

A Física na escala de attossegundos: O Nobel

Francisco Nazareth

Portugaliae Physica: 80 anos

Estudo da queda e ressalto de uma bola

Índice

1 Editorial

artigo geral

- 2 **Física na escala de attossegundos:** uma janela aberta para estudar correlações entre elétrons na matéria.

Michael Belsley

artigo geral

- 7 **Francisco Nazareth:** Um cientista entre artistas

Gilberto Pereira, Décio Martins, Carlos Fiolhais

física e sociedade

- 12 **PORTUGALIAE PHYSICA:** A revista científica da Sociedade Portuguesa de Física

Carlos Fiolhais

sala professores

- 15 **A phyphox** no estudo do movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola

Albino Rafael Pinto, Carlos Saraiva

crônicas

- 19 **A arte de medir o tempo**

Carlos Herdeiro

vamos experimentar

- 21 **Os pêndulos** comunicadores!

Constança Providência, Rita Wolters

23 Notícias

Na nossa vida quotidiana, mas também em Ciência e Tecnologia, a medição do tempo desempenha um papel fulcral. Desde o controlo de processos industriais, da capacidade de sincronização de sinais em telecomunicações, da frequência elevada dos relógios de computadores ou da simples organização das tarefas diárias, a medição do tempo desde há muito que vem sendo progressivamente aprofundada. A sua contínua melhoria tem permitido proporcionar cada vez maior exatidão, eficiência e coordenação nas mais diversas atividades humanas. Dentre as aplicações possíveis, refira-se a navegação, posicionamento e localização de navios no mar, cuja necessidade inspirou o desenvolvimento de cronómetros marítimos cada vez mais fiáveis e exatos, para a correta determinação da longitude, cuja história nos mostra Carlos Herdeiro na sua Crónica neste número.

Com a evolução da tecnologia, tem sido possível construir métodos que nos têm tornado capazes de medir tempos cada vez mais pequenos. Nesse âmbito, o desenvolvimento experimental de impulsos ópticos progressivamente mais curtos tem estado intimamente relacionado com as evoluções na tecnologia dos lasers e com as suas aplicações. Por exemplo, o desenvolvimento de lasers de femtosegundos tornou possível investigar a forma como os átomos se movimentam nas moléculas e, em particular, de estudar as transições entre estados nas reações químicas, estudos pelos quais Ahmed Zewail recebeu o Prémio Nobel da Química em 1999.

É neste contexto de contínua procura pela medição de tempos cada vez mais curtos que surgem os trabalhos premiados com o Nobel da Física de 2023, atribuído aos físicos Pierre Agostini, Ferenc Krausz e Anne L’Huillier por terem desenvolvido “métodos experimentais que geram impulsos de luz com duração de attosegundos para o es-

tudo da dinâmica de eletrões na matéria”. A capacidade de gerar e detetar impulsos de luz nessa escala temporal abre uma nova janela para explorar e compreender fenómenos ultrarrápidos em sistemas quânticos. Em particular, a capacidade de manipular e estudar eventos em escalas de tempo tão curtas é crucial para explorar e compreender a dinâmica de eletrões em átomos, moléculas e em matéria condensada. Essa conquista representa um avanço significativo na capacidade de sondar os processos fundamentais que ocorrem em sistemas com múltiplos eletrões correlacionados, e promete fornecer informações valiosas para a compreensão mais profunda da natureza da matéria. Aqui, nesta edição da Gazeta, Michael Belsley mostra-nos o percurso dos premiados com o Nobel de 2023, da Física envolvida e das implicações dos trabalhos por eles desenvolvidos.

Neste número da Gazeta, encontra-se também um artigo dedicado à vida e obra de Francisco Nazareth, um dos pioneiros, em Portugal, da deteção de partículas ionizadas e que estagiou com Marie Curie. Para além da sua vida académica e científica, Francisco Nazareth conviveu com a elite cultural portuguesa, tendo conhecido Fernando Pessoa e Almada Negreiros. Aqui ficamos a conhecer um pouco melhor o seu percurso, e o contexto da investigação científica em Portugal no início do século XX. Nesta edição da Gazeta, comemoramos ainda os 80 anos da *Portugaliae Physica*, a revista científica da Sociedade Portuguesa de Física, com um artigo de Carlos Fiolhais sobre a sua história já longa.



Boas leituras

Ficha Técnica

Estatuto Editorial

<http://www.spf.pt/gazeta/editorial>

Propriedade | Sede | Redacção | Editor

Sociedade Portuguesa de Física

Av. da República, 45 – 3º Esq.

1050-187 Lisboa

Telefone: 217 993 665

Director

Bernardo Almeida

Editores

Francisco Macedo

Olivier Pellegrino

Secretariado

Maria José Couceiro - mjose@spf.pt

Comissão Editorial

José António Paixão - Presidente da SPF

Gonçalo Figueira - Anterior Diretor Editorial

Teresa Peña - Anterior Diretor Editorial

Carlos Fiolhais - Anterior Diretor Editorial

Ana Luísa Silva - Física Atómica e Molecular

Ana Rita Figueira - Física Médica

Augusto Fitas - Grupo História da Física

Deolinda Campos - Educação

Carlos Silva - Física dos Plasmas

Constança Providência - Física Nuclear

Joaquim Moreira - Física da Matéria Condensada

José Marques - Física Atómica e Molecular

Luís Matias - Geofísica, Oceanografia e Meteorologia

Manuel Marques - Óptica e Laser, Universidade do

Nuno Castro - Física Partículas

Rui Agostinho - Astronomia e Astrofísica

Sofia Andringa - Física Partículas

Correspondentes

André Pereira - Delegação Norte

Fernando Amaro - Delegação Centro

José Marques - Delegação Sul e Ilhas

Design / Produção Gráfica

FR Absolut Graphic Lda.

frabsolut@gmail.com

NIPC 501094628

ISSN 0396-3561

Tiragem 1 000 Ex.

Registo ERC 110856

Depósito Legal 51419/91

Periodicidade: 3 x Ano

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.

Física na escala de attossegundos: uma janela aberta para estudar correlações entre elétrons na matéria.

Michael Belsley

Departamento de Física da Universidade do Minho
belsley@fisica.uminho.pt

Pierre Agostini, Ferenc Krausz, e Anne L'Huillier foram homenageados com o Prémio Nobel da Física deste ano, pela sua investigação pioneira nos métodos experimentais que "geram pulsos de luz com duração de attossegundos para o estudo da dinâmica de elétrons na matéria". Esse trabalho, que remonta aos anos 1980-90, representa uma verdadeira *tour de force* no desenvolvimento de técnicas experimentais inovadoras e controlo avançado de sistemas laser.

Um attossegundo ($1 \text{ as} = 10^{-18}$ segundos) é tão breve que o número de attossegundos num segundo é aproximadamente o dobro do número total de segundos da idade estimada do Universo, de acordo com o modelo cosmológico padrão. A capacidade de gerar e detetar pulsos de luz nessa escala temporal abre uma nova janela para explorar e compreender fenómenos ultrarrápidos em sistemas quânticos. Em particular, a capacidade de manipular e estudar eventos em escalas de tempo tão curtas é crucial para explorar e compreender a dinâmica de elétrons em átomos, moléculas e em matéria condensada. Essa conquista representa um avanço significativo na capacidade de sondar os processos fundamentais que ocorrem em sistemas com múltiplos elétrons correlacionados, e promete fornecer informações valiosas para a compreensão mais profunda da natureza da matéria.

A escala temporal que caracteriza a dinâmica dos elétrons nos átomos, moléculas e em matéria condensada pode ser estimada pelo tempo (τ) de "órbita" dos elétrons do estado fundamental, no modelo de Bohr do átomo de hidrogénio: $\tau = 2\pi a_B / (\alpha c) \sim 150 \text{ as}$ onde $a_B \sim 53 \text{ pm}$ é a distância característica entre o protão e elétron no estado fundamental do hidrogénio, α é a constante da estrutura fina, e c é a velocidade da luz. Sabendo que a luz é uma onda eletromagnética e que o limite da duração de um pulso ótico é da ordem do período da oscilação de sua frequência central, obter um pulso coerente da ordem de 100 attossegundos implica uma frequência central na zona do ultravioleta extremo (XUV), ou seja, um comprimento de

de onda de cerca de 30 nm.

Uma técnica para gerar pulsos laser ultra curtos é a sincronização de fase entre múltiplos modos longitudinais. Quando a fase desses modos é correlacionada, ocorre uma interferência construtiva em momentos específicos, efetivamente criando um pacote de fótons localizados. Conforme ilustrado na Figura 1, quanto mais modos estiverem envolvidos, menor será a duração do pulso. Essa abordagem é frequentemente utilizada em lasers de Ti:Safira, que possuem ganho ótico numa ampla gama espectral.

Através de um controlo sofisticado da dispersão na cavidade, é possível obter pulsos com duração inferior a 10 femtossegundos. Isso equivale a poucos ciclos óticos. Para luz com um comprimento de onda de 800 nm, o período da oscilação do campo eletromagnético é aproximadamente de 2,7 fs. Para alcançar pulsos com duração da ordem de attossegundos, é necessário migrar para a região do XUV. Nessa região, o campo eletromagnético da luz com $\lambda = 15 \text{ nm}$, por exemplo, possui um período de 50 attossegundos.

Então, para obter pulsos com duração de attossegundos, porque não criar um laser que emita luz com comprimentos de onda na região do ultravioleta extremo (XUV), com uma largura de banda considerável? Existem alguns obstáculos técnicos para isso, como a escassez de espelhos eficientes e o fato de que praticamente todos os materiais absorvem fortemente nessa região do espectro. No entanto, há também desafios mais fundamentais.

Em primeiro lugar, as taxas de emissão espontânea aumentam com a densidade eletromagnética dos estados, seguindo uma dependência com o comprimento de onda (λ) de $1/\lambda^2$. Portanto, quanto menor o comprimento de onda, mais difícil é competir contra a emissão espontânea. Além disso, a secção eficaz para a emissão estimulada em ressonância é proporcional a λ^2 , tornando

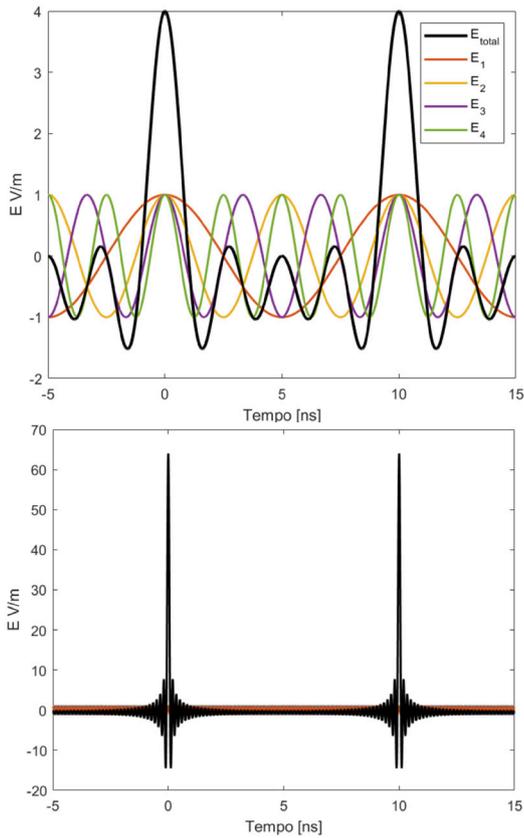


Figura 1: Efeito da sobreposição de múltiplos modos longitudinais, todos com uma amplitude de 1 V/m e com fases sincronizadas. (a) com 4 modos; (b) com 16 modos. Quanto mais modos estiverem envolvidos, mais alto e mais curto é o pico de interferência construtiva. A taxa de repetição corresponde ao tempo de uma volta na cavidade, indicando que a interferência construtiva pode ser vista como uma localização dos fótons na cavidade. Cada vez que esse conjunto de fótons localizados incide no espelho de saída, um pulso laser é emitido. Para clareza, as frequências dos modos individuais são 5 ordens de grandeza menores do que as frequências óticas num atual laser de Ti:Safira. Num laser femtossegundos o número de modos envolvidos tipicamente atinge valores de ordem de 100 000.

cada vez mais difícil obter emissão estimulada à medida que o comprimento de onda diminui. Por fim, cada átomo colocado no estado excitado do laser custa uma energia que é inversamente proporcional a λ . Considerando todos esses fatores, a energia necessária para produzir emissão laser escala aproximadamente como $1/\lambda^4 - 1/\lambda^5$, tornando-se proibitivamente grande na região do ultravioleta extremo.

Estes desafios põem em evidência as barreiras significativas que têm que ser enfrentadas ao tentar desenvolver fontes da luz coerente na faixa de comprimentos de onda XUV, para obter pulsos na escala de attossegundos, evidenciando as complexidades envolvidas na manipulação de sistemas óticos em escalas tão extremas.

Uma alternativa possível a este cenário é empregar a ótica não linear. Quando os feixes óticos são intensos, a suscetibilidade torna-se uma função não linear do campo elétrico incidente:

$$\mathbf{P} = \epsilon_0 \chi \mathbf{E} \approx \epsilon_0 \{ \chi^{(1)} : \mathbf{E} + \chi^{(2)} : \mathbf{E}\mathbf{E} + \chi^{(3)} : \mathbf{E}\mathbf{E}\mathbf{E} + \dots \} \quad (1)$$

onde o termo linear, proporcional a $\chi^{(1)}$ é responsável para os efeitos de ótica "normais" como a refração e a reflexão.

Quando um campo elétrico, $\mathbf{E} = \frac{1}{2} [\boldsymbol{\epsilon}_0 e^{-i\omega t} + \boldsymbol{\epsilon}_0^* e^{i\omega t}]$, \mathbf{q} u e oscila com uma frequência ω , incide num meio com uma suscetibilidade de segunda ordem, $\chi^{(2)}$, é possível obter uma polarização que oscila com o dobro da frequência, 2ω (segunda harmônica), através dos termos E^2 . Por sua vez, esta polarização não-linear serve como uma fonte que emite uma onda eletromagnética com frequência 2ω . Esse efeito é explorado nos estudos com microscopia não linear ou para gerar fontes laser com novas frequências. Em princípio, é possível generalizar o processo para obter a n -ésima harmônica, mas, na ausência de estados intermediários quase ressonantes, o processo tem uma eficiência proporcional a $1/\omega^{2n}$, ainda pior que antes como a proposta de construir uma fonte laser no ultravioleta extremo.

Consequentemente, as observações nas décadas de 1980 sobre a criação de ondas eletromagnéticas harmônicas com elevado n ("High Harmonic Generation" ou HHG; figura 2a), por Anne L'Huillier e colegas em Paris-Saclay, geraram bastante excitação na comunidade científica e forte curiosidade por esta área da Física [1]. Ainda mais surpreendente foi a observação de que a intensidade se manteve aproximadamente constante entre a 5.^a e a 29.^a harmônica, para depois diminuir abruptamente (figura 2b). Logo foi reconhecido que esse "plateau" poderia fornecer a largura espectral necessária para criar pulsos sub-femtossegundos [2], embora ainda faltasse uma compreensão dos processos físicos subjacentes para se poder concretizar essa ideia.

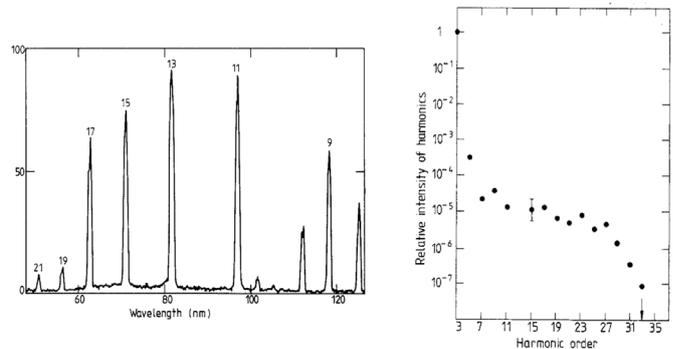


Figura 2: (a) Um espectro de ondas eletromagnéticas harmônicas com n elevado, criadas por um feixe de radiação de femtossegundos focado num gás de Xe. (b) Intensidade relativa das ondas harmônicas observadas com argon, que se estende até a 33.^a harmônica. Adaptado de [1], reproduzido com a permissão de IOP Publishing.

A discussão e compreensão desses processos foi alcançada numa série de artigos publicados no início dos anos 1990. Neles, Anne L'Huillier, em colaboração com o teórico Kenneth Kulander, do Laboratório Lawrence Livermore, desenvolveu uma simulação numérica dos processos, baseada numa versão semiclassical da equação de Schrödinger para um único elétron ativo [3]. De forma independente, Paul Corkum [4] propôs um modelo intuitivo bem sucedido, agora conhecido como o "modelo de três etapas" (ilustrado na Figura 3).

A ideia chave é que o campo forte do laser infravermelho incidente distorce o potencial de Coulomb entre os elétrons e o núcleo, permitindo que um elétron escape da barreira de Coulomb pelo efeito de "túnel" quântico. Uma vez libertado, o elétron ganha uma energia cinética considerável devido à força exercida pelo campo elétrico do laser. A escala da energia que o elétron pode ganhar nesse processo é determinada pela energia cinética média que o elétron obtém durante um ciclo ótico, conhecida como potencial ponderomotriz (U_p).

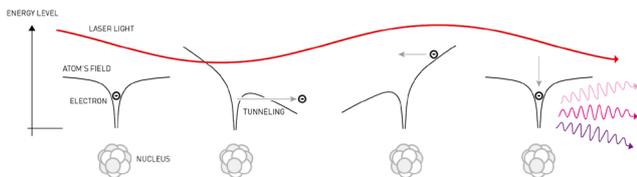


Figura 3: O modelo semiclássico de três etapas para geração de frequências harmônicas com n elevado (HHG). Na primeira etapa, o campo laser provoca a ionização do átomo e saída do elétron por "efeito de túnel". Na segunda etapa, o campo laser acelera o elétron. Quando o campo se inverte no próximo meio ciclo ótico, o elétron livre pode retornar ao íon e recombinar. Na terceira etapa, o processo de recombinação converte a energia cinética do elétron num fóton emitido na região do ultravioleta extremo (XUV). Como o processo ocorre repetidamente durante os vários ciclos óticos do feixe laser infravermelho incidente, a modulação produz ondas harmônicas com frequência múltipla da frequência ótica de base do laser infravermelho (com n elevados). © Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Science

Uma conta simples resulta na expressão:

$$U_p = e^2 \frac{\mathcal{E}^2}{4m\omega^2} \quad (2)$$

Observe-se que essa energia é tanto maior quanto menor a frequência do feixe incidente, ω . Então, campos eletromagnéticos de frequência mais baixa resultam num maior deslocamento dos elétrons, durante a qual são acelerados pela força de Lorentz. Isso facilitou a observação do "plateau" de harmônicos visto por Anne L'Huillier e colegas, uma vez que utilizaram um laser com um comprimento de onda de $\lambda=1064$ nm nos seus estudos iniciais. A dependência na frequência é muito mais favorável do que a de um laser XUV ou do que o processo direto da geração de harmônicos por ótica não linear.

Quando o campo elétrico do laser se inverte, o elétron é fortemente acelerado na direção do íon do átomo de onde ele veio. Ao recombinar com o íon, é libertada uma energia que é a soma do potencial de ionização e da energia cinética adquirida pelo elétron na sua trajetória. Esta última energia varia com o tempo durante o elétron se encontra livre, em relação à variação temporal da magnitude do campo elétrico do laser. O valor máximo atingido é aproximadamente 3,2 vezes o potencial ponderomotriz [5]. Numa série de estudos [6,7], o grupo de Anne L'Huillier confirmou as previsões do modelo e estabeleceu as condições segundo as quais um pulso de attossegundos pode ser criado.

Uma dificuldade evidente é como medir a duração de um pulso de attossegundos. Pierre Agostini e a sua equipa, também em Paris-Saclay, deram um passo importante em 1994. Já em 1979, Pierre Agostini [8] observou o fenómeno de ionização acima do limiar ("*above threshold ionization*" ou ATI) induzida por um feixe intenso. Ele notou picos no espectro dos elétrons foto-ionizados que correspondiam a múltiplos da energia de um fóton do laser incidente, ou seja, $E_s = \hbar\omega(n + s) + I_p$, onde I_p é o potencial de ionização do átomo, n corresponde ao valor mínimo para o qual $n\hbar\omega > I_p$ e s é o número de fótons adicionais que foram absorvidos acima do valor mínimo para ionizar o átomo.

O que Pierre Agostini percebeu [9] é que ao incidir em simultâneo num gás nobre, um pulso de attossegundos na região do XUV e uma fração do laser infravermelho usado para gerar esse pulso, ele poderia observar interferências no espectro dos elétrons ionizados. Os dois caminhos quânticos que interferem são a harmónica de ordem alta $q-1$ junto com a absorção de um fóton do laser infravermelho e a harmónica $q+1$ junto com a emissão estimulada de um fóton do laser infravermelho. A interferência entre essas duas possibilidades varia com o atraso temporal entre o pulso XUV de attossegundos e o pico do campo elétrico do laser de infravermelho. Pierre Agostini chamou "RABBITT" a esta técnica ("*reconstruction of attosecond beating by interference of two-photon transitions*").

Em 2001, Pierre Agostini e o seu grupo criaram um trem de pulsos de attossegundos usando o processo de geração de harmónicas altas em argon e, com o RABBITT, mediram a duração dos pulsos como sendo 250 attossegundos. No entanto, para realizar estudos de excitação e sonda, é essencial isolar um único pulso de attossegundos. Nesse âmbito, Ferenc Krausz, entre outros, perceberam que isso seria possível se a duração do laser infravermelho incidente fosse suficientemente curta, de modo que apenas meio ciclo ótico tivesse a capacidade de ionizar os átomos. Ou seja, se fosse possível obter um pulso infravermelho intenso com a duração mínima possível.

Num trabalho notável de engenharia ótica, Ferenc Krausz, em colaboração com o grupo de Mauro Nisoli em Milão, conseguiu produzir um pulso no infravermelho de alta energia com uma duração de apenas 4,5 femtossegundos, ou seja, inferior a 2 ciclos óticos. Isso permitiu-lhes criar um pulso isolado na região XUV, com uma duração de 650 attossegundos [10]. Na Figura 4, é mostrado um espectro de energia cinética dos elétrons ionizados na presença da irradiação com fótons XUV, e com o laser "piloto" no infravermelho ($\lambda=750$ nm), com uma duração (largura a meia altura) de menos de 1,5 ciclos óticos [11]. A radiação XUV ioniza os átomos, e o campo infravermelho (IV), dependendo da sua fase no momento da ionização, acelera ou desacelera os elétrons libertados. Ao variar o atraso relativo entre os dois feixes, é possível obter uma medida da duração dos pulsos de attossegundos.

A capacidade de gerar e caracterizar pulsos de luz tão curtos permite responder a perguntas que anteriormente eram impossíveis de abordar. Um exemplo, citado na descrição do trabalho premiado pelo comitê Nobel, é o tempo associado ao processo do efeito fotoelétrico. Num trabalho extraordinário do grupo de Ferenc Krausz, publicado na revista *Science* em 2010 [12], foi investigado o tempo entre a absorção de um fóton XUV e a libertação de um elétron do néon.

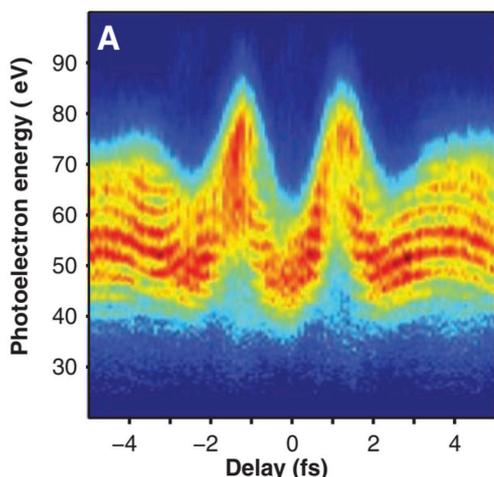


Figura 4: Espectro de energia cinética dos elétrons ionizados do néon na presença da irradiação XUV, com uma onda piloto com menos de 1,5 ciclos óticos (cerca de 3,5 fs) e comprimento de onda de $\lambda = 750$ nm. Um ajuste ao espectro resulta numa estimativa de 80 ± 5 as para a duração do pulso XUV. De E. Goulielmakis, E. M. Schultze, M. Hofstetter, V. S. Yakovlev, J. Gagnon, M. Uiberacker, A. L. Aquila, E. M. Gullikson, D. T. Attwood, R. Kienberger, F. Krausz, and U. Kleineberg, *Science* 320, 1614 (2008); DOI:10.1126/science.1157846. Reimpresso com permissão da AAAS.

Para realizar essa medida, Ferenc Krausz e colegas utilizaram o espectrograma dos elétrons ionizados na presença de uma onda piloto no infravermelho, semelhante às curvas da Figura 4. No entanto, esse método só consegue medir atrasos relativos e não absolutos. Entretanto, espectrogramas simultâneos de dois processos de ionização podem capturar a diferença temporal entre eles. Assim, foi utilizado um pulso XUV com fótons de 106 eV, com energia suficiente para ionizar tanto um elétron 2p quanto um elétron 2s do néon. A energia de ionização de um elétron 2s excede a de um elétron 2p em cerca de 26,8 eV, no néon, um valor que é muito maior do que a largura de banda dos pulsos XUV utilizados (14 eV). As medidas indicaram que os elétrons 2p demoram 21 ± 5 attossegundos a mais do que os elétrons 2s para serem ionizados, uma indicação de que as interações entre os elétrons influenciam o processo.

Cálculos teóricos de muitos corpos subsequentes indicaram que o atraso deveria ser no máximo de 9 attossegundos. No entanto, esses cálculos são extremamente desafiadores. Os átomos de néon possuem 10 elétrons e os cálculos de química quântica geralmente precisam levar em consideração as correlações entre eles, só para fornecer uma estimativa qualitativamente correta. No caso

do néon, há a possibilidade de um único fóton XUV poder ionizar um elétron da camada 2p e, ao mesmo tempo, excitar outro elétron 2p para o nível 3p. Esse segundo processo, conhecido como *shake-up*, requer apenas 7,4 eV e não seria resolvido nas medidas do grupo de Ferenc Krausz.

Em 2017, o grupo de Anne L'Huillier realizou medidas que resolveram esta aparente discordância [13], e puderam estimar a contribuição das correlações eletrônicas presentes no processo de ionização acompanhado por uma excitação interna do átomo. Para alcançar esse feito, foi necessário obter uma resolução energética melhor do que 1 eV. Se considerarmos um pulso de attossegundos isolado, pelo princípio de incerteza espera-se que a largura de banda espectral do pulso e a sua duração estejam inversamente relacionadas:

$$\Delta E \Delta t \approx \hbar/2 \quad (3)$$

Ao usar esta relação, observa-se que um pulso com uma duração de 100 attossegundos terá um espectro que abrange pelo menos 6,5 eV de intervalo. Para obter uma melhor resolução espectral sem comprometer a resolução temporal, o grupo de Anne L'Huillier utilizou um trem de pulsos semelhante a um pente de frequências ótico, em vez de pulsos de attossegundos isolados. Esse trem foi criado a partir de uma sobreposição de ondas harmônicas com n elevado, com fases sincronizadas, utilizando como frequência fundamental ondas eletromagnéticas no infravermelho. Assim, alcançaram uma resolução temporal de 20 attossegundos e uma resolução espectral de 200 meV, com recurso à técnica RABBIT desenvolvida por Pierre Agostini. Esta elevada resolução temporal e espectral é o que permitiu observar os efeitos envolvidos no processo de ionização acompanhado por uma excitação interna do átomo.

Este último exemplo é apenas um entre muitos trabalhos recentes que demonstram a criatividade e o talento dos investigadores nesta área. Em geral, procura-se uma diferença nos tempos de fotoemissão entre classes diferentes de elétrons. Por exemplo, entre elétrons provenientes de uma amostra de água na fase líquida ou no estado gasoso [14], que permite quantificar efeitos da interação entre as moléculas da água na fase condensada.

Este breve artigo é uma homenagem à criatividade, persistência e enorme capacidade técnica dos investigadores que trabalham na área de pulsos de attossegundos. Estamos ainda no início da era da Física na escala dos attossegundos, mas, graças ao trabalho pioneiro de Pierre Agostini, Ferenc Krausz e Anne L'Huillier, podemos esperar muitos resultados surpreendentes e inspiradores no futuro próximo.

Referências

- [1] M. Ferray, A. L'Huillier, X.F. Li, L.A. Lompre, G. Mainfray and C. Manus, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 21, L31 (1988).
- [2] T.W. Hänsch, Opt. Commun. 80, 71 (1990).
- [3] A. L'Huillier, K.J. Schafer and K.C. Kulander, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 24, 3315 (1991)
- [4] P. B. Corkum, Phys. Rev. Lett. 71, 1994 (1993).
- [5] J.L. Krause, K.J. Schafer and K.C. Kulander, Phys. Rev. Lett. 68, 3535 (1992)
- [6] P. Antoine, A. L'Huillier and M. Lewenstein, Phys. Rev. Lett. 77, 1234 (1996).
- [7] M. Bellini, C. Lyngå, A. Tozzi, M.B. Gaarde, T.W. Hänsch, A. L'Huillier, and C.-G. Wahlström, Phys. Rev. Lett. 81, 297 (1998).
- [8] P. Agostini, F. Fabre, G. Mainfray, G. Petite and N.K. Rahman, Phys. Rev. Lett. 42, 1127 (1979).
- [9] J.M. Schins, P. Breger, P. Agostini, R.C. Constantinescu, H.G. Muller, G. Grillon, A. Antonetti and A. Mysyrowicz, Phys. Rev. Lett. 73, 2180 (1994).
- [10] M. Hentschel, R. Kienberger, Ch. Spielmann, G.A. Reider, N. Milosevic, T. Brabec, P. Corkum, U. Heinzmann, M. Drescher and F. Krausz, 414, 509 (2001).
- [11] Goulielmakis, E., E. M. Schultze, M. Hofstetter, V. S. Yakovlev, J. Gagnon, M. Uiberacker, A. L. Aquila, E. M. Gullikson, D. T. Attwood, R. Kienberger, F. Krausz, and U. Kleineberg, Science 320, 1614 (2008).
- [12] M. Schultze, M. Fiess, N. Karpowics, J. Gagnon, M. Korbman, M. Hofstetter, S. Neppl, A.L. Cavalieri, Y. Komninos, Th. Mercouris, C.A. Nicolaides, R. Pazourek, S. Nagele, J. Feist, J. Burgdörfer, A.M. Azzeer, R. Ernstorfer, R. Kienberger, U. Kleineberg, E. Goulielmakis, F. Krausz and V.S. Yakovlev, Science 328, 1658 (2010).
- [13] M. Isinger, R. J. Squibb, D. Busto, S. Zhong, A. Harth, D. Kroon, S. Nandi, C. L. Arnold, M. Miranda, J. M. Dahlström, E. Lindroth, R. Feifel, M. Gisselbrecht, A. L'Huillier, Science 358, 893 (2017).
- [14] I. Jordan, M. Huppert, D. Rattenbacher, M. Peper, D. Jelovina, C. Perry, A. von Conta, A. Schild and H.J. Wörner, Science 369, 974 (2020)



Michael Belsley, doutorou-se na Universidade do Colorado, especializando-se em espectroscopia de colisões atómicas na fase gasosa. Em 1992, estabeleceu o seu grupo de investigação na Universidade do Minho, destacando-se como experimentalista

em áreas como dispersão de luz, materiais óticos não lineares e técnicas espetroscópicas ultrarrápidas para estudar a transferência de energia em ambientes complexos.

Francisco Nazareth: Um cientista entre artistas

Gilberto Pereira^{1,2*}, Décio Martins¹, Carlos Fiolhais¹

¹ Centro de Física da Universidade de Coimbra, ² Museu da Ciência da Universidade de Coimbra

* ggpereira@ci.uc.pt

Resumo¹

Francisco Martins de Sousa Nazareth (14-06-1889 / 18-01-1971) salientou-se como um dos pioneiros, em Portugal, na investigação sobre a detecção de partículas ionizadas, após realizar um estágio com Madame Curie, em Paris. Neste artigo, analisamos sumariamente a sua actividade como professor de Física, na Universidade de Coimbra (UC). São tratados tópicos como o contexto da investigação científica no início do século XX e, em particular, a situação do Laboratório de Física da UC, ligando-os com a actividade científica de Nazareth. Para além do seu trabalho de professor e cientista, abordamos a sua convivência com o pintor e escritor Almada Negreiros e com o escritor Fernando Pessoa, e a representação que o primeiro fez de Nazareth numa obra para o café “A Brasileira”, no Chiado, em Lisboa.

Introdução

No final do século XIX, ocorreram dois factos assaz relevantes na Física: a descoberta dos raios X, em 1895, por Wilhelm Röntgen, e a descoberta da radioactividade, em 1896, por Henri Becquerel. Estes acontecimentos vieram revolucionar não só a Física como outros campos da Ciência, tendo marcado indelevelmente o século XX. Porém, enquanto as experiências com raios X foram rapidamente replicadas no Gabinete de Física da UC pelo lente Henrique Teixeira Bastos, cerca de dois meses após o anúncio da descoberta de Röntgen, o primeiro trabalho experimental sobre radioactividade realizado em Coimbra, da autoria de Francisco Nazareth, só foi publicado em 1915. Esse artigo, como veremos, foi um marco na produção científica com base experimental do Laboratório de Física. Pois, desde 1896 (aquando das publicações de Teixeira Bastos), não existia qualquer tese ou artigo alicerçado em investigação experimental.

Primeira etapa na UC (1912-1924)

Francisco Martins de Sousa Nazareth nasceu na freguesia de São Bartolomeu, em Coimbra (Figura 1). Tendo ingressado na Faculdade de Filosofia da UC, no ano lectivo de 1909-1910, foi ainda estudante, em 7 de Março de 1912, que tomou posse como 2.º assistente provi-

Directores do Laboratório de Física da UC (1880-1974):

- António dos Santos Viegas: 1880-1912.
- Henrique Teixeira de Bastos: 1912-1930.
- Egas Ferreira Pinto Basto: 1930-1931 (interino).
- Mário Augusto da Silva: 1931-1947.
- José Custódio de Morais: 1947-1948 (interino).
- João Rodrigues de Almeida Santos: 1948-1974.

sório. Finalizou o curso com a informação final de 19 valores (em 7 de Novembro de 1913), obtendo o grau de bacharel, equivalente a uma licenciatura actual, pela antiga Faculdade de Filosofia. Entretanto, tinha ocorrido uma reforma educativa, em 1911, que criara a Faculdade de Ciências na UC juntando a Faculdade de Filosofia com a Faculdade de Matemática. Esta reforma do ensino preconizou a melhor formação do professorado, incentivando viagens de formação e estudo a instituições europeias. Foi neste contexto que Francisco Nazareth realizou duas missões: na primeira, na passagem de 1913 para 1914, com a duração de dois meses, visitou o Instituto do Rádio de Madame Curie, em Paris, e o laboratório de Jacques Danne, de ensaios de substâncias radioactivas, em Gif-sur-Yvette, nos arredores de Paris. Como resultado desta experiência publicou uma dissertação, com base no estudo sobre a “Ionização dos gases em vaso fechado” [1], que apresentou no concurso para 2.º assistente do Grupo da Física da Faculdade de Ciências da UC. Neste trabalho, realizado no Laboratório de Física da UC, Nazareth obteve cerca de 500 medidas, com dois electrómetros, utilizando uma fonte radioactiva contendo um miligrama de rádio. A instrumentação utilizada foi construída nas oficinas que o Laboratório de Física ocupava no rés-do-chão do Colégio de Jesus, tendo Nazareth introduzido modificações e melhoramentos no electrómetro de Wilson (Figura 2) [2]. Na segunda missão ao estrangeiro, em Junho de 1920, Nazareth visitou diversos laboratórios de radioactividade na Europa. Sobre este itinerário, apenas temos notícias da sua passagem por Paris.

A análise da radioactividade de águas minerais do Luso



Figura 1 - Francisco Nazareth, juntamente com os seus pais, Mariana Amália de Oliveira Martins Nazareth e Francisco Maria de Sousa Nazareth. Fotografia gentilmente cedida pela família.

e do Gerês [3, 4] foi também um campo de estudo desenvolvido por Francisco Nazareth, conjuntamente com Felismino Ribeiro Nobre, assistente do grupo de Química da UC. Numa altura em que as virtudes curativas da radioactividade eram engrandecidas na publicidade de termas e águas minerais, não há, nestes trabalhos científicos, um elogio directo às propriedades terapêuticas da radioactividade, embora essa característica seja mencionada, por exemplo, quando se descreve a água do Luso “a par das águas mais radioactivas estrangeiras” [3].

Em 1916, foi nomeado 1.º assistente da Faculdade de Ciências e, em 1919, como professor ordinário, grau obtido sem a necessidade de doutoramento, situação que era possível após três anos de docência. A partir de Maio de 1923, Nazareth adoeceu e, não se apresentando mais ao serviço, passou para a situação de licença ilimitada a partir de 1 de Outubro de 1924, sendo finalmente demitido do cargo de professor catedrático, por decreto de 5 de Janeiro de 1929.

Um grande desgosto amoroso causou o fim do seu casamento com a sua primeira esposa (e antiga aluna), Maria Eduarda Medeiros Antunes, sendo esta a razão da interrupção abrupta da docência na UC, rumando à capital.



Figura 2 - Electrómetro de Wilson modificado por Francisco Nazareth, sobre uma câmara de ionização (1915). Fotografia de Gilberto Pereira.

Cientistas Portugueses no Laboratório de Madame Curie:

- António da Costa e Oliveira Pinto: Dez. 1909.
- Francisco Martins de Sousa Nazareth: Dois meses, entre o fim de 1913 e início de 1914.
- Manuel Marques Teixeira de Oliveira: Fev. - Jun. 1914.
- Mário Augusto da Silva: 1925-1929.
- Manuel José Nogueira Valadares: 1930-1933.
- Branca Edmée Marques de Sousa Torres: 1931-1935.
- Aurélio Marques da Silva: 1933-1938.

Primeiros estudos práticos em Portugal sobre a radioactividade:

- 1909 - Giovanni Costanzo: “Analyse Radioactive das águas thermaes da Amieira”.
- 1910 - António Oliveira Pinto: “Primeira contribuição para o estudo da radioactividade das águas minerais de Portugal”.
- 1911 - Charles Lepierre e Abel de Carvalho: “Algumas considerações á cerca da analyse dos minerios de «Uranio pobres e fosfatados»”.
- 1912 - C. Lepierre: Estudo da radioactividade das águas do Vidago, texto não publicado.
- 1913 - C. Lepierre e G. Costanzo: “A Água de Luzo e a sua radio-actividade”.
- 1914 - Manuel Marques Teixeira: “Manipulações de radioactividade” (dissertação com parte experimental realizada em Paris).
- 1915 - F. Nazareth: “Ionisação de gases em vaso fechado”.

A Escola Industrial e Comercial de Avelar Brotero e a hipotética descoberta do neutrão

Simultaneamente com a docência na UC, Francisco Nazareth foi também professor da 8.ª cadeira na Escola Industrial e Comercial de Avelar Brotero, entre 1914 e 1921. O director desta escola, o professor de Matemática Sidónio Pais, destacado em Lisboa em funções políticas, foi substituído interinamente, primeiro por António Augusto Gonçalves e, depois, por Nazareth, que assumiu o cargo de director interino entre Março de 1916 e 1918. Posteriormente foi nomeado director efectivo, cargo que exerceu entre Novembro de 1918 e Abril de 1921 [5].

Foi nesta escola que Nazareth se cruzou pela primeira vez com Mário Silva. Nessa altura, o jovem de 15 anos frequentava o 6.º ano do Liceu D. João III, e inscreveu-se num curso prático nocturno, sobre mecânica e electricidade, leccionado por Nazareth. Mais tarde, quando Mário Silva frequentava a licenciatura em Ciências Físico-Químicas, na Faculdade de Ciências da UC, foi convidado por Nazareth para ser seu assistente, convite este que, segundo Mário Silva, “veio desviar a previsão da minha carreira de engenheiro electrotécnico para professor universitário de Física” [6].

Mário Silva sentia uma grande admiração pelas qualidades e inteligência do seu mentor. Segundo ele, Nazareth “esteve à beira de descobrir o neutrão!” [7], podendo ter sido ele o primeiro prémio Nobel português [8]. Na opinião de Silva, Nazareth não conseguiu explicar, na sua dissertação de 1915, o “cotovelo” apresentado nas curvas de ionização (Figura 3), “mas mais tarde soube-se ser devido à presença do neutrão” [7].

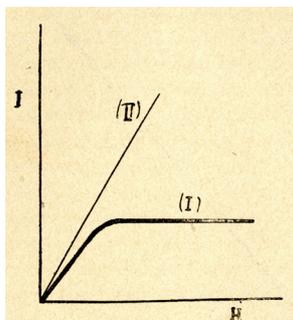


Figura 3 - (I) - Ionização produzida por radiações totalmente absorvidas pelo ar em função da pressão. (II) - Na presença de raios gama do rádio, a ionização é proporcional à pressão. Nazareth atribui a curvatura (I) à existência de uma radiação pouco penetrante (raios alfa) emitida por alguns metais, nas paredes do recipiente.

É possível que o fenómeno que Francisco Nazareth observou fosse o resultado do decaimento beta de radioisótopos naturais contidos nas paredes metálicas da câmara de ionização por ele utilizada, decaimento esse (em que um neutrão dá origem a um protão, um electrão e um antineutrino) responsável pela ionização do gás no interior da câmara. Quando Mário Silva diz que Nazareth esteve na iminência de descobrir o neutrão, poderia estar a referir-se à comprovação da existência de isótopos (instáveis), cujo número de neutrões difere dos elementos químicos estáveis, e cuja desintegração produziu a ionização observada por Nazareth. A sua afirmação é, na nossa opinião, exagerada.

Em 1915 o conhecimento da estrutura do átomo ainda não tinha avançado o suficiente para que tal descoberta fosse realizada. Rutherford só deu a conhecer o protão em 1919 e o efeito de Compton e a existência do fotão só foram comprovados em 1923. A existência do neutrão só foi anunciada em 1932 quando Chadwick fez colidir um feixe de partículas alfa com uma amostra de berílio, produzindo uma partícula com um poder de penetração bastante elevado, mas sem carga eléctrica (o neutrão), uma experiência muito distinta das realizadas por Nazareth.

Período fora da UC

Por volta de 1925, Francisco Nazareth estava em Lisboa, onde reencontrou o artista e escritor Almada Negreiros e conviveu com a elite cultural da capital portuguesa, entre a qual estava o escritor Fernando Pessoa. Almada e Nazareth tinham-se conhecido em Coimbra, cidade para onde o primeiro tinha ido concluir o liceu, após o encerramento do Colégio Jesuíta de Campolide, em 1910, aquando da instauração da República².

Esta amizade ficou imortalizada numa das suas obras, “Auto-retrato num grupo”, uma pintura expressamente

realizada para a decoração do café “A Brasileira” no Chiado, e actualmente pertencente à colecção do Centro de Arte Moderna da Fundação Calouste Gulbenkian (Figura 4). Nesta pintura estão representados Almada Negreiros, Júlia de Aguiar (actriz espanhola), Aurora Gil (actriz portuguesa) e Francisco Nazareth, que terá substituído Fernando Pessoa, por este ter declinado o convite para ser retratado [9].

Em Abril de 1927, Nazareth assistiu, no porto de Lisboa, à partida de Almada para Madrid [10]. Pouco tempo depois ele próprio haveria de partir para África. De facto, ainda nesse ano de 1927, o seu nome já aparece referenciado em Luanda, como director do jornal vespertino “A Província de Angola”, que deu origem ao actual “Jornal de Angola”. Nesta província exerceu cargos de engenheiro geógrafo e de professor, no Liceu Salvador Correia de Sá em Luanda.

Durante a sua estada em África, Nazareth manteve-se afastado da metrópole e sem contacto com antigos colegas. Mas, em 1951, durante uma viagem do Orfeon Académico de Coimbra a Luanda, reencontrou-se acidentalmente com o professor de Medicina Maximino Correia, então reitor da UC, que o convenceu a regressar à Lusa Atenas.

Segunda Etapa na UC (1952-1959)

Devido ao seu percurso académico e às amizades que tinha deixado em Coimbra, a reintegração de Francisco Nazareth não foi difícil. No Conselho Científico da Faculdade de Ciências, foi muito apoiado pelo professor de Matemática Diogo Pacheco de Amorim, seu antigo colega, sendo aprovada por unanimidade a sua recondução. Também não são conhecidos entraves do governo à sua readmissão³. Rapidamente a sua expulsão, de 1929, foi anulada, retomando posse do seu lugar de professor catedrático em Junho de 1952.

Com a sua chegada, João de Almeida Santos, então director do Laboratório de Física, disponibilizou-se a ceder-lhe o seu lugar - pois era prática comum o director de um estabelecimento anexo à Faculdade ser o professor mais antigo do grupo - oferta que Nazareth rejeitou gentilmente.

Readmitido com 62 anos e próximo da reforma, Francisco Nazareth ainda teve oportunidade de mostrar as suas capacidades de investigação. A convite do Ministro das Finanças, Artur Águedo de Oliveira, participou no Congresso Internacional de Geodesia e Geofísica, que se realizou em Roma entre 14 e 25 de Setembro de 1954⁴ [11]. Um ano depois, numa reunião da Congregação da Faculdade, manifestou grande interesse em realizar estudos de paleomagnetismo⁵, um domínio relativamente novo na altura. Com esse objectivo, visitou Angola, em Setembro de 1955, onde realizou a recolha de rochas. Durante essa estada presidiu também aos exames de admissão às escolas superiores da metrópole [12].

Ao contrário do que seria de esperar, no Congresso Luso-espanhol para o Progresso das Ciências, realizado de 1 a 5 de Junho de 1956 em Coimbra, Nazareth apresentou duas comunicações orais, mas nenhuma delas sobre o paleomagnetismo. Os dois trabalhos debruçam-se sobre métodos instrumentais de análise em radioactividade. O primeiro tem como título “Método de análise de minérios radioactivos complexos”, e, no segundo, retomou a análise da radioactividade das águas termais no trabalho “Sobre a presença, nas águas minerais, de radioelementos das séries do Urânio e Tório, não detectáveis pelos métodos clássicos de análise”. Não deixou, porém, estes trabalhos em forma escrita.

Tratou-se de um congresso com uma forte participação dos professores da Faculdade de Ciências da UC. Pelo grupo da Física deram o seu contributo Luís Vaz de Sampaio, com um trabalho sobre difracção de raios X (“Contribuição para a estrutura cristalina de 2,3 dibromo 2,3 dimetil butano”), e Maria Alice Alves e José Veiga Simão, apresentando respectivamente temas sobre radioactividade (“Actividade alfa e beta do ar atmosférico”) e física nuclear (“Breves notas sobre determinações de energias de níveis nucleares”). Estes eram os ramos da Física nos quais se centravam por essa altura as investigações no Laboratório de Física.

Francisco Nazareth reformou-se aos 70 anos, falecendo em Coimbra onze anos depois. Encontra-se sepultado no cemitério da Conchada, nessa cidade.

Conclusões

Francisco Nazareth é recordado pelos seus pares como um experimentalista muito habilidoso manualmente, o que revelou em particular no fabrico de isoladores de sílica para os electrómetros. Em 2017, foi identificado e recuperado do esquecimento o electrómetro de folhas de ouro, construído no Laboratório de Física da UC, e utilizado por Nazareth nas suas experiências. Este instrumento, de aparência simples mas de apurado equilíbrio experimental, é um testemunho precioso dos primórdios da Física Experimental na UC.

Embora seja especulativo pensar sobre o que teria ocorrido se Francisco Nazareth não tivesse feito um interregno na sua carreira científica e se Mário Silva não tivesse sido reformado compulsivamente em 1947, é tentador pensar que, se porventura estes dois físicos experimentais tivessem trabalhado em conjunto, com condições laboratoriais e financeiras adequadas, o seu legado científico teria sido inquestionavelmente maior.

Agradecimentos

Os autores agradecem gentilmente a fotografia fornecida pelos familiares, assim como as preciosas informações fornecidas por António Valdemar.



Figura 4 - “Auto-retrato num grupo”, Janeiro de 1925. Da esquerda para a direita: Almada Negreiros, Julia de Aguiar, Aurora Gil e Francisco Nazareth. Pintura decorativa feita para o café “A Brasileira” no Chiado, em Lisboa. Este quadro encontra-se desde 1983 no Museu de Arte Moderna da Fundação Calouste Gulbenkian. Fotografia de Gilberto Pereira, com uso de imagem autorizado pela Sociedade Portuguesa de Autores.

Referências

1. F. Sousa Nazareth, “Ionização dos gases em vaso fechado”, Imprensa da Universidade, Coimbra (1915).
2. F. Sousa Nazareth, “Sobre um electrómetro de folha de ouro”, O Instituto. Revista Científica e Literária vol. 63, nº 1, 4-12 (1916).
3. F. Sousa Nazareth e F. Ribeiro Gomes, “Constantes físico-químicas das Águas do Luso”, Revista de Chimica Pura e Applicada, II série, III anno (7-8), 187-196 (1918).
4. F. Ribeiro Gomes e F. Sousa Nazareth, “Relatório sobre a determinação da Radioactividade das aguas do Gerez [1918]”, in “As aguas termais do Gerez - Estudo Químico e Bacteriologico”, J. Ferreira da Silva e J. Pereira Salgado, Tipografia Sequeira, Lda., Porto, p. 33-35 (1921).
5. A. M. P. M. Martinho, “A Escola Avelar Brotero 1884-1974. Contributo para a história do ensino técnico-profissional”, tese de doutoramento em Ciências da Educação, Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade de Coimbra, p. 773 (1993).
6. E. Caetano, “Mário Silva, professor e democrata”. Coimbra, Coimbra Editora Lda., p. 32 (1977).
7. Idem, p. 33.
8. Cruz Diniz, “O Prof. Doutor Mário Augusto da Silva”. Publicações do Museu Nacional da Ciência e da Técnica N.º 6, p. 23, (1976).
9. J. A. França, “José e os outros - Almada e Pessoa, Romance dos anos 20”, Editorial Presença, p. 138 (2006).
10. Idem, p. 185.
11. Livro de Actas da Faculdade de Ciências da UC (1947-1960), Arquivo da UC, cota IV-1ªD-3-1-53-B, p. 171.
12. Idem, p. 190v.

¹Este texto não segue o acordo ortográfico

²Informações fornecidas por António Valdemar, jornalista e amigo de Almada Negreiros e autor da obra “Almada. Os Painéis, a Geometria e tudo”, de 2015 (Assírio & Alvim).

³Muito possivelmente a sua readmissão foi aprovada pelo ministro da Educação e pelo próprio Presidente do Conselho de Ministros António de Oliveira Salazar. Desconhecemos se o seu primo, o tenente José Araújo Martins de Sousa Nazareth (1895-1980), oficial censor desde 1935 e director da censura à imprensa em 1966, interferiu na sua integração.

⁴Desconhecemos se neste encontro fez alguma comunicação oral.

⁵Estudo do campo magnético terrestre através das suas marcas nas rochas.



Gilberto Pereira, possui licenciatura em Química Industrial (FCTUC) e mestrado em Química Aplicada ao Património Cultural (FCUL). Actualmente encontra-se a desenvolver a sua tese de doutoramento em História da Ciência (UC), subordinada ao tema “A investigação científica no Laboratório de Física da Universidade de Coimbra, entre 1911 e 1972”. Trabalha no Museu da Ciência da UC (desde 2002), sendo o curador da colecção de instrumentos científicos.



Décio Martins, doutorado em História e Ensino da Física, pela UC. Tem publicado artigos e colaborado em livros sobre a História da Ciência em Portugal. Colaborou na organização de exposições nacionais e internacionais sobre instrumentos científicos dos séculos XVIII e XIX. Integrou a Comissão Científica do Museu da Ciência e foi Director do Museu de Física da UC. Foi Coordenador do Doutoramento em História das Ciências e Educação Científica.



Carlos Fiolhais, licenciou-se em Física na UC (1978) e doutorou-se em Física Teórica na Universidade Goethe, Frankfurt (1982). É professor catedrático aposentado da UC. É autor de mais de 60 livros científicos, pedagógicos e de divulgação científica e de numerosos artigos científicos, pedagógicos e de divulgação. Ganhou os Prémios: Medalha de Mérito do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (2021), José Mariano Gago da SPA (2018), Ciência Viva-Montepio (2017), o Globo de Ouro de Mérito e Excelência em Ciência da SIC (2005), a Ordem do Infante D. Henrique (2005), Inovação do Fórum III Milénio (2006) e Rómulo de Carvalho da Universidade de Évora (2006). Foi Director da Biblioteca Geral da UC, Coordenador da área do Conhecimento da Fundação Francisco Manuel dos Santos e Director do Rómulo - Centro Ciência Viva da UC. Dirige a colecção Ciência Aberta da Gradiva.

PORTUGALIAE PHYSICA: A revista científica da Sociedade Portuguesa de Física

Carlos Fiolhais¹

¹ Professor de Física da Universidade de Coimbra (aposentado)

Em 1943, quando a Segunda Guerra Mundial estava ainda em pleno na Europa, surgiu em Portugal uma nova revista científica, a *Portugaliae Physica*, em resultado do esforço de um pequeno grupo de físicos que tentavam fomentar a sua disciplina num clima de grande adversidade. Com efeito, António de Oliveira Salazar (1889-1970), que era presidente do Conselho de Ministros desde 1932, não foi um defensor da ciência. A ideia deles era divulgar, à escala internacional, trabalhos originais em todas as áreas da Física tanto de carácter teórico como de carácter experimental e aplicado [1]. A revista *Nature*, com data de 15 de Julho de 1944, saudou deste modo a nova revista: “Numa época em que o estudo da ciência pura foi necessariamente substituído para muitos por atividades mais severas, é agradável perceber que ainda existem países onde está a crescer e são necessários novos meios de publicação” [2].

O novo título, que agora faz 80 anos, retirado do latim, foi certamente inspirado na revista, fundada pouco antes, em 1937, pelo matemático António Aniceto Monteiro (1907–1980) – a *Portugaliae Mathematica* [3] – cuja publicação prossegue hoje (ver <https://ems.press/journals/pm>). Os seus fundadores foram Armando Cyrillo Soares (1883–1950), Manuel Teles Antunes (1905–1965), Aurélio Marques da Silva (1905–1965) e Manuel Valadares (1904–1992). A primeira comissão de redacção era formada por estes nomes, tendo sido escolhido para editor Cyrillo Soares, que era não só director do referido Laboratório, mas também o mais velho de todos eles (foi um grande professor e gestor de ciência [4], embora não tenha alcançado na investigação o mesmo nível dos seus colegas da comissão). A iniciativa parece ter sido dos três mais jovens, que eram assistentes, tendo logo sido apoiada pelo professor [5]. Teles Antunes doutorou-se na Universidade de Madrid em 1936 num tema de Física Atómica. Marques da Silva e Valadares, ambos físicos nucleares, foram alunos de doutoramento em Paris de Marie Sklodowska Curie (1867–1934), mais conhecida por Madame Curie: Marques da Silva defendeu a sua tese doutoral em 1938 (após a morte de Curie foi orientado por Frédéric Joliot-Curie, 1900–1958), ao passo que Valadares o fez em 1933. Todos eles trabalhavam então no Laboratório de Física

da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (a revista esteve associada, naqueles seus primeiros tempos, àquela Faculdade), e num centro de investigação, o Centro de Estudos de Física, lá criado em 1940, mas com antecedentes, com o apoio do Instituto para a Alta Cultura (IAC), sucessor do Junta de Educação Nacional e de certo modo antecessora da Fundação para Ciência e Tecnologia. O editor, no preâmbulo, reconhecia o papel da instituição que então patrocinava a internacionalização da ciência portuguesa [6]:

“O envio ao estrangeiro pela instituição acima referida [IAC] de numerosos diplomados pelas nossas escolas superiores, mediante a concessão de bolsas de estudo que lhes têm permitido estágios de apreciável duração em centros de elevada cultura, as qualidades desses bolseiros que, de um modo geral, se têm afirmado aptos para as tarefas de investigação científica, instruindo-se e treinando-se nas técnicas dos trabalhos laboratoriais com proveito para alguns tão notável que os tornou competentes, não só para investigar com êxito, mas até para instruir outros nas referidas técnicas e atraí-los com entusiasmo para essa forma de actividade. são factores que têm vindo, desde o regresso a Portugal dos primeiros bolseiros, a modificar sensivelmente a situação do nosso país sob o ponto de vista da sua contribuição para a obra de desenvolvimento da ciência em que todas as nações civilizadas devem colaborar.”

A ciência portuguesa está em dívida para com aqueles professores que se esforçaram para desenvolver uma disciplina, que estava em declínio entre nós após o período áureo de Sebastião José de Carvalho e Melo (1699-1782), marquês de Pombal, que, em 1772, empreendeu uma profunda Reforma da Universidade de Coimbra, chamando professores de ciências do estrangeiro, designadamente de Pádua, na Itália, adquirindo novos equipamentos (o Gabinete de Física Experimental de Coimbra é famoso nos círculos científicos da Europa, ostentando desde 2014 a marca de «Sítio Histórico da Física», atribuída pela European Physical Society, EPS) e construindo novas instalações. Contudo, em 15 de Junho de 1947, o regime de Salazar demitiu, por motivos polí-

ticos [5], Valadares, Marques da Silva e outros cientistas, designadamente o seu colega Armando Gilbert (1914-1985), fundador em 1946 da *Gazeta de Física*, a “revista dos estudantes de física e dos físicos e técnico-físicos portugueses,” e Mário Silva (1899-1977), este professor na Universidade de Coimbra, impedindo-os de exercer quaisquer cargos públicos. O prejuízo dessa medida para a ciência nacional foi manifesto. Por exemplo, Valadares teve de ir para Paris, onde trabalhou com a filha da sua supervisora, Irène Joliot-Curie (1897-1956), casada com Frédéric Joliot-Curie, no Centre National de la Recherche Scientifique, em Paris, fundado em 1939 e reorganizado no final da Segunda Guerra. Vendo o afastamento dos seus colegas, Cyrillo Soares aposentou-se, deixando as suas funções de Director do Laboratório e de Centro na Faculdade de Ciências de Lisboa.

Durante a Segunda Guerra Mundial, alguns físicos estrangeiros procuraram refúgio em Portugal, nomeadamente o austríaco Guido Beck (1903-1988), que tinha sido durante quatro anos assistente de Werner Heisenberg (1901-1976) em Leipzig, na Alemanha, e bem treinado em relatividade e mecânica quântica, e o romeno-francês Alexandru Proca (1897-1955), autor de uma equação relativista para partículas de spin 1. No entanto, esses cientistas tiveram que abandonar o país em 1943 - Beck para a Argentina, onde foi professor, e Proca para a Inglaterra - sem que pudessem deixar grande herança científica. Curiosamente, ambos contribuíram para o primeiro volume da *Portugaliae Physica*, que só fechou em 1945, ostentando na capa a menção de “Instituto para a Alta Cultura. Centro de Estudos de Física. Faculdade de Ciências de Lisboa. Portugal”, antecedida do logotipo do IAC, assinalando o apoio recebido. Beck e Proca escreveram sobre teoria quântica relativista (respectivamente. “Remarque sur la notion de champ électromagnétique dans la théorie de Dirac” e “Sur un nouveau type d’électron”). O primeiro vinha com afiliação em Córdoba, na Argentina, e o segundo vinha sem afiliação. O professor de Física da Universidade de Madrid Julio Palacios (1891-1970) é o autor, nesse primeiro número, de três artigos, um sobre física médica (oftalmologia) e dois sobre electroquímica. Ele viria a desempenhar um papel no referido Centro de Estudos de Física na Faculdade de Ciências de Lisboa, que dirigiria a partir de 1947, preenchendo o vazio de poder, e num outro centro de investigação que criou no Instituto Português de Oncologia, após se ter mudado para Lisboa. De destacar a autoria feminina: um artigo de Lúgia Salgueiro (1917- 2009) e três de Marieta da Silveira (1918-2004), todos eles sobre radioactividade. A revista nunca publicou artigos em português, tendo o francês, no início, e o inglês, mais tarde, sido os únicos idiomas aceites com o objectivo óbvio de encontrar circulação internacional.

A revista passou a ser usada num serviço de intercâmbio com outras congéneres internacionais, não só de países culturalmente mais próximos (como Espanha e Brasil), como de outros mais afastados (como o Japão). Um sinal do êxito da revista foi a selecção de alguns artigos

lá publicados para serem incluídos numa lista bibliográfica contida numa antologia de textos de Física Nuclear organizada em 1947 por Robert Beyer, que a Fundação Gulbenkian publicaria em português muito mais tarde [7]. Foram publicados 21 volumes da *Portugaliae Physica*, com o total de cerca de 5000 páginas, de uma forma mais ou menos regular (na segunda metade dos anos de 1950 e na primeira parte dos anos de 1960 registou-se uma longa interrupção). Depois de Cyrillo Soares, foram seus directores Amaro Joaquim Monteiro (1898-1979), que também trabalhava no Laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa, de 1951 a 1954, e António da Silveira (1904-1985), que foi professor primeiro na Faculdade de Ciências de Lisboa e depois no Instituto Superior Técnico, de 1965 a 1975. Os volumes estão digitalizados na íntegra no sítio *web* da Sociedade Portuguesa de Física: https://www.spf.pt/magazines/portugaliae_phy

Físicos mundialmente famosos, como os vencedores do Prémio Nobel franceses Louis de Broglie (1892-1987), que há cem anos apresentou a famosa fórmula que relaciona comprimento de onda com quantidade de movimento de uma partícula, e Pierre-Gilles de Gennes (1932-2007), especialista em Física da Matéria Mole, publicaram na *Portugaliae Physica*. No início, o conteúdo era mais focado em Física Nuclear e Macrofísica, mas a revista publicaria artigos de outros ramos da física, tendo aberto pequenas secções dentro de cada volume dedicadas a várias especialidades, com interesse progressivo em Física da Matéria Condensada. Muitos físicos portugueses lá publicaram tentando aumentar a visibilidade da sua comunidade, que hoje trabalha inteiramente no plano internacional, como desejavam os fundadores da revista.

A Sociedade Portuguesa de Física (SPF) foi criada em 1974, tendo a sua escritura sido lavrada pouco tempo antes da Revolução, 25 de Abril, como uma separação natural da Sociedade Portuguesa de Química e Física, que existia desde 1911 (só com Química), tendo sido refundada (incluindo a Física) em 1926. A nova sociedade assumiu naturalmente o controlo da revista em 1979, tendo esta ficado sediada na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, sob a liderança de José Moreira de Araújo (1928-2020), que fez sair um volume por ano. O título deixou, porém, de ser publicado em 1992, quando era director José Manuel Machado da Silva (n. 1940), da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, sendo codirectores Maria Saete Leite, da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, e Alexandre Quintanilha, do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar da Universidade do Porto, para, em 1999, se juntar ao consórcio formado por várias revistas de física europeias que criou o *European Physical Journal* (em 1987, a SPF já se tinha juntado a outras sociedades suas congéneres, no quadro da Sociedade Europeia de Física (EPS), estabelecendo a revista *Europhysics Letters*, que hoje prossegue a sua publicação com amplo reconhecimento internacional). Uma série de revistas internacionais sob o nome comum de *European Physical Journal*, publicada também pela EPS,

foram endossadas pela SPF. Esta continuou sempre a publicar a sua revista *Gazeta de Física*, com artigos em português com um carácter mais pedagógico e divulgativo.

Em resumo, há 80 anos, três assistentes no Laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa que tinham estudado no estrangeiro conseguiram, com o apoio do seu Director, que o IAC subsidiasse uma nova publicação científica produzida em Portugal que, sendo escrita em línguas francas, permitiria divulgar a ciência que cá se fazia assim como publicar artigos de físicos estrangeiros. Foi um notável esforço de internacionalização num país que cientificamente estava muito atrasado. A revista só terminaria ao fim de 49 anos, sendo depois absorvida num projecto editorial europeu. Hoje o seu espólio é património que, em forma digital, está livremente à disposição de todos.

Referências

- [1] C. Fiolhais, "PORTUGALIAE PHYSICA, The Scientific Journal of the Portuguese Physical Society", https://www.epj.org/images/stories/archives/portugaliae_physica.pdf
- [2] "Portugaliae Physica", *Nature* 154, 79 (1944) <https://www.nature.com/articles/154079a0>
- [3] José Francisco Rodrigues, "Portugaliae Mathematica and its Exchange Library", *Bulletin #36 of the CIM International Center for Mathematics*, March 2016, pp. 4-9, <https://www.cim.pt/magazines/bulletin/4/article/39/pdf>
- [4] Manuel Valadares, "O Laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa, sob a direcção do Prof. Dr. A. Cyrillo Soares (1930-1947) e a investigação científica", *Gazeta de Física*, 2(4) (1950) 93-106 <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/55/article/255/pdf>
- [5] Maria Júlia Neto Gaspar, *A investigação no Laboratório de Física da Universidade de Lisboa (1929-1947)*. Tese de mestrado em História e Filosofia das Ciências- Lisboa: Universidade de Lisboa, 2008. <https://core.ac.uk/download/pdf/12423379.pdf>
- [6] Cyrillo Soares, Preâmbulo, *Portugaliae Physica*, vol I, 1943-1945, pp. V-VI, https://www.spf.pt/magazines/Portugaliae_Phy/484/pdf
- [7] Robert T. Beyer (org.), *Fundamentos da Física Nuclear*, Nota de Abert. de Fernando Bragança Gil. Trad. do original inglês de 1947, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.



Carlos Fiolhais, licenciou-se em Física na UC (1978) e doutorou-se em Física Teórica na Universidade Goethe, Frankfurt (1982). É professor catedrático aposentado da UC. É autor de mais de 60 livros científicos, pedagógicos e de divulgação científica e de numerosos artigos científicos, pedagógicos e de divulgação. Ganhou os Prémios: Medalha de Mérito do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (2021), José Mariano Gago da SPA (2018), Ciência Viva-Montepio (2017), o Globo de Ouro de Mérito e Excelência em Ciência da SIC (2005), a Ordem do Infante D. Henrique (2005), Inovação do Fórum III Milénio (2006) e Rómulo de Carvalho da Universidade de Évora (2006). Foi Director da Biblioteca Geral da UC, Coordenador da área do Conhecimento da Fundação Francisco Manuel dos Santos e Director do Rómulo - Centro Ciência Viva da UC. Dirige a colecção Ciência Aberta da Gradiva.

A phyphox no estudo do movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola

Albino Rafael Pinto¹, Carlos Saraiva²

¹Agrupamento de Escolas da Lixa, Felgueiras

²Agrupamento de Escolas de Trancoso, Trancoso

Introdução

Na Física do 10.º ano, na atividade laboratorial “AL 1.2. Movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola: transformações e transferências de energia”, é habitual deixar cair uma bola de uma determinada altura e usar um sistema de aquisição de dados para medir as correspondentes alturas de ressalto. Nesta atividade, de acordo com as aprendizagens essenciais (AE), é sugerido “investigar, experimentalmente, o movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola, com base em considerações energéticas”. Além disso, é importante “comparar energias dissipadas na colisão de uma mesma bola com diferentes superfícies, ou de bolas diferentes na mesma superfície, a partir dos declives das retas de regressão de gráficos da altura de ressalto em função da altura de queda”.

Neste artigo, explicamos como esta atividade laboratorial pode ser facilmente realizada com a aplicação phyphox instalada num telemóvel.

Material necessário

Bolas com elasticidades diferentes, telemóvel e a aplicação phyphox.

Procedimento

Instalar a aplicação gratuita phyphox que está disponível para Android e iOS. Ativar a aplicação no telemóvel e selecionar a opção “Colisão (IN)elástica” (ver destaque a verde na figura 1). Aparece a imagem da figura 2 com o triângulo branco intermitente situado na barra superior laranja (ver destaque a verde na figura 2). Ao clicar nesse triângulo, aparecem duas linhas verticais brancas o que significa que a aplicação está configurada para iniciar o registo (ver destaque a verde na figura 3).

Depois, deixar cair uma bola e a aplicação phyphox utiliza o “Cronómetro Acústico”, para medir o intervalo de tempo entre colisões sucessivas, da bola com a superfície da mesa, até um máximo de cinco. Com base nesses intervalos de tempo, considerando que o módulo da aceleração gravitacional é $9,81 \text{ m/s}^2$ e que a



Figura 1 - Ativação da phyphox.

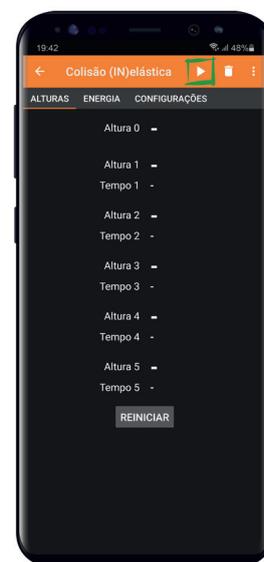


Figura 2 - Iniciar o registo.

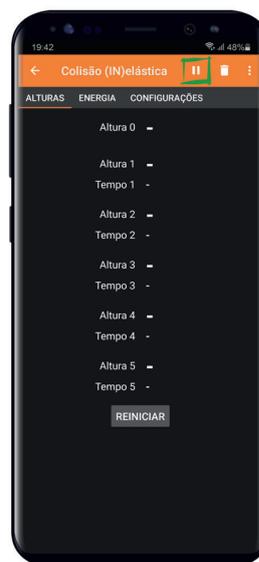


Figura 3 - O cronómetro está pronto.

resistência do ar é desprezável, a aplicação determina as alturas máximas atingidas pela bola em cada ressalto

(da Altura 1 até à Altura 5). A altura inicial de onde a bola foi largada (Altura 0) é calculada pela aplicação, admitindo que a percentagem de energia mecânica dissipada na primeira colisão é igual à da segunda (figura 4). Esta aproximação é aceitável, uma vez que a percentagem de energia dissipada é aproximadamente a mesma em todas as colisões. O “REINICIAR” da aplicação permite fazer novas medidas.

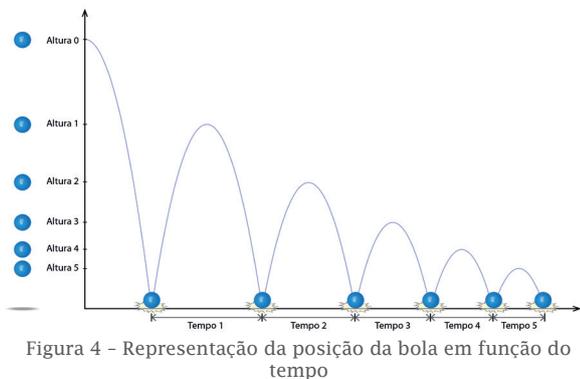


Figura 4 - Representação da posição da bola em função do tempo

Para a realização desta experiência, em geral, não é necessário alterar as configurações da aplicação. No entanto, se o nível de ruído na sala de aula for suficiente para ativar o “Cronómetro acústico”, podemos alterar o “Limiar” para um valor superior até um máximo de 1. Assim, a aplicação reage ao som produzido pela colisão e não ao ruído do ambiente. A localização do telemóvel deve estar o mais próximo possível da zona de impacto, para que os dados sejam registados convenientemente.



Figura 5 - Configurações da experiência.

Fizemos o vídeo “A phyphox no estudo do movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola”, que está disponível no Youtube e cujo link consta nas referências, para explicar o procedimento desta atividade e algumas funcionalidades muito interessantes da phyphox.

Resultados

Usámos uma bola reaproveitada dos desodorizantes “roll-on”, uma bola de golfe e outra de borracha. A superfície onde ocorreram as colisões foi o tampo de uma mesa feito de madeira. Apresentamos os resultados obtidos com a bola de desodorizante (figura 6).

A aplicação mede, apenas, o intervalo de tempo entre colisões sucessivas. Os restantes valores são calculados a partir destes. Por exemplo, ao dividir-se o “Tempo 1” por 2 obtém-se o tempo de queda que é igual ao de subida, ou seja,

$$t_{\text{queda}} = \frac{0,50408}{2} = 0,25204 \text{ s}$$



Figura 6 - Resultados obtidos com uma bola de desodorizante e uma superfície de madeira.

Apesar de no ecrã do telemóvel serem indicados os valores dos tempos com três casas decimais, a aplicação regista os valores com mais casas decimais. Ao clicar nos três pontos, no canto superior direito da barra laranja, podemos seleccionar “Exportados Dados” para ter acesso aos valores com mais casas decimais.

Considerando um referencial de eixo vertical, com origem no tampo da mesa, a equação que traduz o movimento da bola durante a queda é $y = \frac{1}{2}gt^2$, obtendo-se a altura

$$y = \frac{1}{2} \times 9,81 \times 0,25204^2 = 0,31159 \text{ m}$$

ou seja, aproximadamente igual ao valor 31,16 cm apresentado pela aplicação (Altura 1).

Admitindo que o movimento da bola ocorreu apenas na direção vertical e que existiu conservação de energia mecânica durante a queda e ressalto da bola, a percentagem de energia mecânica que permaneceu na bola em relação à energia mecânica antes da sua colisão com o tampo da mesa foi

$$\frac{E_{\text{Antes da colisão}}}{E_{\text{Depois da colisão}}} \times 100 = \frac{mgh_{\text{ressalto}}}{mgh_{\text{queda}}} \times 100 = \frac{h_{\text{ressalto}}}{h_{\text{queda}}} \times 100 \%$$



Figura 7 - Percentagem de energia mecânica que permaneceu na bola em cada colisão.

No caso da segunda colisão obteve-se o valor

$$\frac{h_2}{h_1} \times 100 = \frac{22,448}{31,159} \times 100 = 72,043 \%$$

que é aproximadamente 72,0 % (ver destaque a verde na figura 7).

Assumindo-se que este valor foi igual na primeira colisão, a aplicação determina a altura inicial (Altura 0) de onde a bola foi largada

$$\frac{h_1}{h_0} \times 100 = 72,043$$

$$h_0 = \frac{h_1 \times 100}{72,043} = \frac{31,159 \times 100}{72,043} = 43,251 \text{ cm}$$

sendo aproximadamente igual ao valor 43,25 cm apresentado pela aplicação (Altura 0).

Com base nos resultados, traçámos o gráfico da altura de ressalto em função da altura de queda para as bolas de borracha, de roll-on e de golfe, quando colidiram com o tampo da mesa. Durante a realização das experiências, a superfície da mesa encontrava-se fixa e praticamente indeformável.

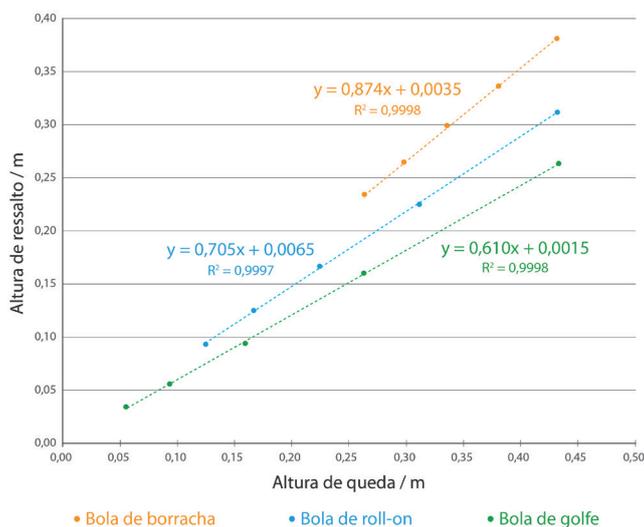


Figura 8 - Gráfico da altura de ressalto em função da altura de queda.

A razão entre a energia mecânica que permaneceu na bola após a colisão e a energia mecânica antes da sua colisão com o tampo da mesa, obtém-se a partir do declive da reta que melhor se ajusta ao conjunto de valores obtidos (figura 8). Assim, a percentagem da energia mecânica que permaneceu nas bolas de borracha, de roll-on e de golfe após cada colisão foi 87,4 %, 70,5 % e 61,0 %, respetivamente. Atendendo a que a diminuição da energia mecânica da bola de borracha após cada colisão com o tampo da mesa foi menor (12,6 %), podemos concluir que a elasticidade deste par de materiais é maior.

O coeficiente de restituição, e , é o quociente entre o módulo da velocidade imediatamente depois da colisão e o módulo da velocidade imediatamente antes da colisão. Considerando que a energia mecânica se conserva du-

rante a queda e ressalto da bola, o coeficiente de restituição também pode ser obtido com base nas alturas de queda e de ressalto, $e = \sqrt{\frac{h_{\text{ressalto}}}{h_{\text{queda}}}}$. Portanto, é igual à raiz quadrada do declive da reta do gráfico da figura 8.

O coeficiente de restituição é uma medida da energia que é dissipada e esta está relacionada com a elasticidade dos materiais em colisão. Quanto maior a elasticidade, maior será o coeficiente de restituição e menor a dissipação de energia. Para uma colisão perfeitamente elástica, o coeficiente de restituição é igual a 1 e não há dissipação de energia. Neste caso, a altura de queda será igual à de ressalto. Para uma colisão perfeitamente inelástica, o coeficiente de restituição é zero, sendo nula a altura de ressalto. Nas situações apresentadas, o coeficiente de restituição está compreendido entre 0 e 1, sendo 0,935 para a bola de borracha, 0,840 para a bola de roll-on e 0,781 para a bola de golfe. A percentagem de energia mecânica dissipada durante a colisão da bola de borracha com o tampo da mesa é menor (maior coeficiente de restituição), então maior é a elasticidade dos materiais em contacto.

Durante a colisão, parte da energia mecânica da bola transforma-se essencialmente em som e em energia interna da bola e da superfície, manifestando-se pelo aumento da temperatura das superfícies que contactam.

Os resultados obtidos nas experiências podem ser guardados através da leitura, a partir da phyphox, por QR code. Para isso, clicar em “+” e, de seguida, em “Adicionar experiência com código QR” como mostra a figura 9.



Figura 9 - Leitura dos QR codes a partir da phyphox.

Os QR codes das experiências para cada uma das bolas encontram-se na figura 10.



Figura 10 - QR codes das experiências.

Produzimos o vídeo “Regressão linear com a calculadora gráfica CASIO fx-CG50”, que está disponível no Youtube e cujo link está na referência 8 abaixo, para explicar como se faz a regressão linear.

Conclusão

A nossa proposta requer um equipamento de fácil acesso que é o telemóvel e, por isso, a atividade laboratorial “AL 1.2. Movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola: transformações e transferências de energia” pode ser facilmente realizada com a turma organizada em pequenos grupos de alunos. Os grupos devem usar bolas ou superfícies diferentes, para que possam comparar os resultados obtidos.

Esta experiência foi realizada com os nossos alunos do 10º ano em contexto de sala de aula. No entanto, atendendo à sua fácil execução e à simplicidade do equipamento necessário, esta atividade pode ser replicada pelos alunos em casa.

Num fenómeno de colisão, como o que foi apresentado, a altura de ressalto é diretamente proporcional à altura de queda e, por esta razão, o ajuste linear é o único que faz sentido. O coeficiente de correlação, R^2 , obtido nas três experiências é muito próximo de 1 (0,9997 e 0,9998). Numa experiência nunca se eliminam completamente os erros e há que considerar as inerentes incertezas dos equipamentos. Contudo, os valores obtidos aproximam-se do previsto no modelo teórico.

Agradecimento

Os autores agradecem à professora Eugénia Gomes, do Agrupamento de Escolas da Lixa, pela revisão do texto.



Albino Rafael Mesquita Pinto é professor no Agrupamento de Escolas da Lixa, Felgueiras, Licenciado em Física pela Universidade da Beira Interior e Mestre em Física pela Universidade do Minho. Desenvolve simulações utilizando ferramentas computacionais de acesso gratuito.

É autor do blog: <http://fisicanalixa.blogspot.com/>. Em 2022 ganhou o “Prémio André Freitas – Boas práticas pedagógicas” atribuído pela Sociedade Portuguesa de Física.



Carlos Alberto Alexandre Saraiva é Licenciado em Física pela Universidade de Coimbra, Mestre em Ensino de Física e Química pela Universidade de Aveiro e professor no Agrupamento de Escolas de Trancoso.

Os autores deste artigo são coautores de simulações, de artigos publicados na Gazeta de Física e de recursos digitais premiados pela Casa das Ciências. São embaixadores da aplicação phyphox que é uma referência mundial.

Referências

- [1] A aplicação “phyphox” está disponível para Android e iOS em: <https://phyphox.org/>

- [2] Albino Rafael Pinto e Carlos Saraiva, Determinação do valor da aceleração gravítica com a app phyphox, *Gazeta de Física*, vol. 1, pp. 18-20, 2021.
- [3] Vídeo “Determinação do valor da aceleração gravítica com a aplicação phyphox” disponível em: <https://youtu.be/TraWBZuXZV8>

- [4] Vídeo “O meu telemóvel é um osciloscópio - My smartphone is an oscilloscope” disponível em: <https://youtu.be/10Gg059wUxc>

- [5] Vídeo “O meu telemóvel é uma balança. My smartphone is a scale” disponível em: https://youtu.be/326_HGXrPA

- [6] Vídeo “Outras funcionalidades da phyphox - Other features of phyphox” disponível em: https://youtu.be/muD_lkm1g0w

- [7] Vídeo “A phyphox no estudo do movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola” disponível em: <https://youtu.be/GJ7poBvRayc>

- [8] Vídeo “Regressão linear com a calculadora gráfica CASIO fx-CG50” disponível em: <https://youtu.be/8x2HterQ43A>

- [9] Albino Rafael Pinto e Carlos Saraiva, Determinação do período e da frequência de um sinal sonoro com a aplicação phyphox, *Gazeta de Física*, vol. 46 nº 2, pp. 34-37, 2023.
- [10] Sebastian Staacks et al., Simple Time-of-Flight Measurement of the Speed of Sound Using Smartphones, *The Physics Teacher*, 57, February, pp. 112-113, 2019.
- [11] Sebastian Staacks et al, Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox, *Physics Education*, 53, July, pp. 1-6, 2018.
- [12] Sebastian Staacks et al., Collaborative smartphone experiments for large audiences with phyphox, *European Journal of Physics*, 43, 2022.
- [13] Vídeo “Smartphone-Experiment: (In)elastic Collision (en)” disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ikvtPDwV1FE>
- [14] D Dahnuss et al, Marbles and smartphone on physics laboratory: an investigation for finding coefficient of restitution, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1918 022005, 2021.
- [15] Jesi Pebralia, Determining the Coefficient of Restitution Through the “Bouncing Ball” Experiment using Phyphox, *International Journal of Applied Sciences and Smart Technologies*, Volume 4, Issue 1, pages 35-46, 2022.

A arte de medir o tempo

Carlos Herdeiro

Departamento de Matemática, Universidade de Aveiro

Determinar a posição de um navio no mar, sem pontos de referência terrestres, é um problema central da navegação. No Sec. XVII, enquanto que a determinação da latitude estava - em teoria - controlada pela mediação da altura angular da estrela polar (no hemisfério norte) com quadrantes, ou do Sol no ponto mais alto do dia, a determinação da longitude era um problema em aberto. Dada a importância da navegação marítima, em virtude da globalização ocorrida nos sec. XVI e XVII, em 1675, o rei Carlos II de Inglaterra ordenou a construção, em Greenwich, de um observatório real para se encontrar a “tão desejada longitude no mar alto”. Eventualmente, a localização deste observatório passará a determinar o meridiano de referência.

Apesar de algumas propostas curiosas (recomenda-se o excelente livro de Dava Sobel “Longitude”), o problema subsistiu nas décadas seguintes. Em 1714, na sequência de acidentes e naufrágios, uma petição para resolver o problema da longitude chega ao palácio de Westminster, apoiada por comerciantes e armadores. Foi criada uma comissão que pediu o conselho de Isaac Newton - na altura um homem venerado com 72 anos - e de Edmond Halley. Newton preparou alguns comentários escritos e apresentou-os, em pessoa, à dita comissão, enumerando as alternativas existentes para medir a longitude, afirmando que todas elas eram verdade, em teoria, mas “difíceis de executar”, à luz da tecnologia da época - um eufemismo (bastante britânico) para “impossível”.

Uma das alternativas enumeradas por Newton era o “método de cronometragem”, sobre o qual escreveu: “Um [método] é colocar um relógio que marque o tempo com exatidão. Mas, dado o movimento do navio, a variação da temperatura, da humidade e da gravidade em diferentes latitudes, um tal relógio ainda não foi feito.” A comissão da longitude incorporou o testemunho de Newton no relatório, mas não favoreceu qualquer método. Simplesmente instou o parlamento a promover uma solução, vinda de “qualquer campo da ciência ou arte e proposta por indivíduos de qualquer nacionalidade”, recompensando-a generosamente. Em conformidade, o parlamento emitiu o “Longitude act” a 8 de Julho de 1714, instaurando 3 prémios monetários de, respeti-

vamente, 20000/15000/10000 libras para um método prático e utilizável que determinasse a longitude com uma precisão de meio grau/dois terços de grau/um grau.

Para deliberar sobre propostas, foi instituído um “painel da longitude” incluindo personalidades do mais elevado prestígio: o astrónomo real, o presidente da Royal Society, o primeiro almirante da marinha, o “Speaker” do parlamento, e os professores Saviliano, Lucasiano e Plumiano das Universidade de Cambridge e Oxford. Este painel tinha também o poder para atribuir financiamento a inventores com ideias promissoras, mas sem recursos, tornando-o, possivelmente, na primeira agência oficial de financiamento de investigação e desenvolvimento da história. O painel da longitude manteve-se em funções até 1828 (!), tendo pago até à sua dissolução mais de 100 000 libras em prémios e financiamentos.

Qualquer metodologia proposta que passasse o crivo do painel, teria de ser implementada a bordo de um dos navios de Sua Majestade, navegando desde a Grã Bretanha até um porto nas Índias Ocidentais, escolhido pelo painel, sem perder a longitude para além dos limites mencionados. Obviamente, se o problema da longitude já era interessante antes do “Longitude Act”, o prémio aumentou exponencialmente as “soluções” propostas, na grande maioria prontamente excluídas.

Quem viria a resolver o problema da longitude, sem nunca ter sido inteiramente reconhecido em vida, foi um carpinteiro inglês, que se tornou relojoeiro, de nome John Harrison. Harrison fez o seu primeiro relógio de pêndulo em 1713 (com 20 anos), integralmente em madeira. Ao longo das duas décadas seguintes aperfeiçoou a sua arte relojoeira, integrando nos relógios diferentes mecanismos e materiais de modo, por exemplo, a minimizar o impacto das mudanças de temperatura na marcação do tempo.

Em 1730, aliciado pelo prémio da longitude, Harrison desenhou um relógio naval. Apresentou o seu desenho ao astrónomo real (Halley) que o recomendou ao relojoeiro mais conceituado do reino (George Graham) de quem obteve apoio financeiro para o seu desenvolvi-

mento, que demorou mais de 5 anos. O resultado, agora designado por H1 (figura 1 – esquerda, em cima) foi a primeira proposta que o painel considerou merecedora de um teste de mar, que consistiu numa viagem a ... Lisboa. O teste foi suficientemente bem sucedido para que o painel financiasse Harrison para melhorar o desenho.



Figura 1: O relógio H1 (esquerda, cima), H2 (direita, acima), H3 (esquerda, abaixo), H4 (direita, abaixo). Via Wikipedia (créditos: H1 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:H1_low_250.jpg, H2 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NMM_Longitude_editathon_09.JPG, H3 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Royal_Observatory,_Greenwich_2010_PD_14.JPG, H4 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:H4_low_250.jpg)

Seguiram-se décadas de melhoramentos; o H2 surge em 1741 (figura 1 - direita em cima) e o H3 em 1758 (figura 1 - esquerda em baixo), tentando diminuir o impacto de diversas fontes de erro e introduzindo mecanismos inovadores, como faixas bimetálicas, que transformavam variações de temperatura em variações mecânicas, compensando as alterações térmicas de molas do mecanismo.

Na década de 1750, contudo, Harrison observou que os relógios de bolso que estavam a ser produzidos por um discípulo de Graham (Thomas Mudge), usando um novo tipo de liga metálica eram competitivos com os seus grandes relógios navais em precisão e decide mudar o paradigma - adaptar as inovações mecânicas do H1-H3 num modelo tipo relógio de bolso - ainda que maior. Apresentado em 1759, o H4 (figura 1 - direita em baixo) tem um teste de mar em 1761, numa viagem entre Inglaterra e a Jamaica. Retirando o atraso observado em terra (um erro sistemático), de 24 segundos em 9 dias, nos 81 dias e 5 horas da viagem, o relógio atrasou apenas 5 segundos! Considerando a longitude conhe-

cida do Porto de Kingstone na Jamaica, esta imprecisão traduzia-se num erro de longitude de 1,25 minutos de arco (cerca de uma milha náutica), bem menos do que o meio grau exigido no prémio da Longitude.

Infelizmente para Harrison, o painel da Longitude atribuiu o teste bem sucedido "à sorte" e exigiu um novo teste, que foi ensombrado por um outro método (o método das distâncias lunares) apoiado por Nevil Maskelyne que entretanto se tornaria astrónomo real, tendo por isso voto na matéria da atribuição do prémio. Harrison lutou até ao final da sua vida (1776) por receber o prémio por inteiro, o que não aconteceu, tendo ainda iniciado trabalho num sucessor do H4 - o H5 - que não terminou. Mas o seu legado foi uma contribuição decisiva na marcação precisa do tempo e, conseqüentemente, para a relojoaria moderna, alavancando a vitória sobre o problema da Longitude. James Cook, por exemplo, levou uma cópia do H4 nas suas segunda (1772-75) e terceira (1776-79) viagens de exploração do Oceano Pacífico.

Celebrando este volume o prémio Nobel da física de 2023, que diria Harrison se soubesse que 250 anos depois, usando a luz, se conseguiria medir com precisão processos que ocorrem em escalas de tempo da ordem de alguns attossegundos!

Os pêndulos comunicadores!

Constança Providência¹, Rita Wolters²

¹ CFisUC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra

² Ilustradora

Material

- duas garrafas cheias de água
- cordão
- duas porcas
- linha
- cronómetro

Relógios e o pêndulo



Figura 1: Relógio de pêndulo.

Este ano, o prémio Nobel da Física foi atribuído aos físicos Pierre Agostini, Ferenc Krausz e Anne L'Huillier por terem proposto um método experimental que permite medir intervalos de tempo muito, muito pequenos. É um método muito importante para podermos compreender como se comportam as pequenas partículas que formam a matéria. Imagina medir com uma ampulheta de 3 minutos o tempo necessário para correr 100 metros: o campeão olímpico demora menos de 10 segundos... A ampulheta de 3 minutos não nos permite fazer aquela medição. O mesmo acontece com a duração dos processos que ocorrem dentro destas pequenas partículas como os átomos e moléculas: os métodos de medir o tempo não serviam. Desde tempos passados, o ser humano tem desenvolvido técnicas variadas para medir o tempo. Exemplos dos mais antigos são as ampulhetas, clepsidras, relógios de sol, relógios de pêndulo. Presentemente, todos carregamos um cronómetro no nosso telemóvel que mede centésimos de segundos...



Figura 2: Ampulheta.

E porque é que o pêndulo pode ser usado como um relógio? Faz a seguinte experiência com um colega: enche duas garrafas de água e estica um cordão entre os gargalos de ambas de modo que as garrafas fiquem a cerca de 30 cm de distância. Fixa as pontas do cordão a cada uma das garrafas. Estica bem o cordão afastando as garrafas. Este será o suporte do pêndulo. Precisas agora de linha e de um objeto como uma porca de aço que consigas prender na linha. Pendura a linha com a porca atando a linha ao cordão com um nó (figura 3). Já tens um pêndulo pronto a testar. Para verificares que realmente ele pode servir para medir o tempo coloca-o a oscilar. Conta 20 oscilações pedindo ao teu colega que meça o tempo num cronómetro: terás de avisar quando comesças a contar e quando paras. Faz esta medição 3 vezes. Quanto tempo decorreu? Confirma que um pêndulo pode ser usado como um relógio? E que intervalos de tempo o teu pêndulo consegue distinguir? Se 20 oscilações demorarem 15 segundos, consegues medir intervalos de tempo da ordem do segundo o que é muito bom: certamente melhor que a ampulheta de 3 minutos para medir o tempo que demoras a correr 100 metros.

Chamamos à frequência de oscilação do pêndulo a sua frequência de ressonância. Se não houvesse atrito ficaria a oscilar para sempre. Em situações especiais, o pêndulo consegue transferir a sua energia para outro pêndulo

irmão, isto é, com a mesma frequência de oscilação e depois voltar a recebê-la. Faz a seguinte experiência e verás como dois pêndulos irmãos colocados um ao lado do outro gostam de comunicar: diríamos que estão a conversar um com o outro.

Prepara um pêndulo igualzinho ao primeiro feito de uma porca igual e com um fio do mesmo comprimento e pendura-o ao lado do primeiro a menos de 10 cm de distância, tendo o cuidado de que ambos tenham o mesmo comprimento de fio: devem ser relógios iguais. Poderás verificar que se mudares o comprimento do fio do pêndulo o tempo que cada oscilação demora será diferente.

Agora prepara-te para observar os dois pêndulos a comunicar. Ambos os pêndulos devem estar parados no início. Coloca um dos pêndulos a oscilar e observa o que se passa a seguir.

O que observaste?

O primeiro pêndulo começa a ter oscilações cada vez mais pequenas mas entretanto o segundo pêndulo começa a oscilar, até que o primeiro quase para e o segundo oscila como inicialmente o primeiro pêndulo fazia. Continuando a observar vemos que passado pouco tempo volta a ser o primeiro pêndulo a oscilar e o segundo quase para. E este comportamento vai-se repetir várias vezes até que, devido ao atrito, ambos os pêndulos param.

Mas afinal o que se passou? A energia do primeiro pêndulo passa através do cordão para o segundo pêndulo. E depois volta a suceder o contrário e a energia que entretanto tinha sido transmitida ao segundo pêndulo volta a ser transmitida ao primeiro pêndulo. Estas transferências continuariam indefinidamente se a energia não se fosse perdendo, por atrito, nestes processos. Concordas que os pêndulos parece estarem a conversar um com o outro?

Como podes imaginar estes efeitos complicam a situação quando queremos construir um relógio mecânico que se mantenha certo. Temos que evitar qualquer mecanismo que possa originar estas transferências de energia.

Agradecimentos

Agradecemos à Lucília Brito pela leitura atenta e as sempre ótimas sugestões.

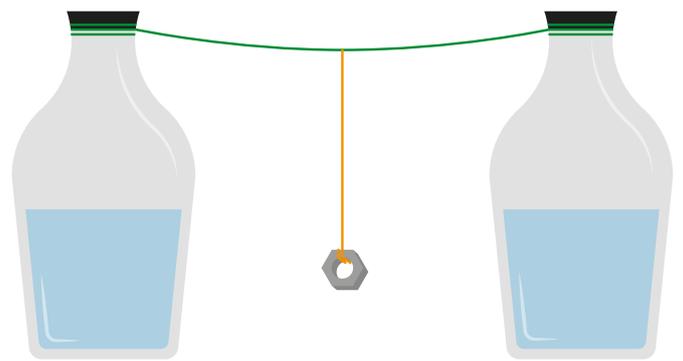


Figura 3: Montagem garrafas com um pêndulo

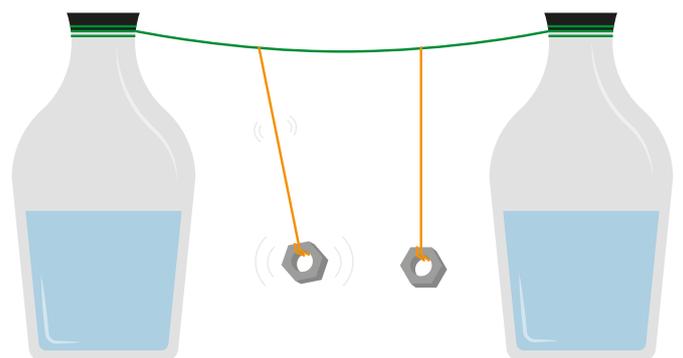
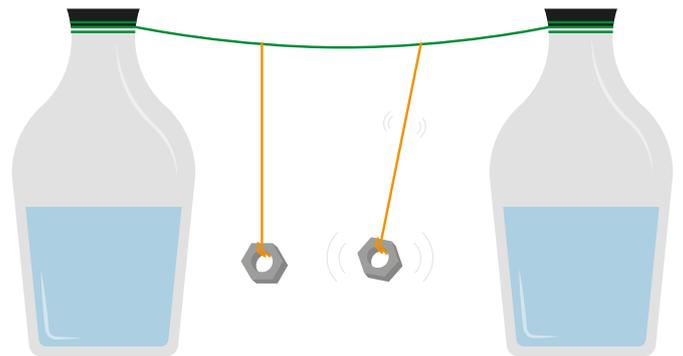
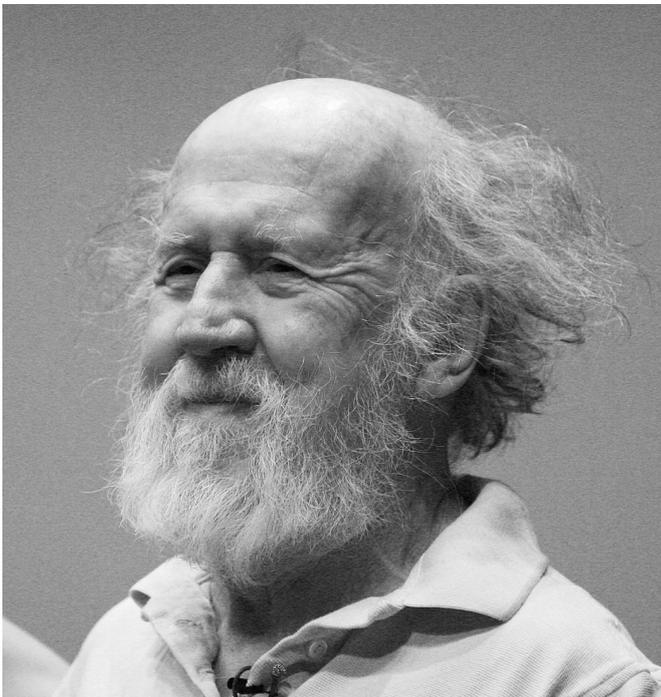


Figura 4: Montagem com dois pêndulos a) oscila o pêndulo da direita; b) oscila o pêndulo da esquerda

notícias

Obituário



Créditos: Art-en-Ciel via Wikimédia

Hubert Reeves

13 de Julho de 1932

13 de Outubro de 2023

A notícia da morte de Hubert Reeves (1932-2023) transportou-me para a minha adolescência. De facto, o seu livro "Um pouco mais de azul", editado pela Gradiva em 1983, marcou-me ao ponto de ser uma das sementes que me levou a querer ser físico e participar na maravilhosa aventura que é a descoberta do nosso universo.

Reeves dedicou-se ao estudo da formação dos elementos químicos nos primórdios do Universo e foi um divulgador de ciência conhecido à escala planetária. A sua paixão pela ciência não era separável do prazer de falar sobre ela. Segundo ele, a astronomia permitia compreender e fazer Física, mas também sonhar, o que tornava este ramo científico apelativo para o grande público. O que

o movia era a curiosidade, que não conhecia fronteiras. Numa entrevista à Gazeta de Física, declarava que sempre quis conhecer o universo onde vivemos, interessando-se desde novo por ciência, fosse a Física, a Astronomia ou a Botânica, tendo optado pela primeira apenas porque gostava de Matemática.

Seguramente porque entendia o quão especial era o nosso planeta, perdido na imensidão do universo, Reeves foi um ativista climático muito antes de se falar em ativistas climáticos. Preocupava-o a ameaça que paira sobre a beleza do nosso mundo, em risco pelas ações do ser humano.

Voltando à minha adolescência, fiquei maravilhado ao ler sobre a evolução das estrelas e como nós somos literalmente pó de estrelas, uma vez que é nelas que são forjados uma boa parte dos átomos de que somos feitos. Tal como acontecia a Reeves, o cosmos sempre me fez sonhar. Curiosamente, o título do livro que me marcou deve-se não ao autor, mas ao tradutor, que brilhantemente se inspirou no célebre poema de Mário de Sá-Carneiro para substituir o *Patience dans l'azur*, que Reeves roubou a Paul Valéry. E também por isso sou grato a Reeves, pois foi o seu livro que me levou, por caminhos ínvios, ao poeta. Tal como me levou a Baudelaire, que nos exortava a sacudir o fardo do tempo através da embriaguez de vinho, de poesia ou de virtude. Nos livros de Reeves, encontrei essa embriaguez de beleza e conhecimento.

Nunca conheci Hubert Reeves, mas os seus livros acompanharam-me ao longo das últimas décadas. Com ele aprendi que a ciência e a poesia são complementares. São diferentes formas de tentarmos compreender o universo onde nos calhou viver.

Nuno Castro

Departamento de Física da Escola de Ciências da Universidade do Minho

LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

Medalhas de Ouro, e Bronze para a equipa Portuguesa na Olimpíada Ibero-Americana de Física



Da esquerda para a direita: Miguel Barra de Almeida (Escola Secundária de São Pedro do Sul; medalha de ouro e quarto lugar na geral na Olimpíada Ibero-Americana de Física), Duarte Duarte (Colégio D. Diogo de Sousa, Braga; medalha de bronze na Olimpíada Ibero-Americana de Física), Dinis Marques da Costa (Escola Secundária Alves Martins, Viseu; medalha de bronze na Olimpíada Ibero-Americana de Física), Francisco Martins (Colégio Manuel Bernardes, Lisboa; medalha de bronze na Olimpíada Ibero-Americana de Física).

A equipa portuguesa que participou na Olimpíada Ibero-Americana de Física, que decorreu de 23 a 30 de setembro, arrecadou uma medalha de ouro e três medalhas de bronze numa excelente participação no evento.

Esta edição da Olimpíada Ibero-Americana de Física foi organizada pela Costa Rica e teve a participação de 68 estudantes matriculados no ensino secundário no ano letivo de 2022/2023 provenientes de 18 países do espaço ibero-americano. Incluiu problemas de termodinâmica, mecânica, astrofísica e de eletromagnetismo.

As Olimpíadas de Física são uma atividade promovida pela Sociedade Portuguesa de Física com o patrocínio do Ministério da Educação, da Agência Ciência Viva e da Fundação Calouste Gulbenkian.

A medalha de ouro foi conquistada por Miguel Barra de Almeida, que realizou a quarta melhor prova do evento, e as medalhas de bronze foram conquistadas por Duarte Luís Malheiro Duarte, Dinis Chaves Sousa Marques da Costa e por Francisco Carvalho Martins.

O Gabinete de Física de Daniel Bernoulli em Basileia é agora um local histórico distinguido pela EPS

Em 22 de setembro de 2023, foi inaugurado um novo Sítio Histórico da Sociedade Europeia de Física (EPS), neste caso, a casa do antigo Gabinete de Física de Daniel Bernoulli, em Basileia, na Suíça. Durante o período em que esteve na Universidade de Basileia, Daniel Bernoulli montou uma grande coleção de experiências de demonstração que ele usava para ensinar e realizar palestras públicas. A casa onde se encontrava o Gabinete e onde eram guardadas as experiências, ainda hoje pertence à Universidade de Basileia, sendo atualmente utilizada como centro de virologia clínica. A inauguração deste novo Sítio envolveu um programa de palestras dedicadas à vida e obra de Bernoulli, tendo terminado com o descerramento de uma placa comemorativa.

Para mais informações consultar:

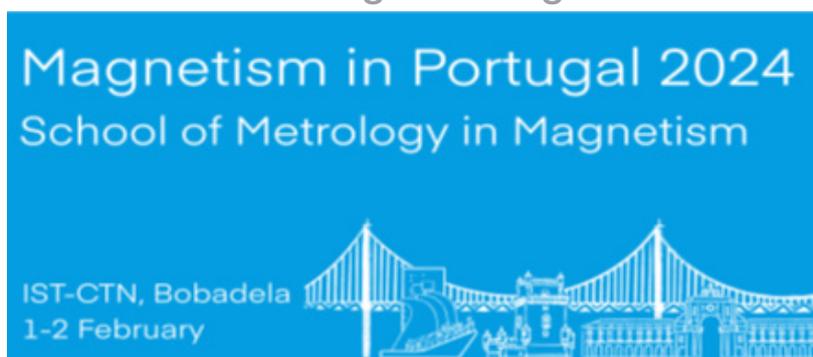
<https://www.eps.org/blogpost/751263/494431/Daniel-Bernoulli-s-Physics-Cabinet-in-Basel-distinguished-EPS-Historic-Site>

https://www.eps.org/page/distinction_sites



A casa que abrigou o Gabinete de Física de Daniel Bernoulli em Basileia, na Suíça.
Foto: Gina Gunaratnam/EPS.

Magnetismo em Portugal 2024 Escola de Metrologia em Magnetismo



De 1 a 2 de fevereiro de 2024, irá realizar-se a Escola *Magnetism in Portugal 2024 - School of Metrology in Magnetism*, que terá lugar na zona de Lisboa, em Bobadela. Esta escola de magnetismo é organizada pelo Campus Tecnológico e Nuclear do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa. O objetivo é oferecer aos estudantes, jovens investigadores, e à comunidade científica em geral, a oportunidade de conhecer o estado da arte e os desafios de medição numa ampla variedade de tópicos relacionados com o magnetismo, ao mesmo tempo que interagem com grupos de investigação ativos de diferentes instituições portuguesas.

A Escola está estruturada em três módulos distintos:

i) Aulas de conteúdo geral (45 min + 10 min de discussão).

Este módulo centra-se em conceitos gerais de metrologia, sistema de unidades em magnetismo, metrologia para medições quantitativas de propriedades magnéticas e instrumentação.

ii) Aulas “Hands on”. Serão efetuadas sessões práticas e tutoriais sobre 3 tópicos de trabalho, nomeadamente Magnetometria, Espectroscopia Mössbauer e Difração de Neutrões.

iii) Apresentação de poster (limitada a cerca de 30 posters). Com o objetivo de incentivar a discussão e a comunicação, os participantes terão a oportunidade de apresentar os resultados da sua investigação sob a forma de apresentação de poster.

Mais informações em: <https://magnetism24.sciencesconf.org/>

31.ª Conferência Geral da Física da Matéria Condensada CMD31, Braga, setembro de 2024



A Sociedade Portuguesa de Física e a Divisão de Física da Matéria Condensada da Sociedade Europeia de Física estão a organizar em conjunto a 31.ª Conferência Geral de Física da Matéria Condensada – CMD31, em Braga, entre os dias 2 e 6 de setembro de 2024.

Esta conferência é a maior conferência europeia nesta área científica, tendo habitualmente atraído mais de 600 participantes. Tal como nas edições anteriores, serão convidados investigadores de mérito internacional, para proferirem palestras plenárias e semi-plenárias em tópicos de especial relevância e com grande impacto tanto ao nível fundamental como aplicado e tecnológico. Os participantes desta conferência também podem propor minicolóquios nas suas respetivas áreas de especialidade,

alargando assim os temas desta conferência e atraindo mais investigadores para a mesma. As Conferências Gerais da Física da Matéria Condensada têm sido capazes de mostrar o dinamismo da comunidade científica local, assim como da cultura, história e tradições nacionais dos países que as acolhem. A conferência atrai também estudantes de doutoramento e jovens investigadores, facultando-lhes um fórum internacional para apresentarem o seu trabalho, abrindo oportunidades para o encontro e o estabelecimento de colaborações científicas.

Atualmente encontra-se abertas as candidaturas para os minicolóquios, até 26 de janeiro de 2024. Para mais informações, consultar: <https://cmd31.sci-meet.net/minicolloquia>

5.^a Conferência de Física dos Países de Língua Portuguesa A Física para um desenvolvimento inclusivo e sustentável

Em 2024, será realizada a 5.^a Conferência de Física dos Países de Língua Portuguesa. Esta série de conferências já foi realizada em países da Comunidade de Países da Língua Portuguesa: 2010 em Maputo, 2012 em Rio de Janeiro, 2019 em São Tomé e 2022 em Cabo Verde. A 5.^a conferência será realizada em 2024 em Coimbra, entre os dias 7 e 10 de setembro.

O objetivo desta série de conferências é a partilha de conhecimento científico e técnico entre países de diferentes saberes, mas com muito em comum desde a língua aos desafios da atualidade.

Para mais informações, consultar: <https://5cfplp.sci-meet.net/pt>



Encerramento do Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável e os Princípios e Políticas na Colaboração Científica Internacional



IYBSSD

Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável

Ocorreu no passado dia 15 de setembro a cerimónia de encerramento do Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável (IYBSSD), no CERN, em Genebra, na Suíça. Entre os temas debatidos, refira-se a adoção recente de uma resolução pela Assembleia Geral das Nações Unidas, no dia 25 de agosto de 2023, proclamando 2024-2033 como a Década Internacional das Ciências para o Desenvolvimento Sustentável. Para mais informações, consultar <https://www.iybssd2022.org/en/events/closing-ceremony/>

Como evento prévio à cerimónia de encerramento do IYBSSD, foi efetuada no dia 14 de dezembro uma reunião do Painel Internacional de Física, constituído no âmbito da discussão sobre Ciências Aberta promovido pela UNESCO e CERN. Em resultado dessa reunião foi emitida uma Declaração de varias sociedades de Física a nível internacional, entre elas a Sociedade Europeia de Física (EPS), sobre os princípios e políticas a implementar para uma colaboração científica internacional bem-sucedida, cujo original em inglês se transcreve em seguida:

Principles & Policies for International Scientific Collaboration

December 2023

Science, by its very nature, transcends national boundaries. International scientific collaboration has led to great advances in our understanding of our world, our universe, and our shared global challenges. International scientific partnerships enable breakthrough discoveries that help humanity tackle these global challenges. Likewise, international scientific cooperation fosters mutual understanding across political and ideological divisions.

Research provides the best impact when its results are communicated broadly, for the benefit of all. At the same time, participating scientists must balance open scientific cooperation with national security interests. Researchers must also respect intellectual property agreements, local laws and regulations, and be respectful of the rich cultural diversity of the people who conduct research. Consequently, the undersigned national physics societies and international physics organizations **call upon their members and upon scientists across the globe** to abide by the following principles that are crucial to successful international scientific cooperation:

- **Integrity:** Scientists should adhere to the professional values, principles, and best practices that underpin our research communities and provide the basis for a fair, open, and trusted research environment. Failure to adhere to these principles imperils the research enterprise and its many benefits.
- **Transparency:** An open science environment requires transparency among all partners. Scientists should disclose all funding sources, individuals, and organizations involved in their collaborations, as well as any requirements for the flow of information and documents within their collaborations, among the participants, and to their governments.
- **Reciprocity:** Scientists and institutions should exchange materials, knowledge, data, along with access to facilities, research sites, and training, in a manner that benefits all collaborating partners.

Likewise, to realize fully the national benefits of international scientific partnerships, the undersigned **call upon their governments and those who promote policies and practices that advance international scientific collaboration**, to:

- Enact travel and visa policies that enable scientific interactions between peers and partners;
- Assess policies to ensure that they do not result in unnecessary or unintended barriers to multinational research collaborations; and
- Foster opportunities for international research collaboration and exchanges for early-career scientists.

Lastly, the signatories urge all stakeholders—national governments, research institutions, and professional societies—to disseminate clear and well-communicated standards that define the responsible conduct of scientific research. Moreover, the signatories encourage all scientists worldwide to not only uphold the principles expressed above, but also to highlight their significance as cornerstones of professional conduct and ethical behavior.

American Institute of Physics
American Physical Society
Canadian Association of Physicists
Chinese Physical Society
European Physical Society
German Physical Society
Indian Physics Association
Institute of Physics for the UK and Ireland

International Union of Pure and Applied Physics
Japan Society of Applied Physics
Netherlands' Physical Society
Optica (formerly OSA)
The Physical Society of Japan
Società Italiana di Fisica
Société Française de Physique
South African Institute of Physics

FISICA 2024

24.^a Conferência Nacional de Física e o 34.^o Encontro Ibérico para o Ensino da Física



A 24.^a Conferência Nacional de Física e o 34.^o Encontro Ibérico para o Ensino da Física irá decorrer em 2024, de 11 a 14 de Setembro, em Coimbra. Esta conferência bienal, organizada pela Sociedade Portuguesa de Física, tem sido um fórum de discussão e uma oportunidade de reunir uma grande comunidade de físicos a nível nacional, abrangendo docentes do Ensino Básico e Secundário, Investigadores e Professores Universitários e

alunos de Mestrado e Doutoramento.

Em 2024, a conferência terá uma edição especial, uma vez que nela irá celebrar o 50.^o aniversário da fundação da SPF. Os temas principais da conferência são os Lasers Ultra-Rápidos, a Computação Quântica, a Inteligência Artificial na Física e os 50 Anos da Sociedade Portuguesa de Física.

Participe na Sociedade Portuguesa de Física. Faça-se Sócio!

Ajude a Sociedade Portuguesa de Física. Faça-se Sócio !

Formulário de Inscrição (preencher e enviar para morada da Sociedade Portuguesa de Física, abaixo)
Formulário de inscrição também em <https://www.spf.pt/adesao>

Nome Completo: _____
 Data de Nascimento: ____/____/____
 Morada: _____
 Cód. Postal: ____-____ Localidade: _____
 N. Contribuinte: _____ País: _____
 Telefone: _____ E-mail: _____
 Habilitações Literárias: _____ Ano de obtenção grau. _____
 Instituição Ensino: _____
 Profissão: _____ Cargo: _____ Categoria: _____
 Empresa/Instituição: _____
 Morada: _____ Cód. Postal: ____-____
 Correspondência: Casa Trabalho; Delegação: Norte Centro Sul e Ilhas

Valor anual da quota

Sócio Efetivo	40,00 EUR
Sócio Efetivo - web (acesso online à Gazeta de Física)	30,00 EUR
Sócio Estudante	20,00 EUR
Sócio Estudante - web (acesso online à Gazeta de Física)	10,00 EUR
Sócio Cônjuge - web (acesso online à Gazeta de Física)	10,00 EUR
Sócio Coletivo Escola (Escolas Básicas e Secundárias)	40,00 EUR
Sócio Coletivo Empresa, Departamentos e Centros de Investigação	200,00 EUR

Divisões/Secções/Grupos

SPF	EPS
<input type="checkbox"/> Educação	<input type="checkbox"/> Grupo - Physics Education
<input type="checkbox"/> Física Atómica e Molecular	<input type="checkbox"/> Grupo - History of Physics
<input type="checkbox"/> Física da Matéria Condensada	<input type="checkbox"/> Grupo - Experimental Physics Control Systems
<input type="checkbox"/> Física de Plasmas	<input type="checkbox"/> Grupo - Computational Physics
<input type="checkbox"/> Física Médica	<input type="checkbox"/> Grupo - Accelerators
<input type="checkbox"/> Física Nuclear	<input type="checkbox"/> Grupo - Physics for development
<input type="checkbox"/> Meteorologia, Geofísica e Oceanografia	<input type="checkbox"/> Astrophysics - Solar Physics
<input type="checkbox"/> Ótica e Lasers	<input type="checkbox"/> Atomic and Molecular Physics - Atomic Spectroscopy (EGAS)
<input type="checkbox"/> Física de Partículas	<input type="checkbox"/> Atomic and Molecular Physics - Chemical Physics
<input type="checkbox"/> História da Física	<input type="checkbox"/> Atomic and Molecular Physics - Electronic and Atomic Collisions
<input type="checkbox"/> Física Aplicada à Engenharia	<input type="checkbox"/> Atomic and Molecular Physics - Molecular Physics
<input type="checkbox"/> Física em Empresa	<input type="checkbox"/> Condensed Matter - Surfaces and Interfaces
	<input type="checkbox"/> Condensed Matter - Liquids
	<input type="checkbox"/> Condensed Matter - Low Temperature Physics
	<input type="checkbox"/> Condensed Matter - Macromolecular Physics
	<input type="checkbox"/> Condensed Matter - Magnetism
	<input type="checkbox"/> Condensed Matter - Semiconductors and Insulators
	<input type="checkbox"/> Condensed Matter - Metals
	<input type="checkbox"/> High Energy and Particle Physics
	<input type="checkbox"/> Nuclear Physics
	<input type="checkbox"/> Plasma Physics
	<input type="checkbox"/> Quantum Electronics and Optics

Modos de Pagamento das quotas

IBAN: PT50 0033 0000 0008 5208 9720 5 (Millennium Bcp)
Cheque/vale postal
 Sociedade Portuguesa de Física
 Av. da República, 45, 3ESQ - 1050-187 LISBOA
 +351 217993665 / 964531520

TABELA DE PUBLICIDADE 2018

GAZETA DA
física

Para os físicos e amigos da física.
WWW.GAZETADEFISICA.SPF.PT



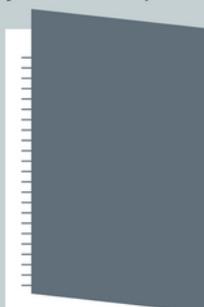
A) verso da capa



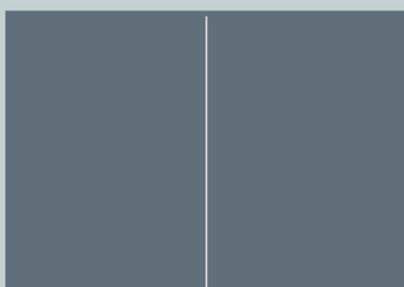
B) destacável/folha



C) verso da contracapa



D) contracapa



E) página dupla



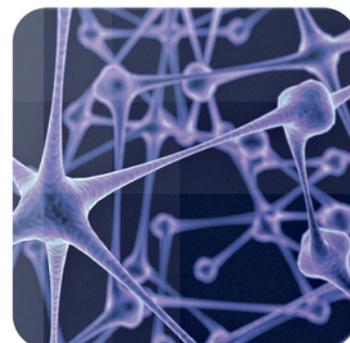
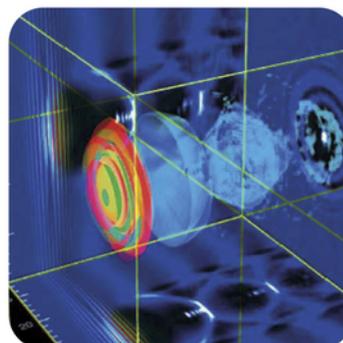
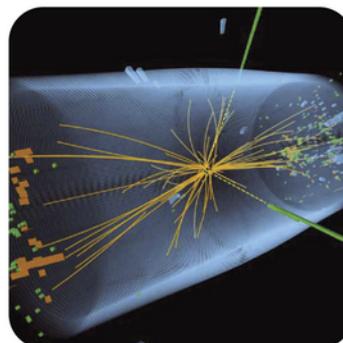
F) página inteira



G)
coluna ou
1/2 página



H)
1/4 página
ou faixa



Aos preços da tabela acresce o IVA à taxa em vigor

Descontos de quantidade:
2X: -20% 3X: -25% 4X: -30%

Tiragem anual 2018:
3000 exemplares

Contactos:
Sociedade Portuguesa de Física
Av. República 45, 3ª eq. 1050-187 Lisboa
Tel: 351 21 799 36 65; spf@spf.pt

Posição	Preço (Euros)	
	Ímpar	Par
A	1500	
B	1500	
C	1500	
D	2000	
E	2000	
F	1000	900
G	650	550
H	400	350
banner website	100/mês	



IFIMUP
 Instituto de Física de
 Materiais Avançados,
 Nanotecnologia e Fotónica
 Universidade do Porto

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA E ASTRONOMIA
 RUA DO CAMPO ALEGRE, 687
 4169-007 PORTO, PT

WWW.IFIMUP.UP.PT

T. +351.220 402 362
 E-mail: ifimup@fc.up.pt



ViBio
 Vibrational and ultra-fast
 laser spectroscopies for
 Biomedicine



IFIMUP·PhysEd
 Physics education
 and dissemination



IFIMUP
 Instituto de Física de
 Materiais Avançados,
 Nanotecnologia e Fotónica
 Universidade do Porto



IFIMUP·AdEM
 Advanced Energy
 Materials

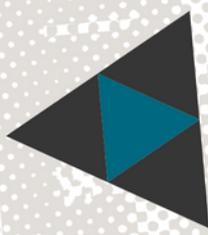


IFIMUP·ViBio
 Vibrational and ultra-fast
 laser spectroscopies for
 Biomedicine



IFIMUP·PhysEd
 Physics education
 and dissemination

Instituto de Física de
 Materiais Avançados,
 Nanotecnologia e Fotónica
 Universidade do Porto



IFIMUP·QM
 Quantum Materials



IFIMUP·AdEM
 Advanced Energy
 Materials



IFIMUP·PhysEd
 Physics education
 and dissemination



IFIMUP
 Instituto de Física de
 Materiais Avançados,
 Nanotecnologia e Fotónica
 Universidade do Porto



IFIMUP·QM
 Quantum Materials



IFIMUP·ViBio
 Vibrational and ultra-fast
 laser spectroscopies for
 Biomedicine



IFIMUP·PhysEd
 Physics education
 and dissemination



IFIMUP
 Instituto de Física de
 Materiais Avançados,
 Nanotecnologia e Fotónica
 Universidade do Porto