



## **Marie Curie: pioneira na descoberta da radioactividade**

**Espectroscopia Mössbauer:  
da Física Nuclear à verificação de efeitos relativísticos**

# Índice

artigo geral

- 2 **Marie Curie: pioneira na descoberta da radioactividade,** dos primeiros radionuclidos e suas aplicações em medicina

Fernando P. Carvalho

artigo geral

- 10 **Espectroscopia Mössbauer:** da Física Nuclear à verificação de efeitos relativísticos

Manoel José Mendes Pires

física e sociedade

- 14 **O bilião e a nomenclatura dos grandes números:** regra “ $N$ ” e regra “ $n-1$ ”

Guilherme de Almeida

crónicas

- 16 **Ver as coisas** por dentro

Carlos Fiolhais

gazeta ao laboratório

- 17 **Construção de recetores rádio** como introdução à Física das Telecomunicações - parte I

Alexandre Aibéo, Nuno André, Ricardo Gama

livros e multimédia

- 21 **Um livro indispensável** a um professor de Física e Química

Maria Helena Caldeira

sala de professores/alunos

- 23 **Lei do inverso do quadrado da distância:** uma abordagem económica usando o retroprojektor

Adriano Sampaio e Sousa, Paulo Simeão Carvalho

- 27 **Notícias**

onda e corpúsculo

- 31 **Acerca do Prémio Nobel** de Física de 2013

Filipe Moura

Publicação Trimestral Subsidiada

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

No momento em que escrevo, a comunidade internacional de físicos é percorrida por um enorme entusiasmo. Ainda mal estávamos refeitos do anúncio da descoberta do bóson de Higgs, ou da recente demonstração de fusão nuclear usando lasers, quando outro resultado de enorme impacto é divulgado pelos media de todo o mundo: a detecção de ondas gravitacionais primordiais, vestígio dos primeiros instantes de um Universo em inflação.

Esta descoberta vem culminar quase um século de intenso trabalho teórico, desde que Einstein, na sua formulação da teoria da relatividade generalizada em 1916, previu a existência de ondas gravitacionais. E é mais outra impressionante constatação de como a física, e a ciência de um modo geral, nos dá a chave para descrever e compreender o maior mistério de todos: como viemos aqui parar.

Em contraste, a ciência também esteve em destaque nos media nacionais no início deste ano, mas por razões menos felizes, que não interessa agora enumerar. Apenas reparar que, em contraciclo com o paradigma actual que aparenta exigir que a ciência se resuma a uma actividade utilitária, continuamos a fazer descobertas fundamentais. Damos por encerrados mistérios com décadas, ao mesmo tempo que abrimos portas para novas questões.

Importa que os mais novos tenham a noção de que podem ter um papel activo nesta aventura. A mim preocupa-me bastante a possibilidade de haver por aí jovens candidatos a cientista que se sintam tentados a desistir e a optar por outra carreira. Que fiquem com a percepção de que ser cientista em Portugal é hoje uma tarefa demasiado ingrata, incerta ou impossível. Bom, ser cientista não é fácil

– nunca foi, tal como nunca foi fácil exercer muitas outras profissões em que cada dia é diferente e traz desafios diferentes dos do dia anterior. Mas não é precisamente por gostar de resolver desafios que escolhemos este caminho?

Aqui na Gazeta esforçamo-nos por cumprir a nossa missão de divulgar aquilo que de melhor os nossos físicos fazem. Para mostrar que há em Portugal uma comunidade activa e entusiasmada, que cobre um grande número de áreas de investigação e colabora com os melhores grupos a nível mundial – ou que são mesmo os melhores. Para mostrar que há professores motivados e inspiradores que, em cada dia, imaginam novas ferramentas e novos métodos para melhorar o ensino. E que há jovens talentosos que escolhem a nossa revista para partilhar os seus trabalhos e as suas ideias.

Convido-vos à leitura de mais este número, que inaugura o 68.º ano de publicação da revista, bem como o 40.º aniversário da Sociedade Portuguesa de Física. E recordo que a Gazeta se tem vindo a expandir para novas plataformas, desde a página de Facebook, que consegue ser uma das principais páginas de ciência em português, até à disponibilização da revista para leitura em dispositivos móveis.

E sim, fica desde já prometido que as ondas gravitacionais serão o tema de um próximo número!

Gonçalo Figueira

*Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.*

## Ficha Técnica

### Propriedade

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

### Equipa

Gonçalo Figueira (Director Editorial)  
Filipe Moura (Editor)  
Olivier Pellegrino (Editor)

### Secretariado

Maria José Couceiro - mjose@spf.pt

### Colunistas e Colaboradores regulares

Ana Simões, Carlos Fiolhais, Constança Providência

### Colaboraram também neste número

Adriano Sampaio e Sousa, Alexandre Aibeo, Fernando P. Carvalho, Guilherme de Almeida, Manoel J. M. Pires, Maria Helena Caldeira, Maria João Santos, Nuno André, Paulo Simeão Carvalho, Ricardo Gama

### Design / Produção Gráfica

Dossier, Comunicação e Imagem  
www.dossier.com.pt  
NIPC 501094628

Registo ICS 110856

ISSN 0396-3561

Depósito Legal 51419/91

Tiragem 1.800 Ex.

Publicação Trimestral Subsidiada

As opiniões dos autores não representam necessariamente posições da SPF.

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

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

Assinaturas Grátis aos Sócios da SPF.

# Marie Curie: pioneira na descoberta da radioactividade, dos primeiros radionuclidos e suas aplicações em medicina

Fernando P. Carvalho

Instituto Superior Técnico/Campus Tecnológico Nuclear, Universidade de Lisboa  
carvalho@itn.pt

## Sumário

Os trabalhos científicos de Marie Curie sobre radioactividade e, em particular, a descoberta e caracterização do rádio e do polónio, os primeiros elementos radioactivos descobertos através das radiações, deram início a uma nova época da química e da física nuclear e das suas aplicações em medicina. A energia de Marie Curie na actividade de investigação científica e o empenho que colocou na aplicação das suas descobertas modificaram de forma significativa o tratamento de doenças da pele e tumores, e deram início às disciplinas de radioterapia e curieterapia (actual braquiterapia). Este artigo recorda os principais passos da descoberta da radioactividade e dos novos elementos radioactivos e o nascimento da radioterapia, colocados no contexto científico da época.

## Summary

*The scientific work carried out by Marie Curie on radioactivity and in particular the discovery and characterization of radium and polonium, the first radioactive elements discovered through radiation, started a new era in chemistry and nuclear physics sciences and their applications in medicine. The strength of Marie Curie in scientific research and her engagement in the application of her scientific discoveries imprinted the treatment of skin diseases and tumours and paved the way for the foundation of radiotherapy and curietherapy (currently named brachytherapy). This article summarizes the early steps towards the discovery of radioactivity, new radioactive elements and the dawn of radiotherapy placed in the scientific context of the epoch.*

## Introdução

A data de nascimento de Marie Curie, 7 de Novembro, foi agora escolhida para a celebração do Dia Internacional da Física Médica. Não poderia ser mais apropriado. Ainda recentemente se celebrou o centenário do Prémio Nobel de Química atribuído em 1911 a Marie Curie, uma efeméride



Fig. 1 - Marie Curie com 44 anos, fotografada no ano de atribuição do Prémio Nobel da Química.

digna de nota e escolhida pela UNESCO, organismo das Nações Unidas, para lema do Ano Internacional da Química em 2011. Estas escolhas não poderiam ser mais oportunas pois estamos numa época em que progredem rapidamente as aplicações de radioisótopos na medicina e se procura o reforço da utilização do átomo e da radioactividade para a paz. E, sobretudo, porque é, hoje e sempre, oportuno relembrar as descobertas científicas de Marie Curie e a importância que essas descobertas tiveram no contexto científico do seu tempo. É igualmente importante destacar o exemplo do seu trabalho científico, fundamental e aplicado, bem como o significativo contributo que esse trabalho trouxe para a melhoria das nossas vidas. Marie Curie foi, também,



uma mulher multifacetada e atenta aos problemas do seu tempo, cuja acção a coloca entre as mulheres que mais contribuíram para influenciar o mundo. Este artigo passa em revista os factos mais significativos da vida de Marie Curie e o seu contributo para a ciência e a sociedade.

### Breve nota biográfica de Marie Curie (1867-1934)

Maria Sklodovska (Curie) nasceu a 7 Novembro de 1867 em Varsóvia, na Polónia. Filha de um professor de matemática e física e de uma directora de escola, era a mais nova dos cinco filhos do casal. A Polónia tinha perdido a independência e era nessa época dominada pela Rússia czarista. As mulheres não tinham acesso a uma carreira profissional e o mundo universitário e científico era essencialmente um domínio masculino. A intelectualidade dos países do leste europeu, tal como de outros países, sonhava em imigrar para França. Paris, a “Cidade das Luzes”, era então o centro das artes e ciências para onde convergiam intelectuais, artistas e estudantes provenientes de todo o mundo.

Maria Sklodovska viria a concluir em Paris a Licenciatura de Física na Faculté de Sciences, no ano de 1893, classificando-se em primeiro lugar. No ano seguinte concluiu a Licenciatura em Matemática, classificando-se em segundo lugar. Maria estava decidida a seguir uma carreira científica e em 1894 procurava um tema de doutoramento. Isso levou-a ao conhecimento de Pierre Curie, professor e investigador na Sorbonne, em cujo laboratório obteve trabalho e com quem viria a casar um ano mais tarde.

Em 1896 classificou-se em primeiro lugar no concurso para agregação em Física, habilitando-se assim a ensinar física a alunos do sexo feminino.

Em 1897 nasce a sua filha, Irene, que viria a seguir também uma carreira científica. A sua segunda filha, Eve, nascerá em 1904.

Marie Sklodovska Curie prosseguiu o seu trabalho no laboratório de Pierre, onde decide escolher como tema de tese o estudo dos “raios urânicos”, radiação emitida pelo urânio e descoberta por Henri Becquerel um par de anos antes.

Em 1898 apercebeu-se que o minério de urânio, a pechblenda, é mais radioactivo que o urânio, o que a levou a supor que existiriam outros elementos radioactivos. Descobre dois desses elementos, que o casal Curie baptiza de polónio e de rádio.

Em 1903 defende na Universidade La Sorbonne em Paris a sua Tese de Doutoramento, “Recherches sur les substances radioactives”. Nesse ano recebe, juntamente com o marido Pierre Curie e com Henri Becquerel, o Prémio Nobel da Física pela descoberta da radioactividade natural. Marie Curie é a primeira mulher a receber o Prémio Nobel.

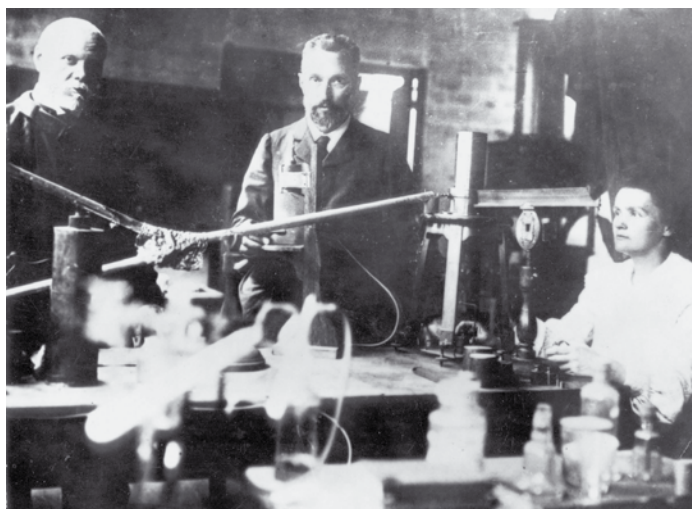


Fig. 2 - Marie Curie e Pierre Curie (ao centro), com o seu técnico de laboratório. Sobre a bancada, o electrómetro de Curie.

Em 1906, Pierre é atropelado mortalmente por uma carruagem de cavalos, em Paris. Marie Curie sucede-lhe na chefia do laboratório e é contratada como *Chargée de Cours*<sup>1</sup>, sendo a primeira mulher a ensinar na Universidade La Sorbonne.

Em 1910 publica o seu “Traité sur la Radioactivité”.

Em 1911 enfrenta o escândalo, que na época alcançou grandes proporções, de ter uma ligação amorosa com o físico Paul Langevin. A Académie des Sciences rejeita a sua candidatura para membro. Em Novembro desse ano é-lhe atribuído o Prémio Nobel da Química pelos seus trabalhos de separação e identificação do polónio e do rádio.

Em 1914 é inaugurado o Instituto do Rádio, mais tarde designado Instituto Curie, sendo constituído por um laboratório de estudos sobre a radioactividade chefiado por Marie Curie, e por um laboratório de aplicações do rádio na biologia e medicina.

Em 1921 visita os Estados Unidos da América onde é recebida em apoteose, e onde recebe a oferta de um grama de rádio que utilizará no Instituto do Rádio. Voltará aos EUA de novo em 1929.

Falece em 1934, em França, vítima de leucemia causada por exposição excessiva ao rádio e às radiações ionizantes.

Em 1995, as suas cinzas, bem como as de Pierre Curie, são transferidas para o Panteão, em Paris, onde repousam os cidadãos mais ilustres da Nação Francesa [1-4].

### A descoberta da radioactividade

Os raios X, descobertos pelo físico alemão Wilhelm Röntgen, eram conhecidos desde 1895 e sobre eles até ao final de 1896 foram publicados cerca de 1000 artigos e 50 livros. Em 1896, o físico francês Henri Becquerel descobre que o urânio emite uma radiação espontânea de natureza desconhecida, que designou por “raios urânicos”, e que não estava ligada à fosforescência como anteriormente se pensara [5].

<sup>1</sup> Docente



quantidade de bário misturado, mas a radioatividade do rádio parece ser enorme” [10]. No seu caderno de notas do laboratório a palavra *Radium*, seguida de um ponto de interrogação, aparece anotada a 18 Novembro de 1898 [8].

Em Dezembro de 1898, com um novo fornecimento de resíduos de urânio provenientes da mina de Joachimstal e cedidos pela Áustria, partiram para uma nova separação química visando a extracção e purificação do rádio, o que viriam a conseguir. “Uma primeira prova de que o elemento rádio existia foi fornecida pela análise espectral. O espectro de um cloreto enriquecido pela cristalização exibiu uma nova risca que Demarcay (um espectroscopista reputado da época) atribuiu ao novo elemento” [9]. Na caracterização do novo elemento Marie Curie procedeu à determinação do seu peso atómico e, a 21 de Julho de 1902, obtém o valor 225, e mais tarde em 1907, 226,45 (sendo o valor actual 226,0254) como peso atómico do rádio, determinações estas conseguidas com uma amostra de 0,120 gramas de cloreto de bário-rádio, que conteria apenas cerca de 1 milionésimo de rádio em relação ao bário. Esta amostra, na qual a quantidade de cloreto de rádio o tornava pela primeira vez visível, teria uma radioactividade 1 milhão de vezes superior ao urânio metálico [9,10]. “Assim, tínhamos chegado ao final e estabelecido sem margem para dúvidas que o rádio era um elemento novo. (...). Tínhamos produzido a prova absoluta de que o rádio é um novo elemento químico e que a hipótese inicial estava confirmada. Estes resultados foram depois também corroborados por muitos outros cientistas” [11].

Em Novembro de 1903, Marie Curie apresentou a sua Tese de Doutoramento, intitulada “Recherches sur les Substances Radioactives” na Sorbonne [12].

Nesse mesmo ano foi-lhe atribuído o Prémio Nobel da Física, partilhado com Pierre Curie e Henri Becquerel, pela descoberta da radioactividade.

Em 1911, de novo a Academia Sueca lhe atribuiria o Nobel, desta vez o Prémio Nobel da Química pela sua descoberta dos novos elementos, o polónio e o rádio.

Os resultados desta pesquisa extraordinária evidenciam a tenacidade dos Curie no trabalho de investigação científica, a clareza do raciocínio ao formularem as hipóteses de trabalho, o procedimento experimental seguindo com rigor o método científico e aceitando com abertura de espírito e curiosidade reforçada os resultados que não confirmavam as hipóteses que pretendiam demonstrar. Aliás, Marie Curie conquistou desde cedo o respeito dos seus colegas de La Sorbonne e do meio científico francês, sendo reputada pela precisão das suas medições de radioactividade. Nesta mesma linha iniciou um trabalho de preparação de fontes padrão de radioactividade, baseadas no urânio metálico, e que



Fig. 4 - Diploma do Prémio Nobel da Química atribuído a Marie Curie, 1911 (Foto: Academia das Ciências, Oslo).

eram essenciais ao bom trabalho dos laboratórios de química que se dedicavam à produção de rádio e aos trabalhos de aplicação da radioactividade na medicina. Em 1912 viria a preparar o primeiro padrão internacional de radioactividade, o curie (Ci), baseado no rádio, e depositado no Bureau International de Poids et Mesures<sup>2</sup> em Sèvres [13].

A descoberta dos novos elementos, rádio e polónio, foi efectuada com base na radioactividade espontânea destes elementos. Na realidade, ambos são fáceis de detectar com base nas radiações ionizantes que emitem. No entanto, a separação química efectuada por Marie Curie deparou-se com dificuldades de vulto pois estes elementos estão presentes em quantidades muito pequenas na crosta terrestre. Nos minérios de urânio, o rádio está presente em concentrações de massa da ordem de 1 g/ton, e o polónio está presente em concentrações da ordem de 0,1 mg/ton, sendo dos elementos mais raros no nosso planeta.

### As primeiras aplicações do rádio e o nascimento da radioterapia

Poucos anos depois da descoberta dos “raios urânicos”, Ernest Rutherford e Frederick Soddy mostraram que a radiação emitida pelas substâncias radioactivas era, na realidade, composta por três tipos distintos de radiação. Estas radiações comportavam-se de modo diferente quando submetidas a um campo magnético e possuíam diferente energia. Mais de 80% da radiação emitida era devida às partículas alfa, com pouco poder de penetração. A radiação beta era também constituída por partículas com carga eléctrica, mas muito menores que as partículas alfa e com energia muito mais elevada e capaz de penetrar nos tecidos até uma certa profundidade. O terceiro tipo de radiação era a radiação gama, que contribuía para 1% da radiação total, mas possuindo elevada energia, comprimento de onda curto e grande poder de penetração [3].

“O interesse especial do rádio reside, como sabeis, na intensidade da sua radiação a qual é um milhão de vezes mais elevada que a intensidade da radiação do urânio. Por essa razão os efeitos da radiação do rádio são tão importantes.

<sup>2</sup> Bureau International de Pesos e Medidas



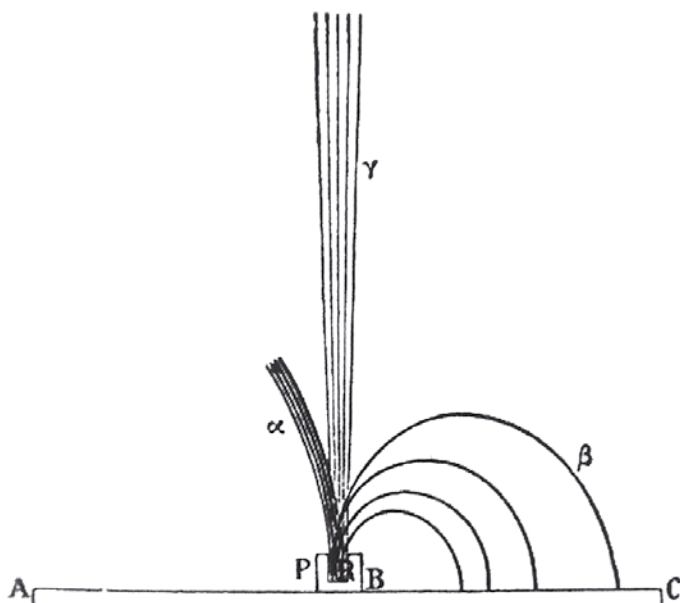


Fig. 5 - Comportamento dos três tipos de radiação, alfa, beta e gama, num campo magnético. Ilustração atribuída a Pierre Curie.

Uma atenção especial foi dada (...) aos efeitos fisiológicos dessa radiação, os quais foram descobertos (...) em França. Foi também em França que foi iniciada a terapia usando rádio, por vezes chamada também curioterapia” [11].

A ideia de utilizar a radiação emitida pelo rádio para o tratamento de doenças dermatológicas e destruição de tumores remonta a 1900, e às queimaduras de pele observadas por dois cientistas alemães, Friedrich Walkoff e Friedrich Giesel. Essa ideia tem também raízes comuns com o acidente de Henri Becquerel que, tendo transportado durante 14 dias uma pequena ampola contendo rádio no bolso do colete, desenvolveu uma queimadura no tórax. Becquerel mencionou esse facto a Pierre Curie o qual, surpreendido com esse efeito, decidiu confirmá-lo aplicando uma pequena fonte de rádio contra o seu antebraço durante dez horas, obtendo uma queimadura localizada. Isso deu-lhe a ideia que o rádio poderia ser usado na terapêutica médica. Entretanto Becquerel, cuja queimadura não melhorava, foi consultar um dermatologista no Hospital St. Louis, em Paris. O dermatologista, Dr. Ernest Besnier, observou que a queimadura era semelhante às queimaduras causadas pelos raios X e de imediato lhe ocorreu que o rádio poderia ser usado na terapia tal como se usavam os raios X. Persuadiu os Curie a emprestar uma pequena fonte de rádio ao seu colega de hospital Dr. Henri Danlos. Danlos usou essa fonte com muito sucesso para tratar casos de Lupus eritematoso e outras doenças dermatológicas, tendo relatado em 1901 os primeiros resultados obtidos [14].

Do outro lado do Atlântico, o primeiro uso de rádio em terapia parece ter ocorrido mais ou menos ao mesmo tempo pelas mãos de um físico de Boston, Francis William, e seu cunhado médico, Dr. William Rollins. Francis estava ao corrente do uso de raios X no tratamento de Lupus e ocorreu-lhe que o recém-descoberto rádio poderia ser usado para tratar aquela doença. Nos finais de 1900, Francis preparou uma fonte radioactiva selada, contendo cerca de 500 mg

de cloreto de rádio, para que Rollins a usasse em terapêutica [15,16].

Na apresentação dos resultados obtidos nos primeiros 42 casos que o Dr. William Rollins tratara com rádio ele compara-os com os resultados obtidos previamente usando raios X, nos seguintes termos: “A comparação até este momento é favorável ao rádio. (...) Quando o rádio é usado para tratamentos não é necessário recorrer a nenhum aparelho que atrapalhe. O rádio é portátil e está sempre pronto para ser usado. Para além disso a dose do rádio é mais uniforme e a intensidade do feixe não varia, pelo que a dose depende apenas da duração da exposição e da distância da fonte à parte a ser tratada. O rádio pode ser aplicado em regiões do corpo que não são facilmente acessíveis aos raios X como a boca e a vagina. Para além disso, a acção terapêutica do rádio é mais rápida”. Rollins também escreveu acerca das queimaduras que o rádio poderia causar nos tecidos saudáveis e da necessidade de protecção [16].

Após estes relatos a prática médica progressivamente adoptou o rádio no tratamento de doenças da pele e tumores malignos e, em muitos hospitais, procurava-se disponibilizar o tratamento com rádio. Entre os estabelecimentos e médicos pioneiros contam-se, por exemplo, a Clínica Gussenbauer em Viena (1902), o Laboratório de Biologia do Instituto do Rádio em Paris pela mão de Louis Wickham (1904), e os Hospitais de Nova Iorque pela mão de Robert Abbé (1904) e William Morton (1914), entre muitos outros, e todos eles contribuindo para o desenvolvimento da disciplina da radioterapia [17].

## Os raios X na ajuda médica na frente de guerra

Em 1914 estala a 1ª Grande Guerra, que duraria até 1918 e custaria 19 milhões de vidas. Tratava-se de uma guerra de trincheiras, e a frente de batalha, essencialmente entre a França e a Alemanha, oscilava em avanços e recuos episódicos, às vezes disputando apenas algumas centenas de metros. Os feridos por estilhaços de obuses, um dos novos instrumentos bélicos na época, eram muito numerosos e os cirurgiões não tinham mãos a medir. Na altura a medicina dispunha de poucos meios de diagnóstico e a utilização dos raios X estava ainda no seu início.

Com o deflagrar do conflito, Marie Curie ofereceu-se como voluntária para operar os aparelhos de radiologia junto da linha da frente. Contudo estes aparelhos eram poucos e não eram móveis. Os engenheiros tinham adaptado uma camioneta da Renault e colocado nela um aparelho de raios X, criando assim a primeira unidade móvel de radiologia que servia para apoiar o socorro médico na frente de batalha. Marie Curie tirou a carta de condução, o que na época poucas mulheres faziam, para poder





Fig. 6 - Henri Danlos, médico do Hospital de St Louis em Paris, tratando com rádio um paciente com Lupus, em 1904.

conduzir a camioneta com o aparelho de raios X, e apelou ao donativo de veículos particulares para transformação em unidades móveis de radiologia. O número destes veículos alcançou a meia centena e Marie Curie, então com 47 anos, treinou cerca de 50 enfermeiras no uso destes aparelhos de radiologia, entre as quais a sua filha Irene. Mais de um milhão de feridos de guerra foram radiografados por estas unidades, que eram conhecidas como os *Petit Curie*, contribuindo para facilitar o diagnóstico e a cirurgia [18].

No final da guerra, Marie Curie prosseguiu ainda esta actividade, contribuindo para a criação de postos de radiologia fixos espalhados pela França.

### A criação do Instituto do Rádio

Concluída a guerra, e conhecidas já as propriedades biológicas das radiações, designadamente a capacidade de destruir células, o uso de fontes de rádio no tratamento de doenças dermatológicas e tumores cancerígenos tendia a crescer.

O seu potencial fora brilhantemente demonstrado por vários médicos, tendo sido pioneiro o dermatologista Henri Danlos, do Hospital Saint Louis em Paris. Contudo não havia instalações médicas especializadas onde se pudesse usar o rádio [14-16].

Marie Curie conseguiu do Estado Francês a aprovação da verba para a criação do Instituto de Rádio, aprovado em 1909 e inaugurado em 1914, embora a sua actividade tivesse sido iniciada apenas após o final da guerra. Este Instituto, mais tarde renomeado Instituto Curie, tinha duas partes: um laboratório dirigido por Marie Curie destinado a prosseguir a investigação sobre as substâncias radioactivas, e um centro de investigação das aplicações do rádio em biologia e medicina, e cuja direcção estava entregue ao biólogo Claudius Regaud [2].

Os tratamentos com rádio faziam-se, então, com aplicadores externos, por vezes simples moldes de cera impregnados com rádio para aplicação directa sobre o tumor (radioterapia), e mais tarde através da colocação de fontes de rádio (agulhas) no interior do organismo para irradiação de tumores (endocurieterapia). No Instituto do Rádio foram desenvolvidos muitos dos primeiros procedimentos terapêuticos com radionuclídeos e alguns dos tratamentos iniciais tornaram-se casos de antologia médica [14-15].

Marie Curie desmultiplicou-se em actividades de promoção da nova técnica de radioterapia na Europa e nos Estados Unidos. A sua viagem aos Estados Unidos em 1921 e as conferências que deu em várias cidades foram um sucesso que estimulou uma campanha de recolha de fundos, tendo os cidadãos dos EUA oferecido um grama de rádio ao Instituto de Marie Curie após esta visita. Este grama de rádio, proveniente das minas do Colorado, foi adquirido por cem mil dólares, o que a preços actuais corresponde a cerca um milhão de euros [17].

Marie Curie e o Instituto do Rádio de Paris recebiam de muitos países estagiários a quem transmitiam o seu conhecimento, contribuindo para que a radioterapia e os sucessos no tratamento do cancro rapidamente se tornassem conhecidos.

Em poucos anos abriram-se Institutos do Rádio em vários países e muitos hospitais procuravam disponibilizar o tratamento com rádio [2,3].

### A produção de rádio

Nos primeiros anos do século XX eram poucas as minas de urânio, e a produção de rádio era escassa. As necessidades de rádio para fornecer o Instituto do Rádio em Paris e os centros de oncologia que abriam por todo o mundo desencadearam uma corrida à extracção de minério de urânio e produção do rádio.

No início do século XX o rádio era produzido apenas na Europa, e o minério de urânio extraído de minas como Joachimstal (hoje no território da República Checa), e na Alemanha, França, e Portugal, que forneciam rádio para o Instituto do Rádio de Paris e para outros hospitais. Na segunda década do século passado a produção europeia já era insuficiente e, nos anos vinte, os principais produtores de rádio passaram a ser os EUA e o Canadá. A partir dos anos trinta o grande produtor passou a ser a Bélgica com a descoberta de importantes filões de urânio no então Congo Belga [16].

Em Portugal a primeira exploração mineira foi a da Rosmaneira em 1908, a que se seguiram outras, como a da Urgeiriça iniciada em 1913. O processamento do minério fez-se nas instalações da Fábrica dos Sais de Rádio, na aldeia do Barracão, perto da Guarda. Estas instalações terão funcionado de 1908 a 1926, mas a actividade foi prosseguida nas instalações da Urgeiriça que se mantiveram em laboração até 2001. Até ao final da segunda Guerra Mundial (1945) e à descoberta da fissão do urânio, estas minas destinavam-se à exploração do rádio, e o urânio era um subproduto sem valor. A situação inverter-se-ia a partir daí, com a valorização do urânio no mercado internacional [19,20].

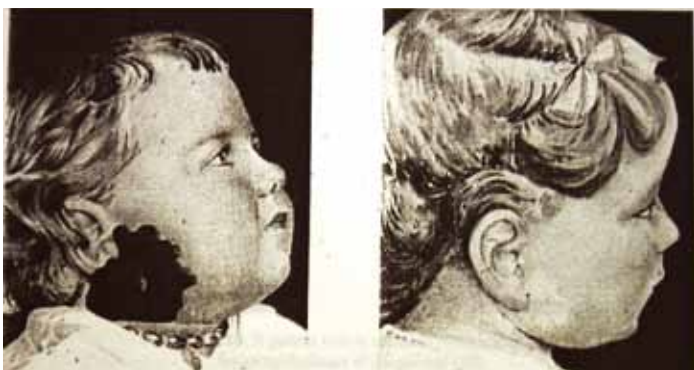


Fig. 7 - Paciente com angioma tratado com rádio no Instituto do Rádio em Paris, início do século XX (antes e depois do tratamento).

O rádio manter-se-ia em uso na medicina, até pelo menos aos anos 70-80 do século XX. As fontes de rádio encapsulado para tele-radioterapia (“bombas de rádio”), estiveram em uso nos centros de oncologia até um pouco mais tarde. Contudo, o rádio viria gradualmente a ser posto de lado nos anos 50 em virtude dos problemas de protecção radiológica que este radionuclido de vida longa (período de semi-desintegração de 1600 anos) coloca. Com a descoberta da fissão nuclear e a produção de radionuclidos artificiais, a partir dos anos 50 o rádio foi substituído por radionuclidos como o cobalto-60 e o cézio-137, emissores de radiação igualmente energética e com períodos de semi-vida muito mais curtos. A aplicação do rádio em curieterapia (braquiterapia), na forma de agulhas de rádio, veio também gradualmente a ser posta de lado, tendo sido substituído por irídio-192. As agulhas de rádio vieram a ser recolhidas da maior parte das instalações hospitalares, após a ocorrência de acidentes radiológicos com agulhas perdidas. Em substituição do rádio, outros métodos e outros equipamentos foram adoptados [15].

O polónio encontrou também várias aplicações industriais, tais como em geradores de energia a bordo de satélites espaciais e no arranque da reacção em cadeia nos reactores nucleares. Como a actividade específica do polónio-210 é muito elevada e é muito radiotóxico, a sua manipulação requer condições especiais de laboratório. Não é correntemente utilizado em medicina.

### Um legado científico que perdura

O legado de Madame Curie é vasto. A descoberta da radioactividade e a descoberta do polónio e do rádio valeram-lhe dois prémios Nobel, facto raro na história do prémio e caso único tratando-se de uma mulher.

A descoberta da radioactividade marcou o desenvolvimento da Física Nuclear. A descoberta do rádio e do polónio abriu, por sua vez, o caminho à aplicação de radioisótopos na medicina, na indústria e em muitas outras áreas. Os serviços prestados por estes radionuclidos foram inestimáveis. Em especial a aplicação do rádio em medicina correspondeu à invenção da radioterapia que hoje continua a ser essencial no tratamento do cancro. O uso de outros radioisótopos em medicina seguiu o caminho aberto por Madame Curie, e muito do que se faz hoje na medicina nuclear com recurso a radiofármacos, envolvendo radionuclidos tais como o tecné-

cio, iodo, e o paládio, foi desenvolvido na esteira da invenção da radioterapia e da curieterapia [2].

O futuro levará ao aperfeiçoamento e substituição destes e de outros radionuclidos e à criação de novos métodos de diagnóstico e tratamento. O progresso científico não pára e outros utensílios, mais finos, mais selectivos e mais precisos, virão certamente substituir as ferramentas actuais do radio-diagnóstico, da curieterapia, e da medicina nuclear.

Incontestavelmente o caminho foi aberto pelo trabalho científico, rigor, e esforço de aplicação de Marie Curie.

*Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.*



### Fernando P. Carvalho

é investigador no Laboratório de Protecção e Segurança Radiológica, Campus Tecnológico e Nuclear, Instituto Superior Técnico. Trabalha em radioactividade ambiente e biogeoquímica dos radioelementos, incluindo o urânio, rádio e polónio.

## Referências

1. Curie E: "Madame Curie". Éditions Gallimard, 1938. Paris. Nova edição 2010. Tradução em Português da Ed. Livros do Brasil.
2. "L' héritage Marie Curie", *Les dossiers de la Recherche*, Fevereiro 2011, Núm. 42. Paris.
3. Chemistry International 33, núm. 1. (2011); [www.iupac.org/publications/ci/index.html](http://www.iupac.org/publications/ci/index.html)
4. F. Balibar, "Marie Curie. Femme savant ou Sainte Vierge de la Science". Éditions Gallimard, 2006, Paris.
5. H. Becquerel, "Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium", *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences Paris* 122, 689 (1896).
6. M. Curie, "Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium", *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 126, 1101-1103 (Note du 12 Avril 1898).
7. P. Curie e M. Curie "Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende", *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris* 127, 175-178 (Note du 18 Juillet 1898).
8. J.-P. Adloff "Les carnets de Laboratoire de Pierre et Marie Curie", *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris, Série IIc, Vol.1*, págs. 217-228, 457-464, 801-808 (1998).
9. "Marie Curie - Nobel Lecture", [Nobelprize.org](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1911/marie-curie-lecture.html) (acedido a 20 Junho 2011)
10. P. Curie, M. Curie e G. Bémont, "Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende", *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences Paris* 127, 1215-1217 (Note du 26 December 1898).
11. M. Curie, "The discovery of radium", Address by Madame M. Curie at Vassar College 14 May 1921. Ellen S. Richards Monographs, No 2, Vassar College, USA.
12. M. Curie, "Recherches sur les substances radioactives", Tese de Doutorado, Paris (1903).
13. M. Curie, "Les mesures en radioactivité et l'étalon du radium", *Journal de Physique* 5<sup>th</sup> Series 2, 795-798 (1912).
14. H. Danlos, P. Bloch, "Note sur le traitement du loup érythémateux par des applications du radium", *Annales de Dermatologie et and Syphiligraphie*, 986-988 (1901).
15. R. Eisenberg, "Radiology: an illustrated history", St Louis, 1992. Mosby Year Book.
16. R. F. Mould "Radium History Mosaic", *Notwotwory Journal Oncology (Warsaw)* 57, Supp 4 (2007).
17. R. Abbé, "The subtle power of radium", *Med. Record, New York*, 66, 321 (1904).
18. M. Curie, "Radiologie et la Guerre", Librairie Félix Alcan. 1921, Paris.
19. IAEA, 2005, "Environmental Contamination from Uranium Production facilities and their Remediation", Proceedings of an International Workshop, Lisbon, 11-13 February 2004. International Atomic Energy Agency, Vienna.
20. F. P. Carvalho, "Marie Curie and the discovery of radium". In: "The New Uranium Mining Boom. Challenge and lessons learned". B. Merkel e M. Schipek (Edts.), págs. 3-13, 2011, Springer-Verlag, Berlin.



# Espectroscopia Mössbauer: da Física Nuclear à verificação de efeitos relativísticos

Manoel José Mendes Pires<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Rodovia MGT 367 - km 583, nº 5000, 3910-000 Diamantina, Brasil

manoel.pires@ict.ufvjm.edu.br

## Resumo

Com uma grande diversidade de aplicações, a técnica espectroscópica baseada no Efeito Mössbauer completa mais de meio século de contribuições significativas à Ciência. Tendo como princípio a absorção ressonante de radiação gama, a Espectroscopia Mössbauer é uma das técnicas com maior resolução entre as utilizadas na Física. Este artigo traz uma breve discussão dos princípios físicos relacionados com o Efeito Mössbauer e de algumas de suas aplicações mostrando a diversidade das mesmas.

## Introdução

Rudolf L. Mössbauer foi um dos laureados com o Prémio Nobel de Física de 1961 pelos estudos sobre o efeito que leva seu nome. Mössbauer faleceu em 2011, mas sua longevidade lhe permitiu ver a trajetória de uma técnica desde a criação até seu uso em robôs de exploração de Marte. A grande precisão aliada a uma relativa simplicidade e robustez dos equipamentos necessários às medidas fazem da Espectroscopia Mössbauer uma técnica com uma vastíssima gama de aplicações, capaz de ser utilizada para investigação de estados físicos nucleares [1], propriedades de moléculas orgânicas (como a hemoglobina) [2], caracterização de solo (como no caso da exploração de Marte) [3], estudos de pigmentos de pinturas rupestres [4] e verificação de efeitos relativísticos (como a variação na frequência de radiação devida à ação de campos gravitacionais) [5]. Com tal versatilidade, a Espectroscopia Mössbauer não está restrita aos laboratórios de Física, grupos de pesquisas das mais diversas áreas fazem uso corriqueiro da técnica em muitos países [6].

## O Efeito Mössbauer

A emissão  $\gamma$  numa transição de estado nuclear em núcleos com número de massa maior que 5 geralmente ocorre após um outro decaimento nuclear. O núcleo filho “nasce” num estado excitado e posteriormente decai emitindo um fóton  $\gamma$ . Se esse fóton  $\gamma$  emitido atinge outro núcleo idêntico ao

emissor no estado fundamental, ele poderá ser absorvido produzindo uma excitação para um estado com energia igual àquela do núcleo emissor antes do decaimento. Além da incerteza relacionada com o princípio de Heisenberg, a energia do fóton  $\gamma$  dependerá de diversos fatores como o estado de ligação do átomo que contém o núcleo emissor. A absorção do fóton  $\gamma$ , por sua vez, dependerá da situação de movimento relativo entre os núcleos absorvedor e emissor, da direção de propagação do fóton, da seção de choque (“seção eficaz”) da interação, e de como o que havia na trajetória do raio alterou ou não sua energia. Assim, dada a natureza dos fenômenos envolvidos, a ressonância entre espectros de emissão e absorção ocorrerá apenas em condições muito particulares. O fenômeno físico conhecido como Efeito Mössbauer é a absorção ressonante para energias relacionadas a transições entre estados nucleares quando as energias de recuo ( $E_R$ ) do núcleo emissor e do núcleo absorvedor podem ser desprezadas [7], ou seja,  $E_R$  deve ser muito menos que a largura natural de emissão e absorção nuclear. Num sólido,  $E_R$  pode ser desprezada pelo menos para uma pequena fração das emissões, assim como das absorções, para as quais o núcleo não tem liberdade para recuar por não haver quebra da ligação química e estados permitidos de vibração com energia adequada (estados de vibração atômicos são quantizados num sólido cristalino). Assim, para essa pequena fração das emissões e absorções também não ocorre alargamento do espectro devido a efeito Doppler, que poderia ocasionar um alargamento ( $\Delta D$ ) de cerca de 0,1 eV à temperatura ambiente para um emissor típico [8, 9]. A ressonância entre emissão e absorção de estados nucleares também pode ser observada em líquidos e gases sob certas circunstâncias [10], mas o Efeito Mössbauer só pode ser observado no estado sólido devido às considerações descritas.

O movimento do átomo numa rede cristalina está fortemente associado às suas interações com os átomos vizinhos. Podemos caracterizar estatisticamente este movimento relacionando-o com a temperatura e com as forças às quais ele está submetido. Também pelo facto de estar ligado à rede do sólido, devemos considerar que geralmente o átomo não está em repouso, devido às vibrações determinadas pelos parâmetros de toda a rede. Isto leva a uma alteração da energia do fóton  $\gamma$  por efeito Doppler. Como na verdade há uma distribuição de velocidades possíveis para os átomos na rede, o efeito Doppler leva a um alargamento ( $\Delta D$ ) das energias do espectro dos núcleos emissores  $\gamma$ . Os espectros dos núcleos emissores e absorvedores que tomam parte do efeito Mössbauer, não apresentam esse alargamento, como comentado no parágrafo anterior, pois  $\Delta D \sim 0,1$  eV é suficiente para impedir a ressonância.

### Principais características de uma montagem experimental típica de Espectroscopia Mössbauer

O procedimento mais comum é expor uma fina amostra sólida contendo núcleos potencialmente absorvedores em seu estado fundamental à radiação  $\gamma$  emitida por uma outra amostra, a fonte, contendo núcleos dos mesmos isótopos inicialmente em seus estados excitados. Um detetor de radiação  $\gamma$  é posicionado após a amostra absorvedora e observa-se a ressonância ou não (Fig. 1) [7]. Como os isótopos Mössbauer da amostra e da fonte, em geral, estão em ambientes físico-químicos diferentes, as energias dos estados nucleares também serão ligeiramente diferentes. Então, é preciso realizar uma varredura numa faixa de energias até que se obtenha a ressonância entre absorção e emissão. Essa faixa de energia é obtida por efeito Doppler variando-se a velocidade relativa entre fonte e amostra. O experimento consiste em traçar uma curva da radiação transmitida através da amostra a ser estudada em função da velocidade relativa entre a fonte e a amostra. Como as diferenças entre as energias dos estados dos núcleos da fonte e da amostra são pequenas, as velocidades necessárias para o procedimento também são pequenas, da ordem de alguns mm/s. E as ressonâncias podem ser encontradas para valores positivos (aproximação) ou negativos (afastamento) dessa velocidade. Eventualmente pode ocorrer ressonância para velocidade nula, o que significa que os núcleos emissores e absorvedores estão numa situação física idêntica na fonte e na amostra.

Em situações onde o processo de conversão interna é muito mais provável que a emissão  $\gamma$  numa desexcitação nuclear, pode-se obter espectros Mössbauer a partir da detecção dos elétrons emitidos no processo de conversão. Como os elétrons emitidos

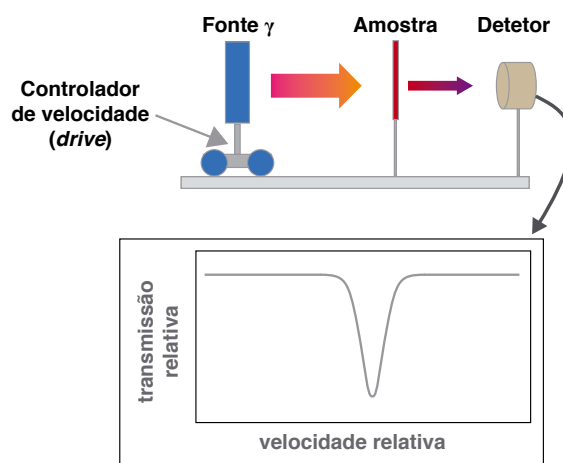


Fig. 1 - Esquema de um arranjo experimental típico para Espectroscopia Mössbauer e um esboço de um espectro de transmissão."

têm baixa energia, o maior número de elétrons detetados provém de emissões próximas à superfície da amostra. Esta técnica é conhecida por CEMS (*Conversion Electron Mössbauer Spectroscopy*), e os espectros têm máximos para as energias em que se observa a ressonância e não mínimos como no caso das técnicas que medem a radiação transmitida pela amostra.

### Interações hiperfinas sondadas por Espectroscopia Mössbauer e aplicações

Pela determinação das frequências (ou energias) de ressonância, os espectros Mössbauer permitem investigar os níveis de energia nucleares e uma série de interações fundamentais que afetam tais níveis. As principais interações são as de dipolo magnético (correspondem ao efeito Zeeman nuclear), as de monopolo elétrico (conhecidas como desvios isoméricos) e a interação de quadrupolo elétrico. Essas interações hiperfinas refletem o ambiente físico ao redor do núcleo, que resulta nos campos elétrico e magnético locais [8,9]. Devido à grande resolução da técnica, pequenas alterações nesse ambiente físico, como uma pequena distorção na rede cristalina do sólido ou uma alteração na orientação da magnetização, podem ser sondadas (medidas) pela Espectroscopia Mössbauer. É isto que permite, por exemplo, a identificação inequívoca de uma série de minerais e a determinação da valência de iões em determinados sítios cristalinos.

Sendo sensível à magnetização, a Espectroscopia Mössbauer é amplamente utilizada em estudos de materiais magnéticos. Uma outra particularidade da Espectroscopia Mössbauer que também contribui para sua utilização no magnetismo, é o facto de ser  $^{57}\text{Fe}$  o isótopo Mössbauer mais utilizado. O efeito Mössbauer é observado num bom número de isótopos de vários elementos, mas o  $^{57}\text{Fe}$  é o de mais fácil observação. Cerca de 2% do Fe natural ( $\alpha\text{-Fe}$ ) é de  $^{57}\text{Fe}$ , e sendo um dos elementos mais abundantes, o Fe está presente numa infinidade de minerais, materiais orgânicos e materiais magnéticos produzidos artificialmente. Daí a grande utilidade da técnica nesta área.

As fontes de  $^{57}\text{Fe}$  como emissoras  $\gamma$  normalmente são de

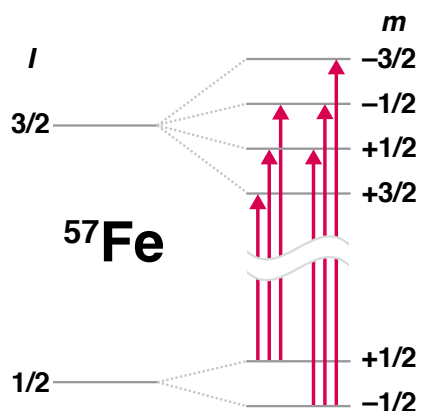


Fig. 2 - Desdobramento de níveis devido ao efeito Zeeman nuclear para o estado fundamental e o primeiro estado excitado do  $^{57}\text{Fe}$ . As transições de estado permitidas são apontadas, assim como os números quânticos magnéticos ( $m$ ) e de spin nuclear ( $I$ ) de cada nível.

$^{57}\text{Co}$  embebido em uma matriz metálica. A meia vida do  $^{57}\text{Co}$  é de aproximadamente 272 dias e ele decai por conversão de elétrons em um núcleo excitado de  $^{57}\text{Fe}$ , que é o emissor Mössbauer. Quando o campo magnético hiperfino é estável e significativo numa determinada amostra com Fe, uma degenerescência dos níveis nucleares é quebrada

resultando em seis transições nucleares permitidas para esse núcleo (Fig. 2) [7]. Por campo magnético hiperfino estável neste contexto, entenda-se tempo de relaxação da direção do campo hiperfino muito menor que o tempo de observação característico da técnica (ou seja, do tempo de duração dos estados nucleares excitados). Os espectros Mössbauer nessas circunstâncias têm então seis ressonâncias.

Quando uma amostra contém Fe em diferentes ambientes físicos, os espectros conterão os sinais sobrepostos. Por vezes isto constitui uma dificuldade para a análise dos dados, mas também pode fornecer informações valiosas sobre diferentes sítios cristalinos num mesmo sólido.

Um artifício que pode ser utilizado quando a quantidade de Fe numa amostra é pequena, é produzi-la com Fe enriquecido com o isótopo  $^{57}\text{Fe}$ , isto é, com uma quantidade de  $^{57}\text{Fe}$  maior que a quantidade natural. Este artifício tem sido utilizado com bastante eficiência no caso de filmes magnéticos com espessuras nanométricas [9]. Quando se quer estudar diferenças entre as propriedades físicas do interior ou das superfícies e interfaces desses filmes, pode-se depositar  $^{57}\text{Fe}$  em maior quantidade no interior ou na superfície e o espectro Mössbauer evidenciará uma outra região em cada caso. Um exemplo é apresentado na Figura 3. Filmes finos de Fe foram depositados por epitaxia por feixe molecular (*MBE, molecular beam epitaxy*) com camadas sonda de Fe enriquecido a 97% de  $^{57}\text{Fe}$ , os resultados indicam claramente os distintos comportamentos magnéticos do Fe do interior e da interface do filme.

Em relação à aplicação da Espectroscopia Mössbauer para medir a variação na frequência da radiação devida à ação do campo gravitacional da Terra, esta foi uma das primeiras verificações precisas de previsões da Teoria da Relatividade Geral. Os primeiros experimentos foram realizados por Pound e Rebka logo nos primeiros anos após a explicação do Efeito Mössbauer [10]. O desvio na frequência devido à ação do campo (*gravitational redshift*) foi inicialmente medido numa torre de mais de 22 m na Universidade de Harvard [11]. A fonte Mössbauer e o detetor ficavam respectivamente na base e no topo dessa torre, de forma que a trajetória da radiação estava então ao longo do gradiente do campo gravitacional. Essas medidas só foram possíveis porque a grande resolução da Espectroscopia Mössbauer permite medir pequenas variações na frequência de ressonância. A resolução intrínseca está entre  $10^{-10}$  e  $10^{-14}$  da energia do fóton  $\gamma$ , que é da ordem de 10 a 200 keV, mas a resolução normalmente alcançada nos laboratórios utilizando equipamentos comerciais está entre  $10^{-6}$  e  $10^{-9}$  da energia do fóton [7], podendo chegar a  $10^{-12}$  [8].

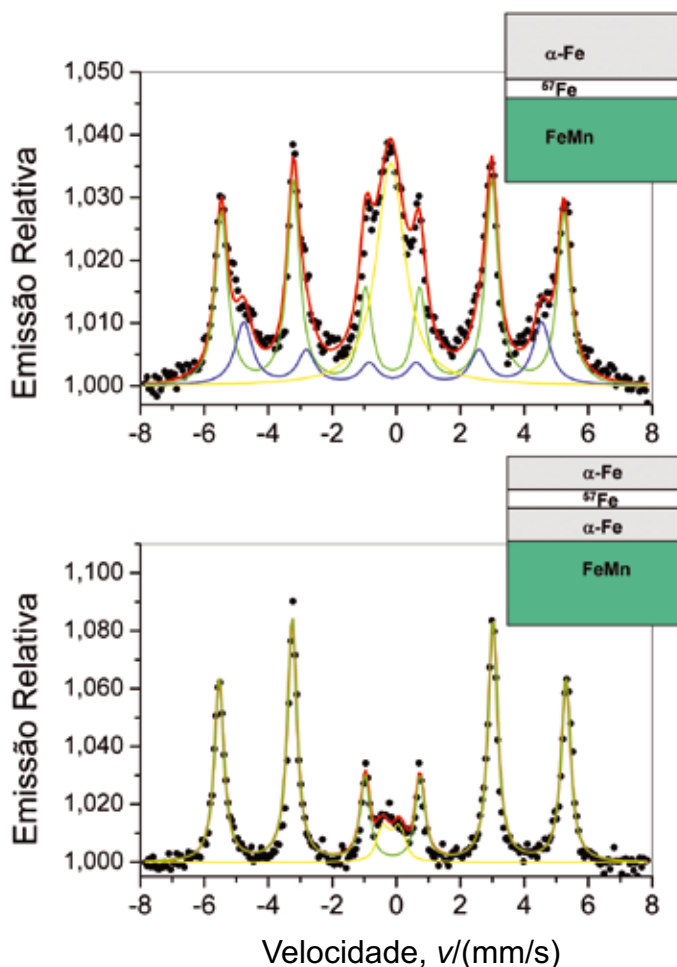


Fig. 3 - Espectros Mössbauer (CEMS) de filmes finos multicamadas de Fe (8 nm) / FeMn (8 nm) com camadas sonda de 2 nm de  $^{57}\text{Fe}$  em diferentes profundidades. Os pontos são os valores medidos e as linhas correspondem a ajustes considerando diferentes contribuições. A contribuição amarela central é atribuída aos átomos de Fe na interface entre as camadas, onde o campo magnético hiperfino é bem menor que no interior da camada de Fe. No primeiro espectro essa contribuição é maior porque o  $^{57}\text{Fe}$  está concentrado na interface.



## Agradecimento

Aos professores Waldemar A. A. Macedo e José Domingos Ardisson do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) - Belo Horizonte, Brasil.



### Manoel J. M. Pires

possui Bacharelado, Mestrado e Doutorado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (Campinas - Brasil), realizou estágio de pós-doutoramento no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (Belo Horizonte - Brasil). Atualmente é professor adjunto do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (Diamantina - Brasil). Tem experiência na área de Física da Matéria Condensada, atuando principalmente nos seguintes temas: magnetismo e materiais magnéticos, filmes finos e superfícies, ressonância ferromagnética, magnetometria, espectroscopia de elétrons e Espectroscopia Mössbauer.

## Referências

1. R. L. Mössbauer, "General Aspects of Nuclear Hyperfine Interactions in Salts of Rare Earths", *Reviews of Modern Physics* 36, 362 (1964).
2. E. N. Frolov, M. Fischer, E. Graffweg et al., "Hemoglobin Dynamics in Rat Erythrocytes Investigated by Mössbauer-Spectroscopy", *European Biophysics Journal* 19, 253 (1991).
3. G. Klingelhöfer, "Mars Mössbauer Group" (<http://www.ak-klingelhoefner.chemie.uni-mainz.de/>).
4. T. L. Alves, M. A. M. L. de Brito, et al., "Pigmentos Rupestres Pré-históricos do Sítio Letreiro do Quinto, Pedro II, Piauí, Brasil", *Química Nova* 34, 181 (2011).
5. R. V. Pound, "Weighing photons", *Classical and Quantum Gravity* 17, 2303 (2000).
6. T. Zhang (Diretor), "Mössbauer Effect Data Center" (<http://www.mossbauer.org/index.html>).
7. N. N. Greenwood, T. C. Gibb, "Mössbauer Spectroscopy", Chapman and Hall Ltd, Londres (1971).
8. U. Gonser (Editor), "Mössbauer Spectroscopy", *Topics in Applied Physics* 5, Springer-Verlag, Berlin (1975).
9. Yi-Long Chen, De-Ping Yang, "Mössbauer Effect in Lattice Dynamics", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGAA, Weinheim (2007); Capítulo 1.
10. K. S. Krane, "Introductory Nuclear Physics", John Wiley & Sons Inc., Nova Iorque (1988); Capítulo 10.
11. W. A. A. Macedo, B. Sahoo, J. Eisenmenger et al., "Direct measurement of depth-dependent Fe spin structure during magnetization reversal in Fe/MnF<sub>2</sub> exchange-coupled bilayers", *Physical Review B* 78, 224401 (2008).

# O bilhão e a nomenclatura dos grandes números:

## regra “ $N$ ” e regra “ $n-1$ ”

Guilherme de Almeida

g.almeida@vizzavi.pt

Nos jornais, livros e revistas, nos filmes, na rádio e até na televisão lemos ou ouvimos afirmações vindas de portugueses que supõem que um bilhão significa mil milhões. Outros afirmam que um bilhão é um milhão de milhões. Como isto não é matéria de gosto preferencial (o tradicional “acho que...”), mas uma questão de normalização, só uma das versões é que está correcta. É o que veremos seguidamente.

A nomenclatura dos grandes números foi estudada pelo *Bureau des Longitudes de Paris* e apresentada ao *Comité International des Poids et Mesures*. Neste estudo foram submetidas para discussão duas nomenclaturas diferentes, baseadas, na **regra ( $n-1$ )** e na **regra  $N$** . A apreciação final do problema ficou agendada para a Conferência Geral dos Pesos e Medidas seguinte.

### Portugal e restantes países europeus

Após apreciação, a 9.ª Conferência Geral dos Pesos e Medidas (em Outubro de 1948), recomendou, por unanimidade menos uma voz, a **regra  $N$**  para os países europeus. Esta recomendação foi adoptada oficialmente em Portugal pelas Portarias n.ºs 14 608 e 17 052, respectivamente de 11 de Novembro de 1953 e 4 de Março de 1959 e está normalizada entre nós (Norma Portuguesa NP-18). De acordo com a regra  $N$ , os nomes dos grandes números obtêm-se utilizando a expressão designatória

$$10^{6N} = (N)\text{ilião},$$

onde os sucessivos valores de  $N$  (2, 3, 4, 5, 6, etc.) são substituídos pelas designações latinas *bi*, *tri*, *quatri*, *quinti*, *sexti*, *septi*, *octi*, etc., sendo as primeiras geralmente bem conhecidas. Assim, por exemplo, o número  $1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12} = 10^{6 \times 2}$  é denominado **bilhão**. Do mesmo modo teremos  $10^{18} = 10^{6 \times 3} = \text{trilião}$ , etc. A tabela 1 mostra diversos exemplos.

Como podemos ver, na regra  $N$ , um bilhão tem o dobro dos zeros de um milhão (*bi* significa dois); o trilião tem o triplo dos zeros de um milhão, etc. A regra  $N$  fornece a chamada *escala longa*, porque os nomes dos números mudam de seis em seis zeros.

Em Portugal, o número  $1\ 000\ 000\ 000$  designa-se mil milhões; outros países europeus criaram nomes que evitam qualquer ambiguidade para este número: *milliard* (em França), *miliardo* (na Itália), *mil millones* (Espanha), *one thousand million* (Inglaterra), etc.

### Nomenclatura dos grandes números nos países não europeus

Para o caso dos países não europeus foi aprovada a **regra  $n-1$**  (ver nota final!), de tal modo que os nomes dos grandes números são obtidos mediante a expressão designatória

$$10^{3n} = (n-1)\text{ilião}.$$

Tabela 1

$N$	Potência $10^{6N}$	Nome (português)	Nome (francês e inglês)	Nome (espanhol)	Escrita por extenso
1	$10^6$	Milhão	Million	Millón	1 000 000
2	$10^{12}$	Bilhão	Billion	Billón	1 000 000 000 000
3	$10^{18}$	Trilião	Trillion	Trillón	1 000 000 000 000 000 000
4	$10^{24}$	Quatrilião	Quatrillion	Quatrillón	1 000 000 000 000 000 000 000 000
5	$10^{30}$	Quintilião	Quintillion	Quintillón	1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000
...	...	...	...	...	...

Tabela 2

$n-1$	$n$	Potência $10^{3n}$	Nome (nos EUA <sup>(2)</sup> )	Nome (no Brasil)	Escrita por extenso
1	2	$10^6$	Million	Milhão	1 000 000
2	3	$10^{12}$	Billion	Bilhão	1 000 000 000 000
3	4	$10^{18}$	Trillion	Trilhão	1 000 000 000 000 000 000
4	5	$10^{24}$	Quadrillion	Quatrilhão	1 000 000 000 000 000 000 000 000
...	...	...	...	...	...

De acordo com esta regra, o *billion* (bilião americano), não esquecendo que *bi* significa 2, corresponderá ao caso  $n-1 = 2$ , logo  $n = 3$  e portanto  $10^{3n} = 10^9 = 1\,000\,000\,000$ . O *trillion* (trilião americano) corresponderá ao caso  $n-1 = 3$ , logo  $n = 4$  e assim  $10^{3n} = 10^{12}$ . E assim sucessivamente. Por isso é que, nos Estados Unidos da América, um bilião (*billion*) é  $1\,000\,000\,000 = 10^9$ . No Brasil, este número é designado como *bilhão*, o que pode prestar-se a múltiplas confusões (tabela 2).

A regra  $n-1$  fornece a chamada *escala curta*, assim chamada porque os nomes dos números mudam de três em três zeros.

É preciso estar alerta nas traduções ou quando lemos no original obras *não europeias* ou em língua inglesa que envolvam grandes números<sup>3</sup>. Por exemplo, não existem na Terra sete *billões* de pessoas. Este é um caso em que a normalização não é uniforme em todo o globo e, por isso mesmo, convém estar sempre atento. As pessoas que intervêm na comunicação social, falada ou escrita, deveriam estar bem informadas destas regras.

Para eliminar ambiguidades (acima do milhão), é sempre mais claro usar a indicação numérica em vez de dar nomes aos grandes números<sup>4</sup>; ou então colocar, logo a seguir a esses nomes, os correspondentes números expressos como potências de base dez. Dois exemplos: a) um bilião de euros ( $10^{12}$  euros); b) a idade da Terra é de cerca de 4700 milhões de anos ( $4,7 \times 10^9$  anos), mas não se diga “4,7 biliões de anos”. Para números muito grandes, na forma escrita, a indicação por extenso acima de milhão é pouco prática e obriga o leitor a contar os zeros. Como se pode ver nos dois quadros, não se utilizam pontos (mas sim espaços) a separar os grupos de

três algarismos. Nos números de quatro algarismos, não se faz separação (2014 e nunca 2 014).

*Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.*

#### Bibliografia

Guilherme de Almeida, “Sistema Internacional de Unidades (SI), Grandezas e Unidades Físicas, Terminologia, Símbolos e Recomendações”, 3.<sup>a</sup> edição, Plátano Editora, Lisboa, 2002 (*Livro recomendado pela Sociedade Portuguesa de Física*).

BIPM — Le Système international d’unités/ The International System of Units, SI, 8.<sup>e</sup> edition, 2006.

IPQ — Normas Portuguesas: NP-9 (*Escrita dos números*), 1960; NP-18 (*Nomenclatura dos grandes números*), 1960; NP-172 (*Unidades SI e recomendações para o emprego dos seus múltiplos e de outras unidades*), 1986.

#### Legislação portuguesa

Decreto-Lei n.º 128/2010 de 3 de Dezembro, Diário da República, 1.<sup>a</sup> série 234 (2010), pp. 5444-5454



**Guilherme de Almeida** foi professor de Física e Química (até 2010) em cinco escolas secundárias e no Colégio Militar. Ensinou alunos de todos os níveis (8.º ao 12.º ano), principalmente 12.º ano. É autor de sete livros, entre os quais Sistema Internacional

de Unidades (SI), Roteiro do Céu, Telescópios, Galileu Galilei e O Céu nas Pontas dos Dedos, além de mais de 90 artigos. Interessa-se pela divulgação das observações astronómicas e da Física.

[www.platanoeditora.pt/?q=N/AUTHORSHOW/92&maid=292](http://www.platanoeditora.pt/?q=N/AUTHORSHOW/92&maid=292)

<sup>1</sup> O governo e a comunicação social (e.g. a BBC) britânicos, em 1974, passaram a usar a regra  $n-1$ ; fora da Europa, metade do continente americano e quase metade do africano utilizam a regra  $N$  (à excepção dos países árabes e do Brasil, trata-se dos países de língua francesa, espanhola ou portuguesa).

<sup>2</sup> E também nos países de língua inglesa, conforme a nota 1.

<sup>3</sup> É neste sentido que a mais recente edição do *Système international d’unités*, SI, aconselha a evitar o uso dos termos “ppb”, “parts per billion” ou “partie par billion”, e “ppt”, “parts per trillion” ou “partie par trillion”, porque o significado depende da língua.

<sup>4</sup> Quando os números se referem a unidades físicas podem-se ainda usar-se os prefixos SI para formar os nomes dos múltiplos decimais das unidades SI, como mega (M), giga (G), tera (T), etc. Por exemplo, 4,5 TW em vez de 4,5 biliões de watts. Tais prefixos não são admitidos em alguns casos, por exemplo, na indicação do número de entidades ou pessoas de um conjunto: pode-se dizer que há actualmente no mundo (em 2014) cerca de 7 mil milhões de pessoas ( $\approx 7\,000\,000\,000$ ) mas nunca se poderá admitir uma indicação como “cerca de 7 gigapessoas”!



# Ver as coisas por dentro

Carlos Fiolhais

No presente ano passa o centenário do Prémio Nobel da Física atribuído ao alemão Max von Laue, pela “sua descoberta da difracção dos raios X pelos cristais”. Esse foi um dos pretextos invocados pelas Nações Unidas para designarem 2014 como o Ano Internacional da Cristalografia. De facto, a ideia que conduziu a essa descoberta data, segundo o próprio autor, de Fevereiro de 1912. Num passeio pelo *Englischer Garten* em Munique, von Laue, que já era doutor por Berlim desde 1903 (tinha sido aluno de um outro Max, Max Planck), foi estimulado por uma conversa com Paul Ewald, então estudante doutoral de Arnold Sommerfeld. O problema de Ewald tinha a ver com a passagem de luz visível por um cristal, mas Laue (que então ainda não era von Laue, pois só mais tarde, e à custa do pai, ganharia tal distinção nobiliárquica) pensou que faria mais sentido fazer passar raios X pelos cristais. Já se conhecia o tamanho típico das distâncias interatómicas e havia bons motivos para suspeitar que o comprimento de onda dos raios X era da mesma ordem de grandeza.

Apesar de alguma resistência inicial à ideia por parte de Sommerfeld, o certo é que dois assistentes deste, Paul Knipping and Walter Friedrich, na Universidade Ludwig Maximilian de Munique, logo realizaram a experiência usando um vulgar cristal de sulfato de cobre, seguindo as recomendações de von Laue, que era um teórico e não um experimentalista. O padrão de interferência da radiação X numa chapa fotográfica era manifesto, confirmando duas coisas: por um lado, a natureza ondulatória dos raios X (na época não era ainda nada evidente!) e, por outro, a natureza atômica da matéria sólida (uma ideia que já estava interiorizada). O próprio Sommerfeld anunciou ao mundo científico a novidade em Junho de 1912. Agora dispunha-se de um meio para ver as coisas por dentro e a dupla familiar William Henry Bragg e William Lawrence Bragg, respectivamente pai e filho, rapidamente o aproveitaram para conseguirem avanços notáveis na área, num trabalho que lhes valeria o Nobel em 1915. O filho tinha então apenas 25 anos, o que lhe concede a distinção de ser o mais jovem de todos os laureados Nobel até hoje. Foram merecidamente rápidos os prémios



Nobel para a cristalografia. A técnica generalizou-se. Nem von Laue nem os Braggs poderiam imaginar que hoje a difracção de sólidos por raios X continua a ser, em várias disciplinas científicas, uma ferramenta essencial. Pode-se até falar de “indústria” da difracção de raios X, seja para descobrir a estrutura de uma proteína, seja para descobrir a natureza íntima de um mineral.

Von Laue obteve um lugar de professor em 1912 em Zurique, em 1914 em Frankfurt e em 1919 em Berlim. Haveria de se manter na Universidade de Berlim até 1943 quando se reformou. Foi, portanto, um dos sábios alemães que ficaram no seu país durante o governo de Hitler. Mas isso não o impediu de, com os limitados meios à sua disposição, ter resistido ao regime nazi. Ele era, de resto, um claro adepto da teoria da relatividade, que a “ciência alemã” procurava ridicularizar. Von Laue foi, em Berlim, colega e amigo de Einstein (os dois tinham a mesma idade), que deixou a Alemanha logo que Hitler chegou ao poder. Em 1945, numa operação de caça aos sábios alemães, um comando aliado prendeu-o em sua casa e levou-o para a famosa propriedade, repleta de microfones escondidos, de Farm Hall, na Inglaterra, onde, com Heisenberg, Hahn, von Weizsaecker e outros, receberia a notícia da bomba sobre Hiroshima. Na prisão von Laue escreveu um artigo sobre a interferência de raios X que foi publicado na *Acta Crystallographica*.

Von Laue, que recuperaria as honrarias científicas na Alemanha, morreu após um acidente automóvel em 1960, cinco anos após Einstein. Os dois simbolizam os dois grupos de físicos alemães, os que ficaram e os que abandonaram a sua pátria, temendo a perseguição nazi. A física unia-os a todos.

*Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.*

# Construção de recetores rádio como introdução à Física das Telecomunicações - parte I

Alexandre Aibéo<sup>1</sup>, Nuno André<sup>2</sup>, Ricardo Gama<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Campus Politécnico de Repeses, 3504-510 Viseu

<sup>2</sup> VPIphotonics GmbH, Carnotstr. 6, 10587 Berlim, Alemanha

<sup>3</sup> Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Lamego, Av. Visconde Guedes Teixeira, 5100-074 Lamego  
rgama@estgl.ipv.pt

## Resumo

Atualmente, todos os computadores pessoais vêm equipados de origem com periféricos de som com uma qualidade que, até há pouco tempo, estava destinada só a profissionais. Este é um recurso extraordinário, que passa despercebido à maior parte dos utilizadores. O presente artigo é o primeiro de uma série dedicada à descoberta de uma área fascinante da Física: as ondas de rádio. O ponto de partida proposto nas próximas páginas é a criação de um projeto que tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de receção de frequências ultra baixas (denominadas na sigla inglesa como VLF), de 0 a 96 kHz, suficientemente económico e de fácil construção. Este projeto está idealizado para permitir a sua implementação e manutenção por alunos do ensino secundário.

## Introdução

O presente artigo fornece um instrumento didático e metodológico através da utilização de observações em rádio, para sensibilizar e motivar os alunos dos vários níveis de ensino para as áreas científicas e tecnológicas. Tal tem sido sobejamente demonstrado, com enorme sucesso, por projetos como o Rádio Jove [1], SID [2,3], Inspire [4,5] e até por departamentos de divulgação de determinados observatórios astronómicos [6,7].

Esta abordagem é constituída por duas vertentes muito interessantes. Por um lado, introduz ao leigo interessado em física e astronomia uma área pouco explorada das emissões rádio, permitindo-lhe um acesso imediato a dados capazes de fornecer ferramentas para uma iniciação ao “fazer ciência”.

Por outro lado, apresenta a física e astronomia ao interessado na eletrónica, no rádio amadorismo ou nas telecomunicações. Este instrumento será de grande interesse em termos de motivação para a aprendizagem das ciências e para a utilização da matemática, quer na elaboração do projeto quer na utilização dos dados recolhidos.

O carácter eminentemente prático do projeto apresentado nas próximas secções permite desenvolver capacidades de organização e otimização de tarefas decorrentes da realização do trabalho de campo. Estabelece também uma ligação íntima entre tecnologia e ciência. Estas duas facetas encontrarão pontos de contacto em praticamente todas as áreas do programa curricular de Física no ensino secundário.

## O Projeto

Com a vulgarização dos computadores pessoais, ficou possível a qualquer pessoa, mesmo sem grandes conhecimentos técnicos, construir e utilizar um recetor de rádio muito versátil. Este recetor permite desenvolver atividades bastante interessantes, como por exemplo: receção de mensagens em código Morse de um emissor Património da Humanidade; receção de sinais horários emitidos por alguns emissores europeus e americanos; transmissões militares para submarinos; receção de sinais das estações de rádio-navegação russas *ALPHA* e até mesmo deteção de explosões solares ou de raios gama.

Nas atividades que propomos desenvolver, iremos trabalhar com ondas rádio de frequências muito baixas, inferiores a 96 kHz. Na altura e por questões técnicas, esta banda de frequências foi a utilizada pelos pioneiros das telecomunicações – Marconi, Fessenden, entre outros [8] – nas suas primeiras experiências, e conseqüentemente usada pelas primeiras estações comerciais e governamentais de rádio nas primeiras décadas do século XX [9]. Por operarem com



Fig. 1 - Aldeia de Anthorn com a estação emissora atrás. Fotografia gentilmente cedida por Simon Ledingham.

frequências da ordem dos kHz, estas primeiras estações de telecomunicações necessitavam de antenas muito grandes (Figura 1) para serem eficazes, tornando-as dispendiosas e de difícil manutenção.

Mais recentemente, com o desenvolvimento da tecnologia, a utilização destas frequências baixas caiu em desuso, tendo sido substituídas por sistemas mais práticos que operam a frequências bem mais elevadas.

Atualmente, esta banda é maioritariamente utilizada para emissões militares, uma vez que estas frequências permitem obter uma cobertura global do planeta e têm a capacidade de penetrar na água dos oceanos a profundidades que possibilitam a comunicação com submarinos submergidos.

Uma lista dos emissores militares mais ativos é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1

Frequência f/Hz	Nome	Latitude	Longitude
16 400	JXN	66,967°	13,883°
19 600	GBZ	54,900°	-03,267°
20 270	ICV	40,917°	09,733°
20 900	FTA	48,550°	02,567°
21 750	HWU	46,717°	01,250°
22 100	GQD	54,733°	-02,883°
23 400	DHO38	53,083°	07,617°
24 000	NAA	44,650°	-67,283°
25 200	NML	46,367°	-98,333°
26 700	TBB	37,417°	27,317°
37 500	NRK/TFK	63,850°	-22,467°
40 800	NAU	18,400°	-67,183°
45 900	NSY	37,126°	14,436°

## O material

As placas de som modernas permitem taxas de amostragem até 48 kHz, 96 kHz ou mesmo 192 kHz. Pelo teorema de amostragem [10], com estas frequências de amostragem é possível receber sinais até 24 kHz, 48 kHz e 96 kHz respetivamente. Estas frequências abrangem as bandas de rádio que habitualmente são designadas de frequências muito baixas (ou VLF - *Very Low Frequencies* em inglês), dos 0 aos 30 kHz, e parte das frequências baixas (ou LF - *Low Frequencies* em inglês) dos 30 kHz aos 300 kHz.

Uma vez que o nosso objeto de estudo são as frequências que vão de 0 aos 96 kHz, chamaremos por simplificação VLF a esta banda de frequências. Ou seja, referir-nos-emos a VLF como todas as frequências que se conseguem receber com um simples periférico de som de um computador.

Partindo do princípio que o leitor já tem à sua disponibilidade o material necessário mais dispendioso – um computador pessoal – é necessário começar por instalar *software* que calcule as transformadas de Fourier [10] dos sinais que iremos receber através do periférico de som do computador.

Ao determinar a transformada de Fourier do sinal, este é decomposto nas várias frequências que o constituem, permitindo posteriormente a representação gráfica do espectro obtido. Existem várias opções gratuitas disponíveis de *software* que implementam a transformada de Fourier, sendo que uma excelente opção é o *Spectrum Lab*. Este programa foi criado pelo rádio amador Wolfgang Büscher e está livremente disponível na internet<sup>1</sup>.

Instalado o *software*, estamos prontos para começar a montar o nosso recetor de VLF.

## Primeira montagem

A primeira montagem que vamos explorar nesta secção é muito simples. Consiste apenas numa bobine de fio de cobre revestido e um condensador (formando um circuito ressonante sintonizável para uma frequência central), ligados diretamente à placa de som do computador (Figura 2), preferencialmente através de um cabo coaxial com alguns metros de comprimento.

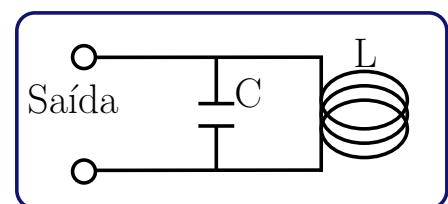


Fig. 2 - Primeira configuração.

A bobine assumirá o papel de antena, uma vez que é nela que será induzida, pela componente do campo magnético das ondas de rádio que iremos receber, uma tensão elétrica – Lei de Faraday [11]. Como os sinais que estamos interessados em estudar são muito fracos, a bobine que vamos construir deve ter a área (secção reta) e um número de voltas de fio (espiras) o maior possível, de forma a maximizar o ganho do sinal.

Por uma questão de facilidade de construção, vamos optar por uma configuração quadrada para a antena. Ela terá 200 m de fio de cobre revestido enrolado numa estrutura quadrada de dimensões

<sup>1</sup> <http://www.qsl.net/dl4yhf/spectra1.html>





Fig. 3 - Antena num local de observação.

$1 \times 1 \text{ m}^2$  (Figura 3). Esta escolha não é única, como uma pesquisa rápida na internet pode mostrar. As bobines podem ter várias tamanhos e formas, desde circulares a triangulares ou até mesmo octogonais [12]. O critério de escolha deve residir na maximização da área e do número de voltas. Outros critérios, como a portabilidade e o preço, podem ser relevantes.

Depois de construída a antena e montado o circuito, é preciso determinar a sua frequência de ressonância, eventualmente ajustando-a para a banda de frequências que nos interessa. Esta configuração é conseguida através de um simples circuito LC, para o qual a frequência de ressonância é dada por [11]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Quando os indutores são enrolados em bobinas, podemos usar expressões tabeladas para calcular a sua indutância, o que permite obter estimativas próximas dos valores reais para várias configurações geométricas. Para uma antena quadrada o valor da indutância, cuja unidade SI é o henry (H), é dada por [13]:

$$L = \frac{2a\mu_0 n^2}{\pi} \ln\left(\frac{16a}{b}\right) \quad (2)$$

onde  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$  é a permeabilidade magnética do vácuo,  $a$  é comprimento do lado em metros,  $b$  é a largura do enrolamento em metros e  $n$  o número de voltas.

As incorreções das medidas e da tolerância da capacidade  $C$ , tipicamente da ordem dos  $\pm 10\%$  em condensadores normais, tornam difícil o cálculo programático da frequência de ressonância  $f_0$ .

Além disto, o próprio enrolamento do fio, na construção da antena, vai fazer com que esta tenha uma determinada capacidade intrínseca  $C_0$ , uma vez que vamos enrolar fio condutor lado a lado. As várias voltas de fio vão gerar um valor considerável de capacidade, que deve ser tida em conta no cálculo da frequência de ressonância do circuito [12].

Se tivermos acesso a algum material de laboratório, como um osciloscópio e um gerador de sinal, podemos verificar experimentalmente a frequência de ressonância da nossa antena e determinar os valores da sua indutância e capacidade. Ligando uma pequena bobine (acoplada à antena) ao gerador de sinal e o osciloscópio à antena, como ilustrado na Figura 4, podemos ir variando a frequência do gerador

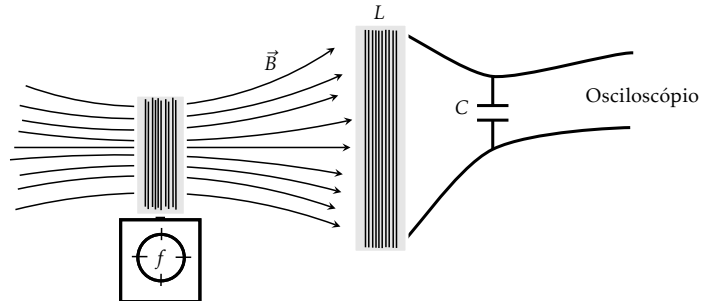


Fig. 4 - Verificação da frequência de ressonância de LC: A distância entre  $L$  e o emissor de teste pode ser de alguns centímetros. É importante garantir que a bobine e o emissor de teste não se movam durante as medições.

até encontrar a que cria a maior amplitude de tensão na antena, será esta a sua frequência de ressonância.

Alterando o valor da capacidade do condensador  $C$ , que tipicamente terá que ser da ordem dos nF, e repetindo as medições, podemos determinar a indutância e capacidade intrínseca da nossa bobine.

Estes valores serão importantes se desejarmos ajustar a frequência de ressonância da antena, alterando futuramente a capacidade  $C$ . Sabendo que o valor da capacidade de condensadores em paralelo é dado pela soma das capacidades de cada um, podemos reescrever a equação (1) de forma a obter explicitamente os valores pretendidos:

$$\begin{cases} f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0(C_0 + C_1)}} \\ f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0(C_0 + C_2)}} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} L_0 = \frac{f_2^2 - f_1^2}{2\pi(C_1 - C_2)f_1^2 f_2^2} \\ C_0 = \frac{C_2 f_2^2 - C_1 f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \end{cases} \quad (3)$$

Obtendo duas medições de frequências de ressonância para valores de capacidades diferentes, conseguimos determinar as características físicas da antena, ou seja, os valores de  $C_0$  e  $L_0$ .

Depois de tudo montado e adequadamente testado no laboratório, é altura de começar a registar as primeiras observações de VLF. Para tal devemos colocar a antena a alguns metros de distância do computador com que estamos a fazer as medições (este pode gerar interferência eletromagnética na banda VLF), e escolher um local o mais longe possível de fontes de ruído eletromagnético, como eletrodomésticos ou postes de rede elétrica.

É muito importante ter atenção que qualquer equipamento desenvolvido sem nenhum tipo de controlo mais cuidado ou certificação poderá causar estragos no computador ou até mesmo no experimentalista. Assim, é necessário extremo cuidado para nunca utilizar o equipamento durante trovoadas, perto de fontes de alta tensão ou outras situações que

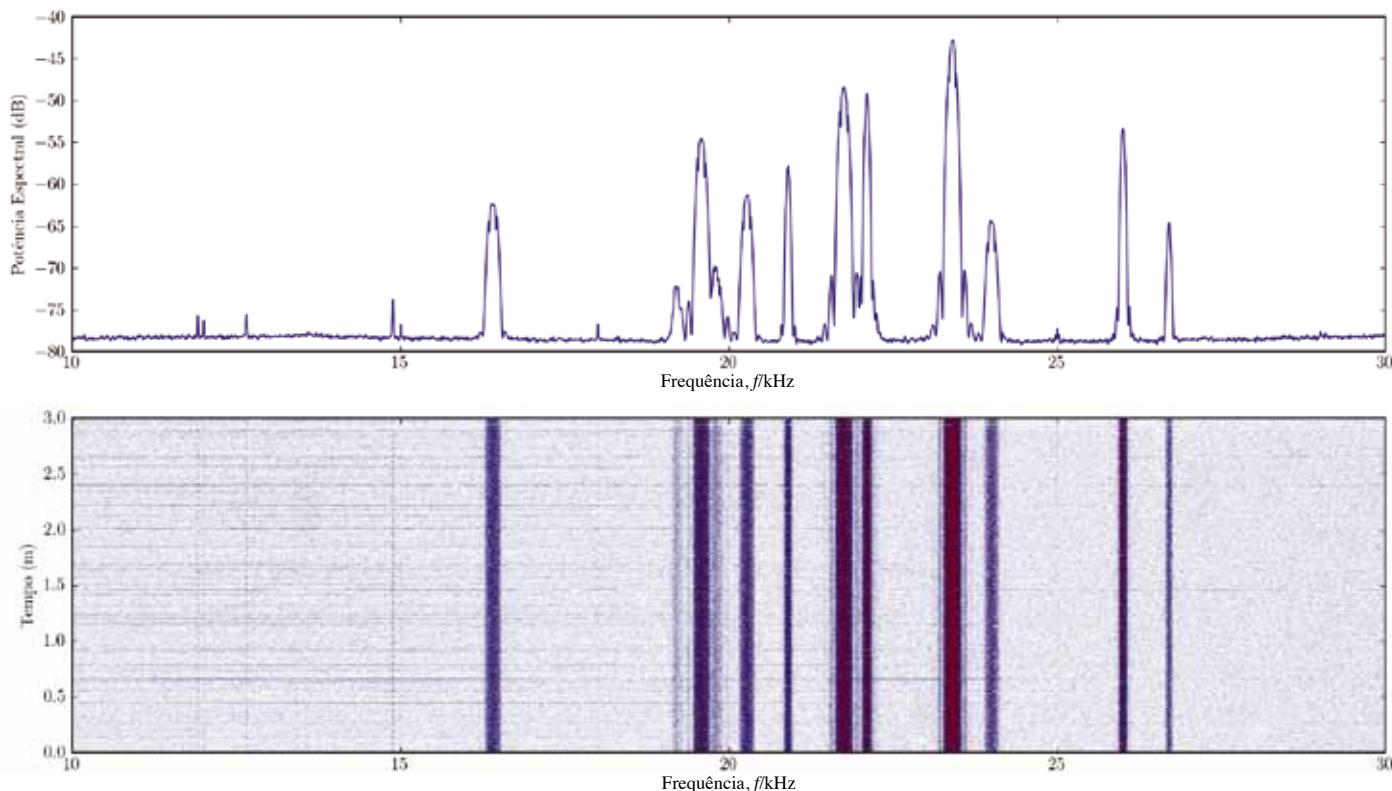


Fig. 5 - Espectro entre 10 kHz a 30 kHz, obtido no dia 2 de Fevereiro de 2011 no Miradouro de São Cristóvão, Serra do Montemuro (41,052°, -7,928°).

claramente nos colocam em perigo.

Podemos minimizar o risco de danificar a placa de som do computador, alterando o circuito anterior de modo a incluir dois díodos, como mostra a Figura 6.

Os dois díodos servem para proteger a placa de som de sinais com elevada amplitude, que possam ser induzidos na bobine. Os díodos só permitem a passagem de corrente quando sujeitos a uma diferença de tensão superior a um dado valor, dependente do material de que são formados. Por exemplo, escolhendo díodos de silício, essa tensão é de aproximadamente 0,7 V e assim, sempre que houver picos de tensão superiores a esse valor, os díodos irão limitá-la, impedindo que estes sinais atinjam a placa de som e eventualmente a danifiquem.

É de notar que estas são precauções mínimas que podem ser implementadas e que não invalidam uma utilização sempre cuidada do material.

Concluídos estes passos, temos à nossa disposição o nosso primeiro recetor de VLF. No próximo artigo iremos melhorar o mesmo e utilizá-lo em atividades práticas.

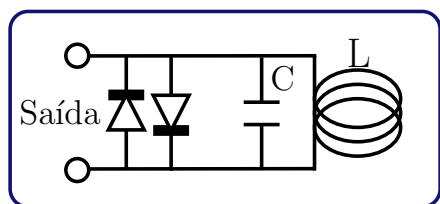


Fig. 6 - Segunda configuração.

### Agradecimentos

Os autores agradecem os comentários e recomendações de melhoria feitas pelo revisor anónimo, as quais enriqueceram o documento final.

### Referências

1. <http://radiojove.gsfc.nasa.gov/>
2. D. Scherrer *et al*, "Distributing space weather monitoring instruments and educational materials worldwide for IHY 2007: The AWESOME and SID project", *Advances in Space Research* 42(11), 1777-1785 (2008).
3. <http://solar-center.stanford.edu/SID/>
4. J. A. Marshall, "INSPIRE: A VLF Radio Project for High School Students", *The Physics Teacher* 45, 42-45 (2007).
5. <http://theinspireproject.org/>
6. P. Pratap e J. E. Salah, "Radio Astronomy: A Strong Link Between Undergraduate Education and Research", *Journal of Science Education and Technology* 10(2), 127-136 (2001).
7. <http://www.haystack.mit.edu/edu/index.html>
8. T. K. Sarkar *et al*, *History of Wireless*, John Wiley Sons Inc., 2006.
9. W. J. Byron, "The Monster Antennas Descendants of ancient systems are alive and well", *Communications Quarterly* 6(2), 5-24 (1996).
10. R. G. Lyons, *Understanding Digital Signal Processing*, Prentice Hall PTR, 2001.
11. R. Serway e J. Jewett, *Physics for Scientists and Engineers*, Brooks Cole, 6 edition, 2003.
12. J. J. Carr, *Practical Antenna Handbook*, McGraw-Hill, 2001.
13. J. J. Carr, *RadioScience Observing - Vol. 1*, Prompt publications, 1998.

# Um livro indispensável a um professor de Física e Química

**Maria Helena Caldeira**

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

helena@fis.uc.pt

Não tenho qualquer dúvida de que o livro “Ensino Experimental das Ciências – Um Guia para Professores do Ensino Secundário. Física e Química” de Paulo Simeão Carvalho, Adriano Sampaio e Sousa, João Paiva e António José Ferreira, recentemente editado pela Universidade do Porto, será uma obra de referência no campo da Didática das Ciências Experimentais. Corolário da experiência acumulada pelos autores em largos anos de docência e de formação inicial e contínua de professores, tem como principal objetivo “ajudar a desenvolver um conjunto de competências que levem os professores a valorizar mais o trabalho prático e experimental e a implementá-lo de uma forma adequada à visão atual da Epistemologia e da Didática das Ciências”. Esta preocupação indicia uma perspetiva profundamente moderna da Educação em Ciência. Revela também que esta obra proporcionará aos professores sobejas oportunidades de reflexão, sobre como facultar aos jovens experiências de aprendizagem que lhes permitam apreciar as razões pelas quais é importante aprender Ciências. Porque é nesta perspetiva didática que se preconiza uma Educação em Ciência, sobre a Ciência e pela Ciência.

O presente volume (o primeiro de dois) – que aborda temas específicos de Física e de Química – está organizado em cinco capítulos. Os dois capítulos iniciais são dedicados às bases subjacentes ao significado da Ciência, da sua natureza e das implicações do seu ensino, nomeadamente à prática laboratorial e experimental.

No Capítulo 1 é feita uma introdução à natureza e processos da Ciência e, no Capítulo 2, apresenta-se uma visão geral atualizada das principais conclusões da investigação em Didática do Ensino Experimental das Ciências.

No Capítulo 3 é tratado um assunto que geralmente

cria muitas dificuldades e até controvérsias entre os docentes: a análise e o tratamento de dados experimentais. Grandezas e unidades, erros e incertezas na medição de grandezas, algarismos significativos, análise gráfica... tudo com exemplos práticos, respeitando sempre as normas e as recomendações atuais.

Os Capítulos 4 e 5 do livro abordam temas específicos do ensino experimental, respectivamente em Física e Química. É dedicada bastante atenção à organização do laboratório, aspeto que os autores reiteram como essencial para garantir que o trabalho experimental seja realizado com sucesso e em segurança. Porém, sobressai conjuntamente uma reflexão sobre conceitos científicos, uma opção que me apraz registar, pois não se dissocia, assim, a prática processual da conceptual: em vez de se limitarem à enumeração de orientações técnicas divorciadas da aprendizagem a que se destinam, os autores, a propósito da medição de grandezas físicas, a par com instruções e recomendações, aproveitam para aprofundar os conceitos com elas relacionados.

É ainda abordado o papel das atividades experimentais virtuais, como complemento ou alternativa aos trabalhos práticos tradicionais.

Outro pormenor importante nestes capítulos é o espaço dedicado à planificação e à execução experimental. O professor é ajudado a desenhar a atividade experimental e, depois, a executá-la: desde as decisões preliminares à montagem experimental, às normas de segurança, ao registo e análise de resultados...

A comunicação de resultados mereceu um destaque especial, dada a sua importância em Ciência.

Neste livro nada foi descurado, nenhum detalhe foi esquecido. Sempre que possível, procedeu-se à ilustração com exemplos concretos e exequíveis, quer no ponto de vista das teorias que suportam a aprendizagem das ciências, quer na execução de atividades experimentais, quer ainda na sua exploração didática e no tratamento de resultados.

A bibliografia em que a obra se apoia é vasta e atual.

Outro aspeto relevante: o caráter de certo modo intemporal deste trabalho. É de realçar a opção feita de o conteúdo do livro não se cingir aos programas atuais. Estamos perante uma obra útil no presente, mas também no futuro, independentemente das alterações programáticas que vierem a ocorrer.

Como os autores referem, “mais importante do que discutir se o trabalho prático *deve ou não deve* ser realizado no ensino das ciências é discutir *como* utilizá-lo de modo *eficaz*”. De facto, parece consensual que o ensino prático e experimental desempenha um papel fundamental na Educação em Ciência. No entanto, apesar de a prática laboratorial ser consignada como obrigatória nos programas atualmente em vigor, a realidade mostra que persiste ainda uma percentagem elevada de professores de Ciências que dedica um tempo muitíssimo reduzido ao ensino experimental. As razões que eventualmente originam este comportamento são, talvez, medos e insegurança, decorrentes de uma provável formação inicial deficiente. Além disso, muitos docentes que valorizam e não descumem o trabalho laboratorial/experimental não o fazem de maneira profícua. É dada primazia a demonstrações e verificações experimentais, bem como a metodologias reveladoras de fraca atualização didática, no que diz respeito ao modo como devem ser realizadas com eficácia as atividades práticas de laboratório.

A preocupação constante que ressalta da leitura deste livro é a de ser útil e de poder contribuir eficazmente para um ensino melhor. Contém todo um saber adquirido e consolidado na experiência, na utilização no terreno, no cuidado com a formação, na atualização didática proveniente da investigação. Elaborado com grande rigor, profundidade e cuidado, constitui, de facto, não só um excelente meio de atualização como um grande apoio à resolução de dificuldades sentidas por todos os professores e um forte estímulo à realização adequada e eficaz da prática experimental-laboratorial, no Ensino da Física e da Química.



**“Ensino Experimental das Ciências – Um Guia para Professores do Ensino Secundário. Física e Química”**

Paulo Simeão Carvalho, Adriano Sampaio e Sousa, João Paiva e António José Ferreira  
U. Porto Editorial (2012)



# Lei do inverso do quadrado da distância: uma abordagem económica usando o retroprojektor

Adriano Sampaio e Sousa<sup>1</sup>, Paulo Simeão Carvalho<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Escola Secundária Fontes Pereira de Melo, Porto, Portugal

<sup>2</sup> Instituto de Física dos Materiais da Universidade do Porto (IFIMUP), Portugal

<sup>3</sup> Departamento de Física e Astronomia, Unidade de Ensino das Ciências, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal

sampaio.sousa@netcabo.pt; psimeao@fc.up.pt

## Resumo

Neste trabalho apresenta-se uma abordagem da lei do inverso do quadrado da distância, utilizando como fonte pontual um retroprojektor. A medição da iluminação recebida num ecrã de projeção é feita com um fotómetro e a distância à fonte com uma simples fita-métrica. Pretende-se mostrar que este estudo pode ser feito usando apenas recursos existentes nas escolas, sem comprometer o formalismo científico exigível ao nível do ensino secundário.

## Introdução

A lei do inverso do quadrado da distância está presente em vários fenómenos físicos, como por exemplo a atração gravitacional, as interações elétricas entre cargas pontuais ou a atenuação da radiação e do som no espaço a partir de fontes pontuais.

Esta lei é tradicionalmente abordada nos programas de física pré-universitária e universitária. Há currículos baseados numa perspetiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) que utilizam contextos familiares aos alunos para a abordagem dos conceitos físicos, fazendo uso deste modelo físico-matemático e aplicando-o à resolução de problemas. Exemplos disso são o currículo *Cell Phone Radiation iLab* desenhado pela Northwestern University's Office of Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education Partnerships e pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) [1] e o programa português de física do ensino secundário [2]. Em qualquer dos casos, a abordagem do fenómeno de atenuação da radiação eletromagnética pode ser feita usando micro-ondas [3] ou radiação luminosa [4].

Em geral, o uso das micro-ondas não é recomen-

dável em sala de aula, por não estar provado que a sua manipulação seja totalmente segura para os alunos; além disso, o equipamento necessário tem um custo demasiado elevado para os orçamentos das escolas pré-universitárias. Por outro lado, os dados experimentais obtidos com micro-ondas apresentam, em geral, elevada dispersão, que dificulta a sua análise e limita a fidelidade dos resultados.

No que respeita à radiação luminosa, o seu uso apresenta claras vantagens processuais e económicas. O procedimento experimental pode ser realizado com uma grande variedade de equipamentos, geralmente disponíveis em qualquer laboratório escolar e de baixo custo: basta dispor de uma fonte de luz pontual e isotrópica (neste modelo de fonte, a radiação é emitida com a mesma intensidade em todas as direções), uma fita métrica ou outro dispositivo para medir distâncias e um medidor de luz (habitualmente designado por luxímetro).

O retroprojektor, cuja utilização tende a reduzir-se face aos recursos digitais, pode ser uma boa opção para funcionar como fonte de luz. Ele apresenta algumas vantagens [5]: existe na maioria das escolas, é relativamente barato, a luz produzida é suficientemente intensa para a experiência ser realizada numa sala com iluminação ambiente e aproxima-se do modelo de fonte pontual; por outro lado, é um equipamento compacto que incorpora simultaneamente um circuito elétrico e um sistema ótico, prontos a usar.

## Teoria

Para estudar a atenuação da radiação luminosa emitida por uma fonte pontual e isotrópica, temos de considerar um modelo físico-matemático [6], que depois irá ser testado experimentalmente.

Como condição de partida, considere-se um meio *homogéneo* e *isotrópico*, no qual a radiação se propaga com o

mesmo valor de velocidade em todas as direções. Consequentemente, em cada instante, a frente de onda terá forma esférica.

A área total da superfície esférica da frente de onda, correspondente a  $4\pi r^2$  em que  $r$  é o raio da esfera, aumenta com o quadrado da distância ( $r^2$ ) à fonte pontual S. Este facto é evidenciado na Figura 1, considerando uma área hipotética A.

Assim, a energia proveniente da fonte pontual vai sendo transferida para uma área total cada vez maior, o que resulta na atenuação da radiação recebida em cada ponto.

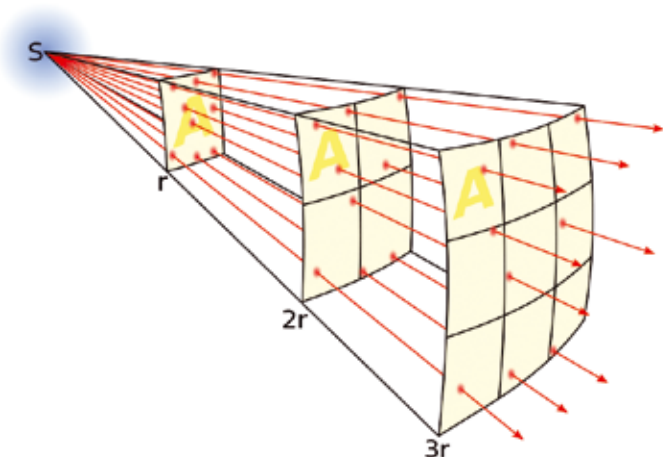


Fig. 1 - Propagação da radiação a partir de uma fonte pontual S, cortesia de Wikimedia Commons.

Este modelo qualitativo pode ser transformado num modelo quantitativo, através da introdução de definições de algumas grandezas fotométricas [7].

A intensidade luminosa  $I_v$  da fonte S, é definida como o fluxo luminoso  $\Phi_v$  por unidade de ângulo sólido; esta grandeza exprime a direcionalidade da energia radiada. Para um ângulo sólido  $\Omega$ , o fluxo luminoso total será, então,

$$\Phi_v = I_v \Omega \quad (1)$$

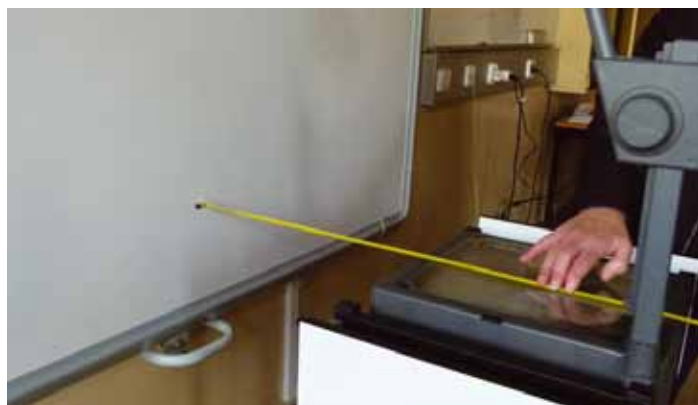


Fig. 2 - Medição da distância da fonte de luz ao ecrã.

No caso de uma fonte pontual, a iluminância  $E$  define-se como o fluxo luminoso por unidade de área:

$$E = \frac{\Phi_v}{A} \quad (2)$$

Substituindo  $\Phi_v$  da equação (1) e usando a definição de ângulo sólido,  $\Omega = \frac{A}{r^2}$ , obtém-se:

$$E = \frac{I_v}{r^2} \quad (3)$$

Ou seja, a iluminância é inversamente proporcional ao quadrado da distância à fonte pontual. Note-se que:

- A intensidade da fonte luminosa ( $I_v$ ) exprime-se no SI em candelas.
- A candela (cd) é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite luz monocromática de frequência  $540 \times 10^{12}$  Hz e cuja intensidade energética nessa direção é de  $1/683 \text{ W sr}^{-1}$ .
- A iluminância ( $E$ ) exprime-se no SI em lux.
- Estas duas unidades estão relacionadas (fonte isotrópica) da seguinte maneira:

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ cd} \times 1 \text{ sr} \times 1 \text{ m}^{-2}$$

### Atividade experimental

Para testar o modelo teórico, usámos como fonte luminosa (pontual) um retroprojektor (intensidade de aproximadamente 4800 lúmens ANSI, ou seja 4800 cd sr), um ecrã de projeção, uma fita métrica e um fotómetro (TES 1330 digital lux meter).



Fig. 3 - Medição da iluminância do ecrã.

Foi utilizado o seguinte procedimento:

1. Ligou-se o retroprojektor de modo a que a luz incidisse no ecrã, formando uma imagem retangular bem focada.
2. Com a fita métrica, mediu-se a distância da fonte de luz ao ecrã (Fig. 2).
3. Encostou-se o fotómetro ao ecrã, com o sensor voltado para a fonte de luz e registou-se o valor da iluminação (Fig. 3).
4. Fez-se variar a distância do retroprojektor ao ecrã e repetiu-se o procedimento descrito em (2) e (3).

## Resultados e discussão

A Tabela 1 sintetiza os resultados obtidos.

Tabela 1 - Resultados experimentais da iluminância em função da distância da fonte ao ecrã.

$r/m$	$E/lux$
1,12	$3,95 \times 10^3$
1,24	$3,20 \times 10^3$
1,36	$2,60 \times 10^3$
1,48	$2,19 \times 10^3$
1,60	$1,88 \times 10^3$
1,72	$1,66 \times 10^3$
1,84	$1,47 \times 10^3$
1,96	$1,31 \times 10^3$
2,08	$1,17 \times 10^3$
2,20	$1,05 \times 10^3$
2,32	$9,50 \times 10^2$
2,44	$8,80 \times 10^2$
2,56	$8,20 \times 10^2$

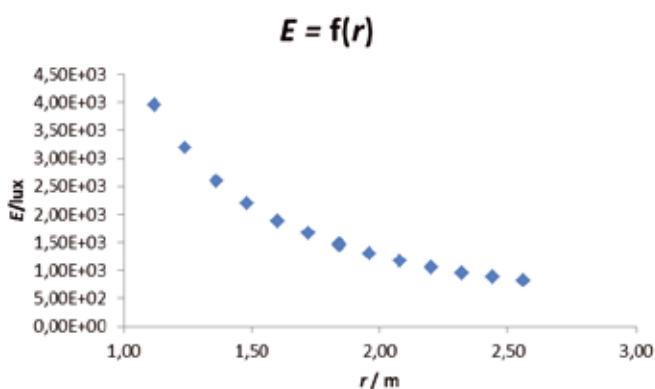


Fig. 4 - Gráfico da iluminância em função da distância da fonte ao ecrã.

A representação gráfica de  $E = f(r)$  (Fig. 4), pela sua forma, sugere uma relação quadrática, de expoente negativo, entre as duas variáveis.

Com efeito, construindo o gráfico de  $E = f(r^{-2})$ , é evidenciada uma relação linear entre  $E$  e  $r^{-2}$ , como se pode confirmar pelo bom ajuste da reta aos dados experimentais (Fig. 5), quer por uma análise visual, quer pelo valor quadrático do coeficiente de Pearson ( $R^2$ ).

Este gráfico apresenta uma ordenada na origem diferente de zero, cujo valor traduz a iluminância ambiente durante a recolha de dados,  $(5 \pm 2) \times 10$  lux. O declive deste gráfico indica o valor da intensidade luminosa da fonte pontual,  $(4,82 \pm 0,05) \times 10^3$  cd sr. As incertezas destes valores foram calculadas através da função PROJLIN, do MS Excel.

O valor obtido experimentalmente para a intensidade luminosa da fonte é muito próximo do valor indicado pelo fabricante do retroprojektor (erro inferior a 0,5 %).

## Conclusões

O modelo escolhido para a atenuação da iluminância de uma fonte pontual e isotrópica com o inverso do quadrado da distância, descreve bem o fenómeno observado experimentalmente para a radiação visível.

Para uma generalização adequada deste modelo à radiação eletromagnética em geral, a experiência teria que ser repetida com diferentes tipos de radiações.

Seria interessante discutir com os alunos quais as aproximações que foram feitas na escolha do modelo e em que medida estas podem afetar os resultados obtidos.

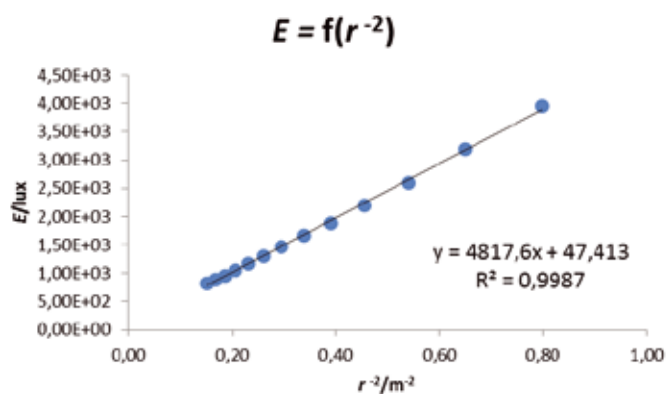


Fig. 5 - Gráfico da iluminância em função do inverso do quadrado da distância da fonte ao ecrã.

## Referências

1. Northwestern University's Office of Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education Partnerships, and Massachusetts Institute of Technology (MIT), "Cell Phone Radiation iLab Curriculum" (2009).
2. Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário, "Programa de Física e Química A, 11º ano", Lisboa (2003).
3. Physics explorer, "Microwaves - Inverse square Law" (<http://lrrpublic.cli.det.nsw.edu.au/lrrSecure/Sites/Web/prelimphysics/prelim/index.htm>, acessado a 7 de maio de 2013)
4. A. D. Tavares, L. P. Sosman, R. J. M. da Fonseca, L. A. C. P. da Mota e M. Muramatsu, "Using a photoresistor to verify irradiance inverse square and Malus' laws", AIP Conference Proceedings 992, 193 (2008).
5. D. S. Goodman, "Optics Demonstrations with an Overhead Projector", SPIE/ETOP Proceedings, 2525, 1 (1995).
6. M. Ferreira e G. Almeida, "Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas", 7ª edição, Plátano Editora, Lisboa (2004).
7. G. Almeida, "Sistema Internacional de Unidades (SI)", 2ª edição, Plátano Editora, Lisboa (1997).



### Adriano Sampaio e Sousa

é professor aposentado do ensino secundário. Durante uma década foi assistente convidado do Departamento de Física e Astronomia da FCUP. Os seus interesses estão relacionados com a didática da física e a formação de professores.



### Paulo Simeão Carvalho é

professor auxiliar do Departamento de Física e Astronomia da FCUP. Os seus interesses são na área dos cristais líquidos, na didática da física e na formação inicial e contínua de professores.



# notícias

## Aconteceu

### Medalhas de prata e bronze nas Olimpíadas Ibero-americanas de Física

Todos os estudantes portugueses que representaram Portugal na XVIII Olimpíada Ibero-americana de Física regressaram da República Dominicana com um prémio.

As Olimpíadas Ibero-americanas de Física decorreram em Santo Domingo, na República Dominicana, de 22 a 29 de Setembro de 2013, tendo participado na competição 66 estudantes finalistas do ensino secundário de 19 países do espaço ibero-americano. Nesta prova, os jovens estudantes são convidados a demonstrar a sua preparação em Física em dois longos e difíceis exames de Física (um teórico e um experimental). O nível de conhecimentos requeridos para realizar estas provas vai muito para além do programa do secundário de Física, envolvendo por parte dos estudantes muito esforço e dedicação durante a fase de preparação. O vencedor absoluto desta olimpíada, que obteve a melhor classificação no conjunto dos dois testes, foi um estudante do México, Rafael Antonio García Mar.

Os *team-leaders* que acompanharam a delegação, Fernando Nogueira e Orlando Oliveira, fazem um balanço positivo da prestação portuguesa: “A prestação dos nossos estudantes no conjunto das duas provas foi bastante bom. Aliás, um dos alunos ficou a cinco centésimas da medalha de ouro e outro ficou também a cinco centésimas da medalha de prata. Os alunos que obtiveram uma menção honrosa tiveram também prestações que os deixaram muito, muito próximos de uma medalha (de bronze).”

Os docentes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra salientam que “as questões da prova teórica eram mais académicas que o habitual, o que favorece alunos com um perfil menos criativo, que é o perfil dos estudantes portugueses. Mesmo assim, e atendendo a que a maioria dos temas abordados não consta sequer dos programas oficiais do ensino português, ficou mais

uma vez bem evidente o trabalho individual de preparação que estes alunos realizaram ao longo do ano, para além da escola. As falhas organizacionais, que se notaram sobretudo na prova experimental, levaram a uma compressão da escala das notas, ficando os alunos separados por margens muito pequenas. E quando isto acontece, são os pequenos pormenores que decidem os prémios...”

A lista dos estudantes portugueses é a seguinte:

- João Augusto Ferreira Machado, E.S. c/ 3º ciclo do Restelo, Lisboa, medalha de prata
- Alexandre Carvalho Truppel, E.S. c/ 3º ciclo Aurélia de Sousa, Porto, medalha de bronze
- Ana Luísa Moreira de Carvalho, E.S. José Estevão, Aveiro, menção honrosa
- João Filipe Seabra da Costa, Agrupamento de Escolas de Aveiro, menção honrosa

As Olimpíadas de Física são uma actividade promovida pela Sociedade Portuguesa de Física com o patrocínio do Ministério da Educação e da Ciência, da Agência Ciência Viva e da Fundação EDP. O treino da equipa decorreu no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, integrado nas actividades da escola *Quark!* de Física para jovens.



Equipa portuguesa na XVIII Olimpíada Ibero-americana de Física OIbF'2013, que decorreu em Santo Domingo, na República Dominicana, de 22 a 29 de Setembro de 2013. Da esquerda para a direita: João Costa (Agrupamento de Escolas de Aveiro), João Machado (E.S. c/ 3.º ciclo do Restelo, Lisboa), Alexandre Truppel (E.S. c/ 3.º ciclo Aurélia de Sousa, Porto) e Ana Carvalho (E.S. José Estevão, Aveiro).

## Pareceres da SPF sobre programas e metas curriculares do Ensino Secundário

A SPF elaborou um parecer sobre o programa e metas curriculares de Física e Química A para os 10.º e 11.º anos de escolaridade e sobre as metas curriculares para o programa de Física do 12.º ano de escolaridade.

Este parecer foi elaborado durante o período de Discussão Pública e foi enviado para o Ministério da Educação e Ciência. Certamente que a equipa responsável do mesmo terá em consideração este contributo da SPF na revisão dos documentos que vier a realizar.

Para saber mais: [http://spf.pt/files/imprensa/Metas%20curriculares\\_SPFisica.pdf](http://spf.pt/files/imprensa/Metas%20curriculares_SPFisica.pdf)

## Participação da SPF no IAVE

O GAVE – Gabinete de Avaliação Educacional, do Ministério da Educação, foi reestruturado numa nova entidade, IAVE – Instituto de Avaliação Educativa, I.P., que vai ter as competências mais alargadas, nomeadamente,

- elaboração de exames
- formação de professores classificadores
- elaboração de provas de validação de competências linguísticas para estrangeiros
- elaboração de provas de acesso à carreira docente (componente geral e componente específica)
- elaboração de relatórios por exame/disciplina/item, etc.
- coordenação da aplicação de projectos internacionais em Portugal ( como PISA, PIRLS, TIMSS, ESLC).

Na nova estrutura, o Coordenador da Divisão de Educação da SPF, Carlos Portela, que fazia parte do Conselho Consultivo do GAVE, faz agora parte do Conselho Científico do IAVE, I.P., tendo sido ainda um dos quatro membros eleitos do conselho científico, para fazer parte do Conselho Geral.

Divulga-se ainda que para os efeitos previstos na alínea (a) do artigo 14.º da lei orgânica do IAVE, I.P., foi publicado um convite do conselho geral para a candidatura de eventuais interessados a membros do conselho directivo do IAVE, I.P.

## Publicação das actas da 18.ª Conferência Nacional de Física e do 22.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física

A FÍSICA 2012 realizou-se na Universidade de Aveiro de 6 a 8 de setembro de 2012. A Conferência e o Encontro decorreram sob um tema global unificador: “Comunicação e Informação em Ciência”. As actas da FÍSICA 2012, agora publicadas, contém muitas das contribuições à Conferência e ao Encontro Ibérico, e num formato inovador encerram o

excelente trabalho da Delegação Centro da SPF de organização dos dois eventos.

Para saber mais: <http://www.spf.pt/fisica2012/>

## Aula Aberta Subordinada ao Tema “Ser Feliz Com a Ciência”

**Maria João Santos**

No passado dia 14 de Outubro de 2013, no Colégio Salesianos de Lisboa, decorreu uma Aula Aberta subordinada ao tema “Ser feliz com a Ciência”.

O evento foi organizado pelo Departamento Curricular de Ciências Físico-Químicas e teve como oradores três personalidades que têm dedicado a sua vida à Ciência: o Professor Nuno Crato, atual Ministro da Educação e Ciência, o Professor João Seixas, docente do Instituto Superior Técnico e investigador do CERN e o Professor Pedro Abreu, igualmente docente do Instituto Superior Técnico e investigador do LIP.

O público-alvo da aula foram os alunos do 11.º e 12.º ano de Ciências e Tecnologias.

O Professor Pedro Abreu abriu a sessão apresentando a sua frase inspiradora: “Há duas maneiras de se viver: pode viver como se nada fosse um milagre, ou pode viver como se tudo fosse um milagre!” (A. Einstein). Esta frase tem servido de motivação para a sua carreira no domínio da investigação científica.



Aula aberta com os Professores Nuno Crato, João Seixas e Pedro Abreu (da esquerda para a direita)



Acrescentou o Professor: “A investigação permite-nos olhar o mundo de outra forma”.

O Professor João Seixas apresentou a frase “A felicidade existe quando o que pensamos, o que dizemos e o que fazemos estão em harmonia” (I. Gandhi). Nas suas palavras, enfatizou o fascínio de estar permanentemente perante o desconhecido, o que nos obriga a um constante esforço.

Finalmente, o Professor Nuno Crato, cuja frase inspiradora foi “*Our progress as a nation can be no swifter than our progress in education*” (J. F. Kennedy), sustentou o seu discurso na ideia de que a investigação traz felicidade.

Seguiu-se um período de questões por parte dos alunos presentes, das quais é possível destacar:

- Há limites para a curiosidade de um investigador?
- Qual a importância de um investigador trabalhar com jovens?
- Quando se faz investigação, como gerir os momentos de frustração?

Os oradores responderam a estas e outras questões, explicando-as com exemplos das suas vivências.

A escola esteve em festa e por isso agradece aos oradores convidados a magnífica partilha.

Um denominador comum, a Ciência traz Felicidade!

## 4º Encontro de Professores de Física e Química

**Francisco Serafim**

O Encontro de Professores de Física e Química teve as suas duas primeiras edições na Universidade do Algarve, Campus de Gambelas em Faro, sob o auspício dos Departamentos de Física e Química locais. A partir da terceira edição, o Encontro passou a ser organizado pela Direção Regional do Sul e Ilhas (DRSI) da SPF, com um forte apoio dos colegas dos referidos departamentos, mas tendo passado a ter lugar em Beja para garantir uma maior centralidade em relação à região sul. Assim, em 2013 chegámos ao 4º Encontro que decorreu no Instituto Politécnico de Beja, tal como em 2011. O objetivo primeiro do encontro é dar aos professores uma oportunidade de formação simultânea no ensino/aprendizagem experimental de ambas as disciplinas.

Mais uma vez, foi notório o interesse e o sucesso deste Encontro, que se reveste de especial importância para a atualização dos professores de Física e Química e para a troca de impressões científico/pedagógicas entre os participantes. Tiveram lugar duas palestras e catorze oficinas, frequentadas pelos participantes conforme os seus interesses e a disponibilidade de vaga nos laboratórios. No

final foi efetuada uma avaliação condicente com o grau de exigência das oficinas, para a obtenção dos diplomas com referência aos créditos atribuídos. Nesta edição participaram 57 professores, tendo cada um frequentado 4 oficinas pedagógicas entre o elenco das 14, cuja descrição completa está disponível na página web do encontro.

As palestras versaram sobre “O uso do GPS” e o “Contributo dos Métodos de Química para o estudo de peças de arte e seu restauro”, e foram proferidas respetivamente pelos professores Carlos Antunes (Univ. Lisboa) e António Candeias (Univ. Évora). As oficinas tiveram a coordenação de professores da Universidade do Algarve, Politécnico de Beja, Universidade Nova de Lisboa e Instituto Superior Técnico.

O Encontro é uma ação de formação acreditada pelo Conselho Científico-Pedagógico para a Formação Contínua, com 0,6 créditos para a progressão na carreira dos professores do grupo 510. Consideramos que a realização do Encontro em 2013 foi uma aposta ganha devido ao número de participantes e tendo em atenção as várias condicionantes atuais, quer económicas quer da vida das escolas. Acresce o facto de estabelecer uma regular alternância com a Conferência Nacional de Física, que se realiza nos anos pares, possibilitando à SPF uma presença anual junto dos professores.

Note-se que, embora a Conferência Nacional e o Encontro Ibérico sejam mais abrangentes na Física e Ensino de Física, este Encontro de Professores de Física e Química permite ter ações tanto no âmbito da Física como da Química, sendo assim também de bastante interesse para os professores das escolas portuguesas, que têm na quase totalidade dos casos que lecionar ambas as matérias.

Sendo um encontro na área da DRSI, e tendo a parceria das outras instituições da área geográfica abrangida, recebe no entanto professores de todo o país, atingindo uma relevância senão nacional, pelo menos muito além da área desta delegação.

Convém destacar o apoio dado pelo Instituto Politécnico de Beja que, devido aos seus modernos, equipados e espaçosos laboratórios permite a realização das oficinas num bom ambiente e, ainda mais importante, é o apoio que os professores de física e química do Instituto dão na realização dos trabalhos assim como os colegas das Escolas Secundárias locais que têm inclusivamente proposto e coordenado algumas das oficinas. O Instituto dispõe igualmente de um bom auditório e a cantina funciona mesmo ao sábado, o que reduz os tempos mortos durante a realização do Encontro.

A cidade de Beja tem, como referido, uma centralidade na área geográfica da DRSI, situando-se no interior mas com bons acessos rodoviários e de transportes públicos. As entidades da cidade contribuem sempre com um momento cultural que tem sido valioso.

Desafios para o futuro existem sempre, e um deles seria conseguirmos apoio para trazer alguns professores dos Açores e Madeira, bem como encontrar possibilidade para o encontro dispor de mais meio-dia, mas para tal será preciso



a cooperação das escolas onde os candidatos às ações exercem funções.

Para finalizar, neste Encontro os professores presentes fizeram uma petição à SPF para não esquecer o problema da dupla quotização a que estão obrigados para usufruírem dos benefícios de ambas as sociedades de que depende o seu labor: acham muito injusto terem que pagar 76 euros para serem membros das duas sociedades!

Para saber mais: <http://spf.pt/eventos/4ENPFQ/pt/>



## Vai acontecer

### Próxima Conferência Nacional de Física

A FÍSICA 2014 – 19ª Conferência Nacional de Física e 24º Encontro Ibérico para o Ensino da Física – irá decorrer de 2 a 4 de Setembro de 2014 no Instituto Superior Técnico, Lisboa. Esta conferência bienal, organizada pela Sociedade Portuguesa de Física, junta num mesmo evento investigadores, professores e estudantes, abrangendo o ensino universitário e secundário, numa atmosfera de celebração e partilha de conhecimentos e experiências na física.

A Conferência e o Encontro têm este ano em destaque os seguintes temas:

- Física Nobel: Higgs, Supernovas e o Universo, Grafeno
- Novos Materiais e Física Biomédica
- Ano Internacional da Cristalografia

São aceites contribuições em todas as áreas da física, para apresentação oral ou em poster.

Datas importantes

Submissão de resumos: 9 de Abril a 15 de Junho



Resposta aos autores: até 15 de Julho

Inscrições (prazo normal): até 15 de Julho

Submissão de manuscritos para as actas: até um mês após o final da Conferência.

Para saber mais: <http://fisica2014.spf.pt>

## Ano Internacional da Luz – 2015

No dia 20 de dezembro de 2013, a 68.ª Sessão da Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas proclamou oficialmente 2015 como o Ano Internacional da Luz e das Tecnologias Baseadas na Luz – IYL 2015.

Esta comemoração partiu de uma iniciativa de um vasto número de organismos científicos em conjunto com a UNESCO, e reunirá diversos intervenientes, incluindo sociedades científicas, instituições educacionais, plataformas tecnológica, organizações não-governamentais e parceiros privados.

Ao proclamar um Ano Internacional focado no tema da luz e das suas aplicações, a ONU vem reconhecer a importância de aumentar a percepção global sobre o papel das tecnologias baseadas na luz como veículo de promoção de um desenvolvimento sustentável, e como resposta a desafios globais actuais em campos como a energia, a educação, a saúde e a agricultura. A luz desempenha um papel fundamental na nossa vida quotidiana e é uma disciplina transversal à ciência deste século. Revolucionou a medicina e as telecomunicações, e é um elo de ligação entre aspectos culturais, económicos e políticos da sociedade global.

Para saber mais:

[http://www.eps.org/?page=event\\_iyol](http://www.eps.org/?page=event_iyol)



**INTERNATIONAL  
YEAR OF LIGHT  
2015**



# Acerca do Prémio Nobel de Física de 2013

Filipe Moura

O Prémio Nobel de Física de 2013 foi atribuído ao belga François Englert e ao britânico Peter Higgs “pela descoberta teórica de um mecanismo que contribui para a compreensão da origem da massa das partículas subatômicas, e cuja existência foi recentemente confirmada, através da descoberta da partícula fundamental prevista [o célebre bóson de Higgs], pelas experiências do acelerador de partículas LHC do CERN”.

A necessidade da existência do bóson de Higgs já foi referida por muitas vezes: possibilitar que as partículas elementares possuam massa, algo que à partida é vedado aos chamados “bósons de *gauge*” por ser incompatível com as simetrias que estão associadas às respetivas interações e com o seu comportamento quântico. (Cada interação tem associada uma simetria chamada “de *gauge*” e um bóson correspondente: para a interação eletromagnética é o fóton; para a interação nuclear forte é o glúon. Estas simetrias em particular permanecem intactas, e por isso estes bósons têm massa nula.) O chamado mecanismo de Higgs contorna este problema associado aos “bósons de *gauge*”, de forma a ser possível dar-lhes massa mediante a quebra “espontânea” (não explícita) da simetria a eles correspondente. No caso de interesse a simetria a ser espontaneamente quebrada é associada à interação nuclear fraca, e os “bósons de *gauge*” correspondentes, que adquirem massa, são denominados W e Z. (Posteriormente, durante a construção do chamado “Modelo Standard”, em conjunto com Abdus Salam e Sheldon Glashow, Steven Weinberg (Prémio Nobel da Física em 1979) seria o primeiro a observar que o mecanismo de Higgs também permitia dar massa aos fermiões – os quarks e os léptões. Desta forma o mecanismo de Higgs está na origem da massa de todas as partículas elementares.)



Fig. 1 - Peter Higgs

Este mecanismo surgiu no âmbito da física não relativista (nomeadamente da Matéria Condensada) em 1962, no trabalho de Philip Anderson (Prémio Nobel da Física em 1977); a sua introdução na Teoria Quântica de Campo seria feita dois anos depois, através de três artigos publicados independentemente num intervalo de poucos meses na revista *Physical Review Letters*. O primeiro desses artigos, submetido a 26 de Junho e publicado a 31 de Agosto de 1964, teve como autores Robert Brout e François Englert; o segundo, submetido a 31 de Agosto e publicado a 19 de Outubro do mesmo ano, teve como autor Peter Higgs; o terceiro e último, submetido a 12 de Outubro e publicado a 16 de Novembro, teve como autores Gerald Guralnik, Carl Richard Hagen e Tom Kibble.

Todos estes autores foram galardoados simultaneamente com outros prémios, como o Prémio Sakurai de Física Teórica em 2010. As regras da atribuição do Prémio Nobel, porém, são bem mais restritivas: os resultados têm de estar experimentalmente confirmados; os galardoados têm de estar vivos no momento da atribuição, e não podem ser mais do que três. A primeira regra invalida uma atribuição antes de Julho de 2012, quando a descoberta do bóson de Higgs, que concretiza o mecanismo homónimo, foi anunciada. Nessa altura infelizmente Robert Brout já havia falecido (em Maio de 2011), pelo que nunca poderia ter sido



Fig. 2 - Da esquerda para a direita: Tom Kibble, Gerald Guralnik, Carl Richard Hagen, François Englert e Robert Brout

galardoado. Para obedecer à regra dos três galardoados no máximo, o comité Nobel observou a data da publicação dos artigos. E a verdade é que, por uma questão de um mês, Guralnik, Hagen e Kibble viram-se impossibilitados de serem galardoados.

A questão tem levantado polémica.

Se o critério é puramente cronológico, a questão que se coloca é: por que razão não se limitaram a atribuir o Nobel a Englert, o único autor vivo do primeiro artigo? Existe um forte motivo científico para atribuir o Nobel a Higgs: foi o primeiro a notar e fazer a asserção de que o mecanismo referido implicava a existência de uma nova partícula, algo que nem Brout nem Englert haviam notado no seu artigo. No fundo, era esta a previsão mais importante, a que permitiria uma verificação experimental. Por isso a referida partícula passou a ser designada como “o bosão de Higgs” (o mecanismo associado também é comumente conhecido pelo mesmo nome, apesar de, como vimos, ter vários autores) – o nome não vem por acaso! Neste aspeto o pioneirismo de Higgs é incontestado, tal como o seu prémio Nobel.

Azar tiveram Guralnik, Hagen e Kibble, apesar de o seu artigo também prever a existência de uma nova partícula: foi o último a ser publicado. O pioneirismo de Higgs sai reforçado se considerarmos que o seu artigo havia antes (em Julho) sido submetido à revista *Physics Letters*, tendo sido rejeitado antes de ter sido re-submetido à *Physical Review Letters*. O problema, a haver um, estará nas regras do prémio, que talvez sejam demasiadamente restritivas. Pode lamentar-se a sorte de Kibble (que continuaria a trabalhar no modelo proposto, descobrindo propriedades relevantes) e dos seus colaboradores, mas o comité Nobel neste caso decidiu com critério. Infelizmente não pode dizer-se o mesmo do anterior prémio Nobel atribuído à Física Teórica de Partículas, com a exclusão injustificada de Nicola Cabibbo, que deveria ter partilhado o prémio com Kobayashi e Maskawa em 2008 pela previsão da possibilidade de mudança de sabor de quarks através da interação fraca.

### O mecanismo de Higgs na net

O mecanismo de Higgs é bastante técnico e requer conhecimentos aprofundados de Física, tornando-se por isso difícil de explicar os pormenores a leigos de uma forma rigorosa. Existe no entanto uma explicação dirigida ao público geral, baseada em analogias, protagonizada pelo físico português Ricardo Schiappa e transmitida no canal de televisão TVI com o título “Faça um bosão de Higgs em casa”. O vídeo está disponível em: <http://www.tvi.iol.pt/videos/13661546>

Em língua inglesa, merece destaque o projeto “A Capella Science”, que tem procurado explicar de uma forma acessível mas rigorosa conceitos avançados em Física, recorrendo a versões de canções pop bem conhecidas. Lá se encontram explicações musicadas e cientificamente corretas das teorias de supercordas, das massas dos neutrinos e também do bosão de Higgs. Para ver os vídeos existe um canal no YouTube: <http://www.youtube.com/user/acapellascience/videos>

# TABELA DE PUBLICIDADE 2014



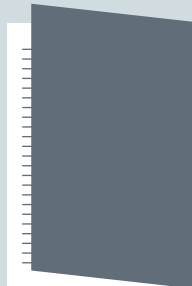
A) verso da capa



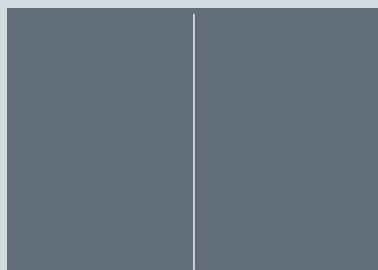
B) destacável/folha



C) verso da contracapa



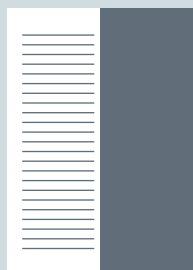
D) contracapa



E) página dupla



F) página inteira



G)  
coluna ou  
1/2 página

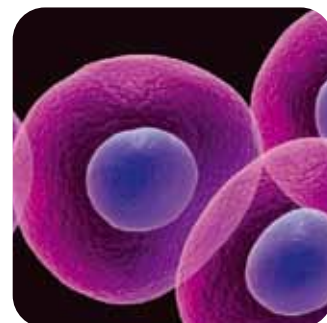
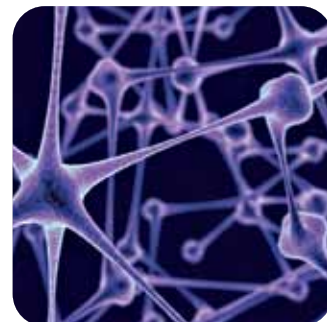
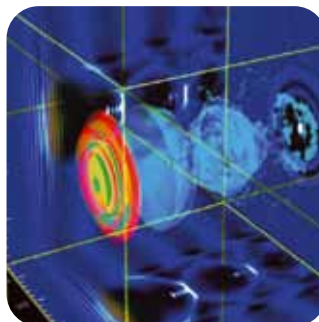
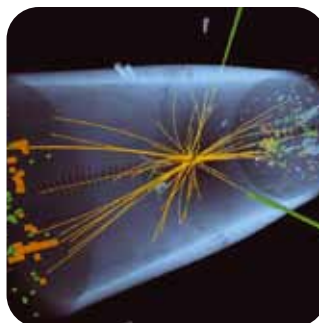


H)  
1/4 página  
ou faixa

Posição	Preço (Euros)	
	Ímpar	Par
A	900	
B	900	
C	900	
D	1200	
E	1000	
F	600	550
G	400	350
H	250	200
banner website	100/mês	



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



Aos preços da tabela acresce o IVA à taxa em vigor

Descontos de quantidade:

2X: -20%      3X: -25%      4X: -30%

Tiragem anual 2013:

5400 exemplares

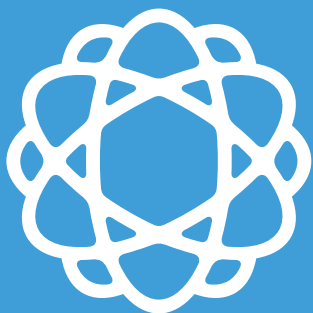
Contactos:

Sociedade Portuguesa de Física

Av. República 45 3ª eq. · 1050-187 Lisboa

Tel: 351 21 799 36 65 · spf@spf.pt





# FÍSICA 2014

---

19ª Conferência  
Nacional de Física

---

24º Encontro  
Ibérico para o  
Ensino da Física



**2 a 4 de Setembro de 2014**

## **Instituto Superior Técnico Lisboa**

---

### **Temas em destaque**

Física Nobel: Higgs, Supernovas e o Universo, Grafeno  
Novos Materiais e Física Biomédica  
Ano Internacional da Cristalografia

---

### **Submissão de trabalhos**

São aceites contribuições em todas as áreas da física,  
para apresentação oral ou em poster

---

### **Datas**

Submissão de resumos:	9 de Abril a 15 de Junho
Resposta aos autores:	até 15 de Julho
Inscrições (prazo normal):	até 15 de Julho
Submissão de manuscritos:	até um mês após o final da Conferência

---

**[fisica2014.spf.pt](http://fisica2014.spf.pt)**

