guitarrista Paul Pena, bluesman americano de origem cabo-verdiana. Pena travou conhecimento com o estilo de cantar tuvano na década de 80, e conseguiu obter um disco com músicas tradicionais. Segundo o próprio admite, escutou as canções de forma contínua durante meses, ao ponto de aprender a cantá-las nos estilos a que a sua voz rouca e grave se adaptava melhor. Cego desde o início da idade adulta, conseguiu contudo aprender a língua tuvana. Em 1993 assistiu a um concerto em São Francisco do famoso cantor tuvano Kongar-ool Ondar, que ficou impressionado quando Pena lhe fez uma demonstração improvisada das suas habilidades. Ondar convidou-o a visitar Tuva e a participar num concurso de canto tradicional que teria lugar em 1995. Pena assim fez, sendo o primeiro estrangeiro a competir no concurso, e acabando por vencer surpreendentemente na sua categoria. A história de Pena e Ondar foi transformada no documentário “Genghis Blues”, que recebeu um dos prémios do festival de Sundance em 1999, e em que Feynman é recordado diversas vezes: quando Pena sobe ao palco para cantar perante uma assistência de tuvanans admirados, ouve-se o grito: “Feynman lives!”

5. <http://research.microsoft.com/apps/tools/tuva/index.html>

## Como cantar duas notas ao mesmo tempo

Dizem as lendas que o canto tradicional tuvano nasceu entre os pastores que passavam largos dias isolados nas montanhas, ao tentarem imitar o som dos elementos da natureza: a cascata de um rio, o vento nas árvores, os pássaros. Hoje, este estilo musical é uma das mais distintivas heranças culturais da região.

Não é exagero dizer que o canto tuvano soa a qualquer coisa de outro mundo, e a primeira vez que se ouve é uma experiência memorável. Normalmente, o cantor faz-se acompanhar de um instrumento de cordas, e começa a cantar com uma voz grave e gutural. De repente, sobrepõe-se a esta uma melodia aguda, num som parecido com o de uma flauta. O ouvinte desprevenido tenta perceber onde está o segundo tocador, até perceber, pasmado, que é a mesma voz que canta duas notas diferentes ao mesmo tempo!

Mas qual o segredo para ter uma voz polifónica? Será que é algo que só os tuvanos conseguem fazer? Para responder a esta questão, temos que analisar primeiro como é gerada a voz humana. Para isso vamos recorrer a um modelo linear simplificado que envolve a interação entre dois componentes independentes: uma fonte sonora e um conjunto de elementos que modificam o som (ou, em linguagem de engenheiro, um modelo fonte-filtro). Para efeitos desta explicação, é uma descrição suficiente.

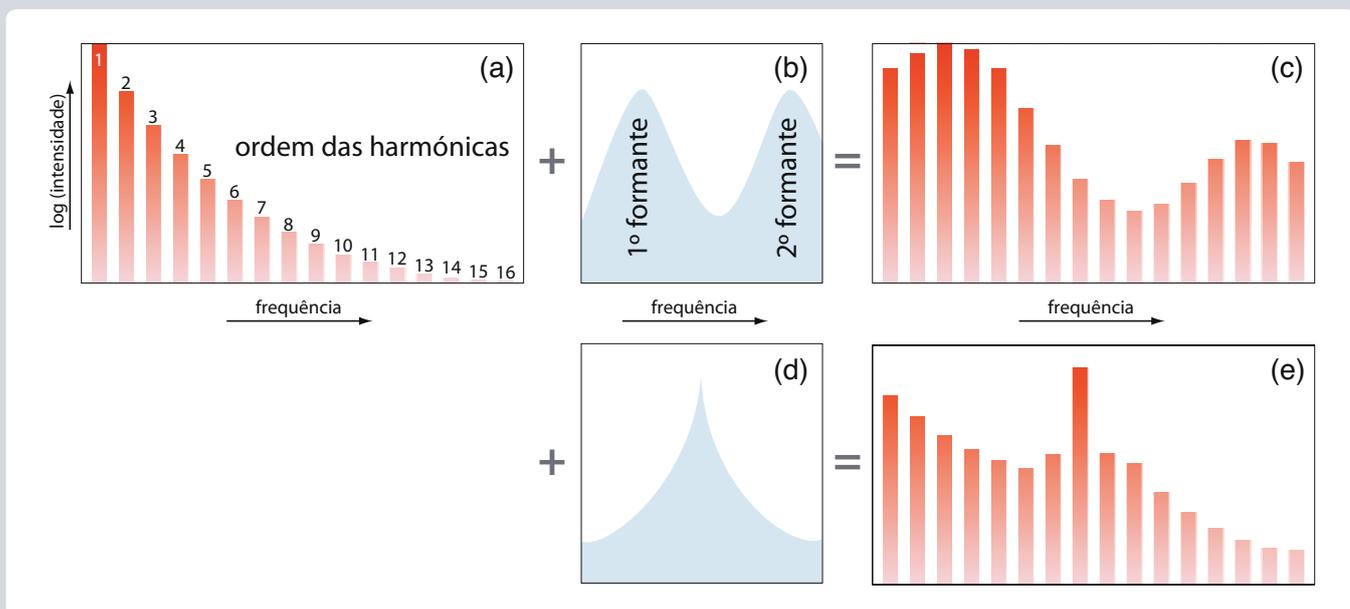
Consideremos então o sistema vocal humano: o pequeno “tubo” que vai da boca até à traqueia. O som é gerado na zona da laringe, quando o fluxo de ar que provém dos pulmões interage com as cordas



www.chirgilchin.com

vocais, pondo-as a vibrar. Ao passar por esta abertura, o ar é também posto a vibrar, dando origem a uma onda sonora audível. A tensão que os músculos da laringe imprimem às cordas vocais define a frequência (isto é, a nota musical) do som produzido – tal como sucede quando apertamos as cordas de um instrumento.

Mas mesmo quando cantamos *uma nota só* – por exemplo, trauteando o samba homónimo – o espectro do som produzido não é apenas uma frequência “pura”. As cordas vocais vibram de um modo complexo, de tal modo que à frequência fundamental junta-se todo um conjunto de *harmónicas*, ou múltiplos da frequência, com intensidade decrescente. Por exemplo, se entoarmos a nota Lá, a uma frequência de 440 Hz, também produzimos som a 880 Hz (chamada a 2ª harmónica), 1320 Hz (3ª harmónica), e por aí fora. É fácil constatar isto com um analisador espectral. Mas o nosso ouvido não percebe estes sons como notas separadas, senão como um todo. Aliás, é precisamente a mistura das harmónicas e a quantidade em que cada uma contribui para um som que lhe confere uma qualidade musical, ou *timbre*, diferente. É este aspecto que nos faz distinguir imediatamente a mesma nota Lá tocada numa flauta ou num violino, que também têm as suas harmónicas próprias.



Modelo fonte-filtro das voz humana. O som gerado nas cordas vocais consiste num espectro de harmónicas (a) que é modelado pelas condições de ressonância no tracto vocal (b), resultando no som final (c). No canto tuvano a região de ressonância é de tal modo fina (d) que uma única harmónica é amplificada e ouvida separadamente das outras (e).

Esquema parcialmente baseado em Levin e Edgerton 1999.

O espectro de frequências passa então pelo resto do tracto vocal – o *filtro* – que o vai moldar de acordo com as suas ressonâncias próprias. Este percurso, de cerca de 17 cm, pode ser idealizado como um tubo em que uma das extremidades está fechada (a garganta), e a outra aberta (a boca). Dada a velocidade de propagação do som no ar, é fácil calcular que existem frequências de ressonância a 500 Hz, 1500 Hz, 2500 Hz... As harmónicas próximas destas ressonâncias são amplificadas, e as mais afastadas são atenuadas. No caso do tracto vocal os dois primeiros envelopes de ressonância são normalmente suficientes para definir o carácter de um som. São chamados respectivamente o primeiro e o segundo *formantes* (ver figura da página anterior, parte superior).

Mas a nossa garganta não é um tubo perfeito, e as bandas de filtragem dos formantes podem efectivamente ser deslocadas alterando as condições do meio de propagação – ou, por palavras mais simples, mudando a posição da língua e dos lábios. É este efeito que permite que, para uma mesma frequência fundamental, o som articulado tenha um timbre diferente. Por exemplo, basta mover a língua para passar da vogal “a” para “i”, ou mudar a abertura da boca para passar de “o” para “u”. (Por curiosidade, quando “sintonizamos” as ressonâncias para os valores de um tubo perfeito dados acima, resulta o popular som “aaah...” que alguém faz quando se perde a meio de uma frase.)

Chegados a este ponto, podemos então abordar o mecanismo do canto tuvano. Ao começar por entoar uma nota extremamente grave, o cantor emite um longo espectro rico em harmónicas. O que faz depois é posicionar a língua e aproximar os lábios de modo a criar uma banda de ressonâncias extremamente estreita – de facto, é de tal modo estreita que apenas uma *única harmónica* é amplificada, e as outras são suprimidas.

Daqui resulta o típico som tuvano de cantar duas notas sobrepostas: o zumbido grave da frequência fundamental, e o assobio cristalino de uma harmónica pura. A harmónica é de tal modo amplificada e distinguida das demais que os dois sons são percebidos separadamente.

Mas se se limitasse a isto, o efeito seria monótono; e de facto, o que o cantor faz é cantar uma melodia completa no registo agudo, mantendo a mesma nota fundamental. Como é que isto é possível? Para perceber, consideremos a relação da série de frequências das harmónicas com a posição das notas musicais da escala ocidental. A figura em baixo (para os musicalmente letrados) ilustra a série harmónica da nota Dó (65,4 Hz) situada duas oitavas abaixo do Dó central de um piano. A segunda harmónica (130,8 Hz) também é um Dó, mas uma oitava mais agudo. A terceira harmónica (196,2 Hz) corresponde à nota Sol, e a quarta (261,6 Hz) é o Dó central, duas oitavas acima, e por aí fora. A cada nova harmónica, o “salto” nas linhas da pauta torna-se mais pequeno. As harmónicas seguintes, representadas até à 16ª, começam a ficar de tal modo próximas que, por uma feliz coincidência matemática, conseguem corresponder quase exactamente a todas as notas de uma escala maior: partindo de uma única frequência fundamental, o cantor tuvano consegue sintonizar a ressonância com tal precisão e virtuosismo que usa as *harmónicas isoladas* como notas musicais!

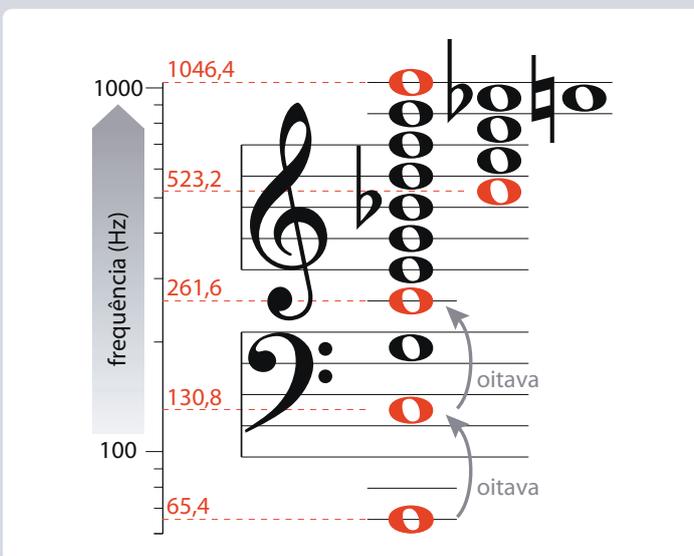
Está pois resolvido o mistério, e qualquer um de nós – tuvano ou não – pode conseguir cantar deste modo, desde que aprenda a atingir e amplificar as harmónicas pretendidas. E como bónus, dado que estas notas vêm automaticamente afinadas pelas leis da física, o canto tuvano é uma opção bastante promissora para qualquer aspirante a cantor que seja duro de ouvido...

#### Para saber mais:

Theodore C. Levin e Michael E. Edgerton, “The throat singers of Tuva”, Scientific American Set. 1999, pág. 80

Vídeo do famoso cantor tuvano Kongar-ool Ondar a actuar num show americano:

<http://www.youtube.com/watch?v=TVyyhHFK18E>



Posição aproximada das harmónicas da nota Dó (65,4 Hz) na escala de temperamento igual. As harmónicas de ordem 2, 4, 8 e 16 correspondentes à mesma nota em oitavas superiores estão assinaladas a vermelho, com as frequências indicadas na escala logarítmica à esquerda.

# Histórias da Luz e das Cores – Vol. 3

Luís Miguel Bernardo - Editora da Universidade do Porto (2010)  
ISBN: 978-989-8265-23-4

Gonçalo Figueira



Muitos cientistas ficariam plenamente realizados ao escreverem um tratado de quinhentas páginas sobre a sua área de especialidade. Escrever três (!), publicados num intervalo de cinco anos, é obra ao alcance de poucos. E o feito é ainda mais valioso se considerarmos que se trata de um autor português, divulgador de imenso talento e largo espectro.

Luís Miguel Bernardo (LMB) é Professor Catedrático na Universidade do Porto e especialista em óptica contemporânea, e com este terceiro volume das “Histórias da Luz e das Cores” chega ao fim (ou melhor: chega aos nossos dias) a trilogia que iniciou em 2005 (ver recensões na Gazeta da Física Vol. 28, Nº 4 de 2005, e Vol. 30, Nº 3-4 de 2007).

O presente volume é integralmente dedicado aos avanços da óptica durante o século XX, período de grande actividade em que esta evoluiu de clássica para quântica. As palavras que tive oportunidade de referir neste espaço há três anos, a propósito do segundo volume, continuam plenamente válidas: cada um dos livros – e, por maioria de razão, o seu conjunto – constitui um trabalho de uma dimensão e abrangência de invulgar qualidade, mesmo a nível internacional. Assim, triplos parabéns ao autor e à Editora da Universidade do Porto, pela feliz ideia de editar esta obra.

E o que podemos encontrar nestas páginas é precisamente aquilo que o título sugere: histórias. LMB não é historiador, nem faz questão de inserir a estrutura do livro no estilo dessa disciplina; este não é para ser lido como uma descrição cronológica, ou sequer como uma colecção de longos ensaios sobre os movimentos e motivações que moldaram os progressos da ciência no século passado. Pelo contrário, o espaço dedicado a cada tema é relativamente curto (da ordem de poucas páginas, salvo algumas excepções), não procurando analisá-lo de modo exaustivo, mas antes levantando a ponta do véu para que o leitor curioso possa explorar mais por conta própria. A analogia que me ocorre ao folhear as páginas é a sensação de entrar numa biblioteca repleta de livros, instrumentos, artefactos e tesouros à espera de serem descobertos. LMB certamente passou muito tempo nesse preciso ambiente a preparar este livro, dada a impressionante colecção de referências e fontes bibliográficas, abarcando mais de um século; o livro está imbuído do mesmo espírito de (re)descoberta. Como resul-

tado desta rápida sucessão de interessantes histórias, a leitura torna-se bastante cativante e é difícil parar – o que efectivamente me criou algumas dificuldades na gestão do tempo para a escrita desta recensão...

Este terceiro volume está organizado em duas partes de tamanho idêntico, cobrindo a primeira e a segunda metades do século. A aventura inicia-se com o novo paradigma da luz e o nascimento do fóton, fruto dos trabalhos de Planck – que, descobrimos, abandonou uma promissora carreira de pianista para se dedicar à física... Revisitamos o desenvolvimento da teoria quântica e os seus principais actores, e espreitamos o que terão sido os primeiros tempos da chegada da nova teoria a um Portugal envolto em turbulência política, pela mão de pioneiros como José Manuel Nogueira Valadares e António da Silveira. Tal como nos volumes anteriores, o destaque dado à ciência portuguesa – e os seus feitos e defeitos – é uma das principais mais valias desta obra, sobretudo num país pouco dado a recordar os seus cientistas do passado recente.

Encontramos também vasta informação sobre a ciência e tecnologia ópticas deste período e os diversos instrumentos ópticos, que é certamente um dos temas que mais apraz ao autor. A primeira parte encerra com um capítulo sobre a investigação e divulgação da óptica nas três universidades portuguesas da época (Lisboa, Coimbra, Porto), recordando os principais impulsionadores da disciplina, e recuperando também um punhado de curiosos conterrâneos que a história (felizmente) não registou, que tentaram atingir a imortalidade apresentando as suas próprias teorias “alternativas” à mecânica quântica e à relatividade, indo ao ponto de se reclamar ser portuguesa a invenção da bomba atómica... a nossa ciência podia não ser tão avançada quanto a de outros países, mas na excentricidade não lhes ficávamos atrás!

A segunda parte do livro inicia-se com a descoberta do laser, há precisamente cinquenta anos, e o seu conturbado nascimento. Tive oportunidade de participar nas comemorações deste aniversário, numa cerimónia que decorreu em Paris, há umas semanas atrás, e em que estavam presentes sete galardoados com o Prémio Nobel – entre os quais Charles Townes, que escreveu o artigo original sobre “masers ópticos” – e a viúva de Theodore Maiman, que construiu o primeiro laser operacional. Pude constatar que a polémica sobre quem merece o devido reconhecimento pela genialidade da invenção continua bem acesa ao fim de cinco décadas...

Os lasers e as suas aplicações ocupam boa parte do livro, e são uma excelente e actualizada referência (quase enciclopédica) para quem se quiser informar sobre esta área. Os diferentes tipos de laser apresentados vão dos clássicos, como as famílias de lasers gasosos e de estado sólido, aos conceitos mais futuristas, como laser de raios gama e de pontos quânticos. São também mencionados os mais recentes projectos para mega-instalações laser, como o NIF,

41

livros  
VOL. 33 - N. 2

o LMJ e o ELI, e as promissoras potencialidades dos lasers actuais e futuros para gerar feixes de partículas e atingir a fusão inercial. Também tive a surpresa de descobrir que existem fontes naturais de maser e laser em cenários astrofísicos, provando que a natureza não precisa de conhecer os princípios da emissão estimulada de Einstein para gerar a sua própria radiação coerente!

As aplicações do laser são revistas num interessante portefólio que mostra o quanto se evoluiu nesta área desde os tempos em que o laser era “uma solução à procura de um problema”, cobrindo a medicina, a indústria, a instrumentação científica e as comunicações ópticas. Talvez aqui LMB pudesse ter acrescentado alguma informação sobre a introdução e a evolução do uso do laser em Portugal, à semelhança do que faz, por exemplo, para a energia solar, no capítulo seguinte. Esta área tem tido um crescimento acelerado nas últimas décadas, e merece que a sua história seja registada.

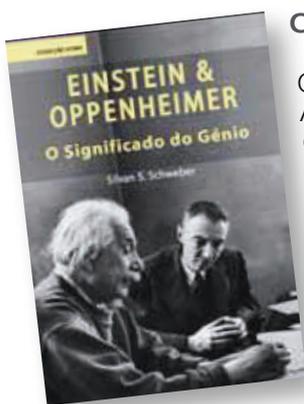
O resto do livro é preenchido com um par de capítulos sobre técnicas e instrumentos ópticos inovadores introduzidos na segunda metade do século passado, e outro sobre a moderna disciplina da optoelectrónica e alguns temas contemporâneos de investigação em óptica, como as nanotecnologias e a superluminescência. Por fim, o derradeiro capítulo conclui com o estimulante ensaio “Histórias do futuro da óptica”, no qual se apontam possíveis direcções e interacções no desenvolvimento desta área. É impossível não nos sentirmos estimulados e inspirados pela diversidade de problemas e aplicações em aberto: a história da óptica está à espera de continuar a ser escrita por nós.

Em conclusão, este livro é um perfeito culminar da trilogia, que agrada a físicos e não físicos, praticantes de óptica ou não, desde que sejam curiosos e sintam o fascínio pelo deslumbramento da descoberta e da evolução do génio inventivo humano. Altamente recomendável.

# Einstein & Oppenheimer

## O significado do génio

Silvan S. Schweber - Editorial Bizâncio - Coleção Vidas, nº 29 (2010)  
ISBN: 978-972-53-0427-3



**Carlos Fiolhais**

O que significa o génio? O filósofo alemão Arthur Schopenhauer definiu um génio desta maneira:

“Um génio é um homem em cuja mente o mundo, como representação, atinge um grau de maior clareza e ressalta com a marca de uma maior nitidez; e, tal como as visões mais importantes e profundas, provém, não de uma observação cuidada dos pormenores, mas apenas através da intensidade com

que se assimila o todo, de tal modo que a Humanidade pode ser instruída por ele.(...) Ver sempre o universal no particular constitui precisamente a característica fundamental do génio.”

Não é por acaso que esta citação surge no muito interessante livro “Einstein & Oppenheimer. O significado do génio” (Bizâncio, 2010), do historiador de ciência norte-americano Silvan S. Schweber. Einstein e Oppenheimer são considerados dois dos grandes génios do século XX. Einstein, para além de ter sido pioneiro da teoria quântica, desenvolveu quase sozinho a teoria da relatividade, em particular, esse verdadeiro monumento do pensamento humano que é a teoria da relatividade geral que permite uma visão do “todo” que é o Universo, incluindo a sua estrutura e a sua dinâmica. E Oppenheimer, bastante mais novo, para além de contribuições notáveis para a teoria quântica (aproximação de Born-Oppenheimer) e para a teoria da relatividade geral (proposta de buracos negros, que Einstein erradamente recusou), revelou a sua genialidade na direcção científica do projecto Manhattan, que conduziu à primeira bomba atómica.

Os dois génios, que aparecem juntos na fotografia da capa, conheceram-se bem – trabalharam os dois no Instituto de Estudos Avançados de Princeton. Tinham em comum a sua origem judaica, embora não fossem judeus praticantes, confirmando a ideia comum de que alguns dos maiores génios são judeus. E tinham em comum o seu americanismo, embora tivessem sido considerados esquerdistas no tempo da guerra fria. E ainda um apurado sentido de humanidade.

Os dois reconheceram o génio um do outro. Sobre o génio de Einstein muito tem sido dito, mas este livro ilumina alguns aspectos como a sua relação com as armas nucleares (“Fui eu que carreguei no botão”) e o seu papel na fundação da Universidade Brandeis, uma instituição judaica. Oppenheimer sabia bem, como os outros seus colegas, da superioridade de Einstein; afirmou mesmo numa resposta a um jornalista lhe perguntou que só lamentava na sua vida “escusado será dizê-lo, não ter sido o jovem Einstein”. Admirava profundamente a capacidade revelada por Einstein nos anos da sua juventude, mas já não compreendia a solitária fixação de Einstein numa teoria unificada na maior parte da sua vida. Se Einstein foi um génio solitário, Oppenheimer foi um génio social, um homem capaz de liderar equipas ganhadoras. O livro de Schweber informa-nos que, quando em 1938 o jovem Oppenheimer chega a Princeton, escreveu numa carta ao seu irmão: “Princeton é uma casa de doidos: as suas luminárias solipsistas brilham em desolação isolada e desamparada. O Einstein está completamente chanfrado”. Esta posição, expressa em privado, evoluiu para formas bem mais veneradoras quando, em 1955, escreveu no obituário de Einstein: “um dos maiores vultos de todos os tempos.”

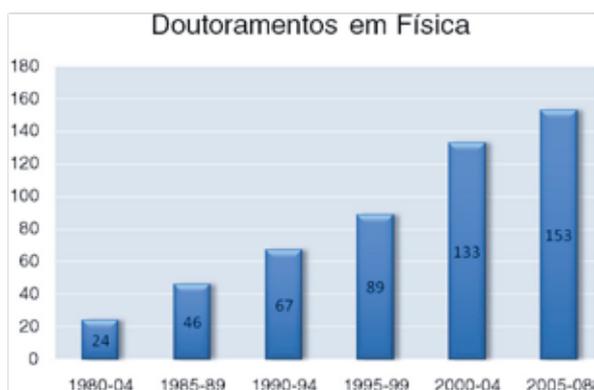
É curioso que Einstein se revisse em Schopenhauer, que gostava dos antigos escritos védicos e budistas, os mesmos que tanto inspiraram Oppenheimer. Os génios tocam-se!

# Doutoramentos em Física

Augusto Barroso

**Na atribuição do prémio Fernando Bragança Gil<sup>1</sup> o trabalho do júri foi muito facilitado pela existência de uma base de dados,<sup>2</sup> compilada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, onde estão listadas todas as teses de doutoramento defendidas em Universidades Portuguesas.**

Quando consultei esses dados tive curiosidade de saber como tinha evoluído ao longo do tempo o número de doutoramentos em Física em Portugal. O gráfico 1 dá-nos essa evolução para o período 1980 – 2008.



Notemos que o último período é de apenas quatro anos, uma vez que ainda não dispomos dos dados de 2009. Verifica-se que ao longo dos últimos trinta anos passámos de uma produção anual média de cinco teses para mais de trinta e cinco. O crescimento é linear nos últimos vinte anos do século XX com uma taxa de crescimento de 4,4 teses por ano. Este crescimento acelera nos últimos dez anos, com uma taxa média de 7,1 teses por ano. Notar

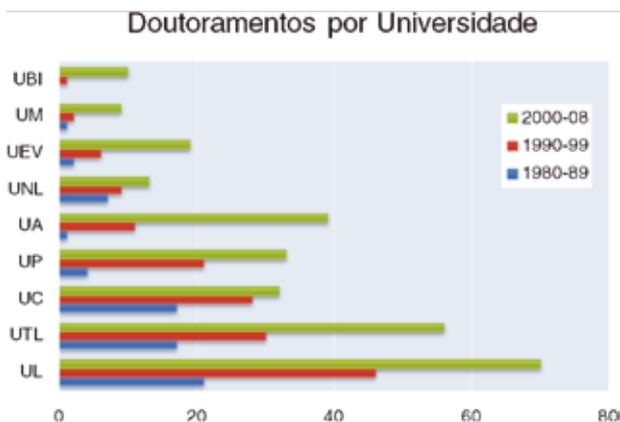
que o ligeiro abrandamento que se nota na curva no último período deve ser apenas devido ao facto de faltarem os dados de 2009. Com efeito, se admitirmos que em 2009 se realizaram 35 doutoramentos, média de 2008 e 2007, o último ponto do gráfico passaria para 188 doutoramentos em vez do valor indicado. Isto bastaria para que este segmento de recta mantivesse o mesmo coeficiente angular. Também o número de doutoramentos obtidos no estrangeiro tem crescido. O gráfico 2 compara este número com a produção das Universidades Portuguesas.



Apesar de ter havido uma política bastante generosa de bolsas para doutoramento no estrangeiro é interessante registar que os doutoramentos obtidos no estrangeiro não têm crescido. Este facto pode ser devido a uma limitação da base de dados mas, se for genuíno, considero-o muito positivo. Na verdade, a actividade científica precisa de ser alimentada por novos alunos de doutoramento e no estado actual do nosso desenvolvimento já não faz sentido que o Estado Português esteja a subsidiar a investigação dos países mais desenvolvidos, através da atribuição de bolsas de doutoramento. A situação é evidentemente muito diferente daquela que existia na década de setenta do século passado, onde para 84 doutoramentos em Física registados na base de dados, só 3 foram obtidos em Portugal!

1. <http://www.spf.pt/arquivo/272>

2. <http://www.gpeari.mctes.pt/index.php?idc=35>



Serão os resultados portugueses razoáveis? Para responder a esta questão usei um trabalho realizado pelo *American Institute of Physics (ENROLLMENTS AND DEGREES REPORT, 2006, AIP Pub. Number R-151.43 September 2008)* segundo o qual todas as universidades dos Estados Unidos produziram, em 2006, 1380 doutoramentos em Física. É óbvio que este número não pode ser directamente comparável com Portugal. Importa, pelo menos, corrigi-lo por um factor que tenha em conta a razão das populações dos dois países. Usando as estatísticas da OCDE referentes a 2007<sup>3</sup>, obtêm-se que esse factor é 0,035. Com esta correcção o número de doutoramentos previstos para Portugal seria 49. O número real é 35, o que corresponde a 71% da previsão. Contudo, a diferença de desenvolvimento económico traduz-se num PIB *per capita* de Portugal que é de 50% do dos Estados Unidos. Talvez exista razão para algum optimismo!

Finalmente, o gráfico 3 mostra a distribuição pelas várias universidades dos doutoramentos feitos em Portugal.

Para tornar o gráfico de mais fácil leitura excluí as universidades que, no total dos 29 anos em análise, realizaram menos do que dez doutoramentos em Física. Estão nestas condições a Universidade do Algarve com cinco doutoramentos e a UTAD com dois.

Permitam-me um comentário final sobre a classificação das teses. Segundo pude verificar o MCTES classificou as teses nas várias categorias de acordo com a opinião dos respectivos autores. Por outras palavras, foram classificadas como física as teses em que o doutorando se candidatou ao grau de doutor em física. Quando cruzei a informação desta base de dados com dados que me foram fornecidos por alguns departamentos encontrei pequenas diferenças. As diferenças dizem respeito a áreas de fronteira, como por exemplo a Biofísica e a Geofísica. Nalguns casos, os Departamentos de Física listavam como doutoramentos de Física teses, orientadas ou co-orientadas por professores seus, que na base de dados do MCTES aparecem em “Ciências da Terra e do Ambiente” ou em “Biotecnologia Médica”. Para além destas categorias existe uma - “Engenharia Médica” - onde algumas destas teses podem também ter sido classificadas. Em contraponto, como não existe uma categoria denominada “Astronomia” não tenho a certeza se algumas das teses desta área não estarão classificadas em “Matemática”.

3. <http://stats.oecd.org/Index.aspx>

# CONFERÊNCIA

## *Dinamização Local da Sustentabilidade Energética*

### 21 e 22 de Outubro 2010

Auditório Municipal Augusto Cabrita - Barreiro

Conferência Final do Projecto IEE 2007-2010  
Criação de quatro Agências de Energia  
(Portugal, Itália, Roménia e Malta)

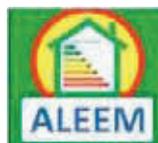
Inscrições em  
[www.senergia.pt](http://www.senergia.pt)

(em Setembro)

Organização:

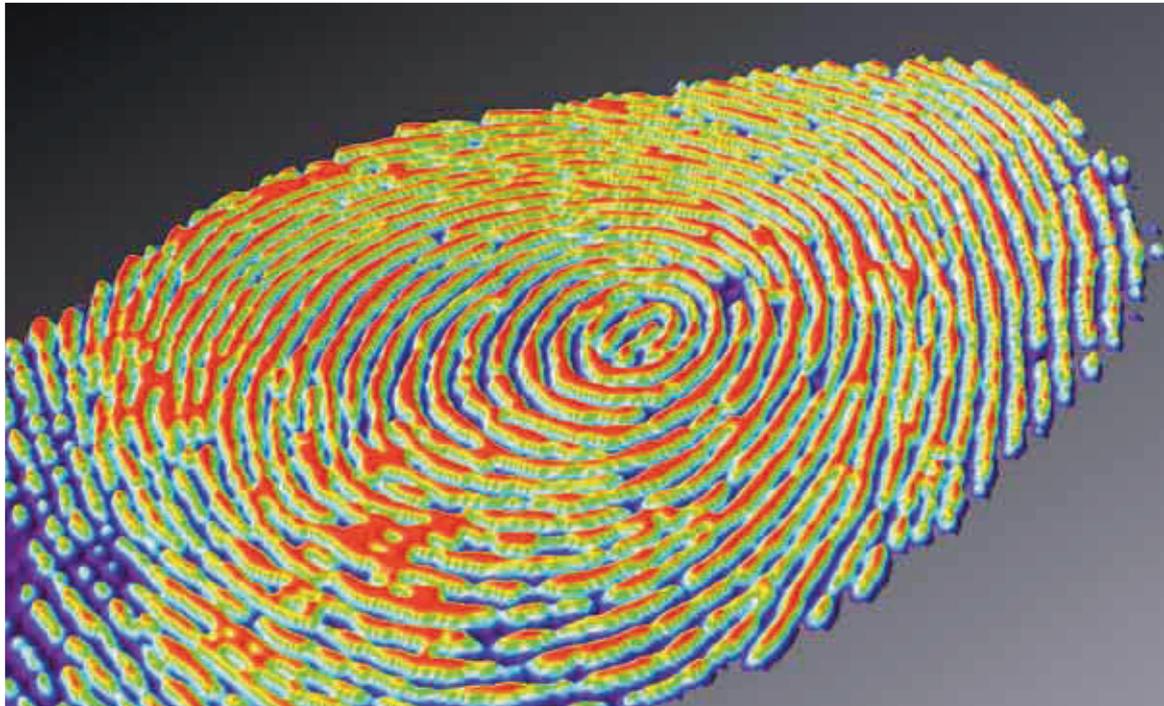


Parceria:



Projecto financiado por:





# call for papers

## 2010

A Gazeta de Física convida os seus leitores a submeterem propostas (abstracts) de artigos nos seguintes temas:

Física aplicada à biologia e medicina  
encerrado a 18 de Junho

Lasers e aplicações: em comemoração do 50<sup>o</sup> aniversário da invenção do laser  
até 17 de Setembro

História e protagonistas da física em Portugal no séc. XX  
até 17 de Dezembro

A Gazeta de Física publica artigos, com índole de divulgação, considerados de interesse para estudantes, professores e investigadores em Física. Os artigos podem ter índole teórica, experimental ou aplicada, visando promover o interesse dos jovens pelo estudo da Física, o intercâmbio de ideias e experiências profissionais entre os que ensinam, investigam ou aplicam a Física.

Mais informações em [www.gazetadefisica.spf.pt](http://www.gazetadefisica.spf.pt)