

ENSINO DAS CIÊNCIAS: REFLEXÕES E COMPARAÇÕES

Reflexão apresentada na Conferência "A Física na Formação em Engenharia e Tecnologia".
Coimbra, 13 de Outubro de 2005.

CÂMARA DE FAÍSCAS

Neste artigo descreve-se uma câmara de faíscas construída no Laboratório de Instrumentações e Física Experimental de Partículas (LIP) em Coimbra. É um trabalho financiado pelo projecto "Outreach" da Fundação para a Ciência e Tecnologia e destina-se a sessões de divulgação sobre raios cósmicos, partículas elementares e detectores.

A Gazeta agradece o envio de contribuições para esta secção
gazeta@teor.fis.uc.pt

ENSINO DA FÍSICA

ENSINO DAS CIÊNCIAS: REFLEXÕES E COMPARAÇÕES

Nas sociedades desenvolvidas, existe hoje uma contradição profunda entre a importância da ciência e tecnologia (C&T), por um lado, e o modo como se pensa a C&T, por outro. Essas sociedades assentam cada vez mais na C&T, mas o prestígio da C&T parece estar em declínio. Tal traduziu-se, em particular, no afastamento dos jovens das profissões ligadas à C&T, nomeadamente as engenharias. Se há sempre um fascínio pelo novo e pelo progresso que a ciência costuma trazer, também a desconfiança na inutilidade ou nos exageros da ciência é generalizada, vindo mesmo de onde menos se espera: em 1998, José Saramago não se inibiu de, na cerimónia de aceitação do Nobel da Literatura, mencionar o contra-senso dos gastos nas explorações espaciais a Marte, em confronto com a pobreza flagrante não erradicada no planeta Terra. A singularização deste contraste, e omissão de tantos outros, não ajudou decerto a imagem da ciência!

O problema parece ser geral. Os anos gloriosos para a C&T, após a Segunda Guerra Mundial, quando o atómico e o nuclear, quer à esquerda quer à direita, eram promessas de progresso, já passaram. O élan da aventura espacial dos anos 60 também rapidamente se desvaneceu. Os desperdícios bélicos nos anos 80, ligados à Guerra das Estrelas, não ajudaram à imagem. Ao longo dos anos 90, a volatilidade, a renovação permanente do conhecimento científico, e a banalização das tecnologias como "caixas pretas" cada vez mais *user-friendly*, vulgarizaram a C&T, reduzindo a imagem da ciência ao que é para ser aplicado, usado e descartado. A atracção da C&T ficou-se pelo espectáculo, isto é, pelo que é para ser admirado e consumido, mas para ser feito pelos "outros com características especiais"¹.

E, claro, a complexidade social dos problemas que requerem soluções tecnológicas, tornou visível, através da mediatização de discussões científicas, que os princípios científicos nem sempre chegam para fundamentar decisões técnicas.

Não importa agora recuperar uma confiança cega na C&T, mas reconhecer que as sociedades modernas precisam de pessoas qualificadas em C&T, pois sem elas as sociedades não seriam estruturalmente sustentáveis². Ao longo da história, a economia e a educação sempre se alimentaram mutuamente. No momento presente deste ciclo simbiótico, o sentido do percurso actual é o da economia a puxar pela educação (em ciência). Já aconteceu antes: Comenius, pedagogo checo, no século XVII defendia que se generalizasse a todos o ensino dos “ofícios” e também das “letras”, tendo para isso de vencer o peso do argumento aristocrático de que, com esta generalização da educação, deixariam de existir artesãos. É bem actual o sonho de Comenius: “Se se fornecer aos jovens uma boa educação, ninguém no futuro vai sentir falta de boa matéria prima para pensar, desejar, ambicionar e trabalhar”.

Na luta pela competitividade, hoje reconhece-se, como Comenius no passado, que os “ofícios” se transmutam e só não morrem se se renovarem com uma injeção de “letras”, a que têm de acrescentar-se as “ciências”. A educação é cara, mas a ignorância sai ainda mais cara, pois paga-se em pobreza e infelicidade. E a educação em ciências é decerto para todos, pois todos precisam da ciência, ou pelo menos da adaptação à mudança que a ciência dá: industriais, professores, empresários, artistas, etc.

Em simultâneo e contraditoriamente, existe um desencanto muito generalizado com a C&T. Quais são as origens deste desencanto? Há muitas causas, ligadas à sociedade em geral: a subestima das questões éticas, ambientais e de segurança, e o crescimento, em especial nos EUA, do irracionalismo fundamentalista, do misticismo, e do relativismo pós-modernista... Em “Science and Technology Education Current Challenges and Possible Solutions”³, Svein Sjøberg, da Universidade de Oslo⁴, na sua contribuição convidada ao encontro de ministros da educação e da investigação que teve lugar em 2001 em Uppsala, apresentou 13 razões para o desencanto em C&T. Treze é o número do azar, e não deixa de ser simbólico a lista ter parado nesse número...

Além das razões já indicadas, Sjøberg põe claramente em cima da mesa a dificuldade e a exigência das ciências duras. Aprender-las implica inevitavelmente esforço, frustração, enquanto a sociedade actual facilita, não treina, a resistência à dor. E aponta também a transformação do estereótipo do cientista que a nova *Big and Techno Science* trouxeram: de egocêntrico, sonhador e romântico, o cientista passou a ser apenas um entre muitos de uma grande equipa, sem visibilidade e feitos próprios. Esta proletarização do cientista como mero elemento de uma cadeia gigantesca, afasta os que são tentados por valores declaradamente individualistas, e que podem ver, por exemplo, na vida de um gestor, mais hipóteses de concretizar o liberalismo desses ideais. Neste sentido, foi perfeita a escolha, para o Ano Internacional da Física em 2005, do rosto central, sonhador e autoconfiante de Einstein, o génio que trabalha sozinho e impõe ideias totalmente novas a gigantes estabelecidos como Planck e Lorentz. Um gestor de si próprio!

Indicadores de qualificação: Portugal é “menos igual”

Há pois várias razões para o desencanto pela ciência, estando algumas ligadas ao ensino. A situação não é específica para Portugal e é, de algum modo, igual para todos⁵. Porém, e não exactamente como diz Orwell, parece que “há uns que são menos iguais do que outros”. Portugal surge como o “menos igual”. A situação da qualificação humana em Portugal é dada pela realidade *hard* dos números, que é em *flash*:

- Quase metade da população portuguesa (48%) é funcionalmente analfabeta, o que quer dizer, de uma maneira simplificada, que as pessoas podem ler, mas não entendem o que lêem. Nos restantes países da União Europeia essa percentagem varia entre 23 e 8% (caso da Suécia).
- O número médio de anos de escolaridade é em Portugal 8,2 (na Espanha 10,5, na Turquia 9,6, e no México 8,7).
- A percentagem da população adulta portuguesa com alguma formação para além do ensino secundário, isto é, de tipo superior, é de 20%, em comparação com valores da ordem de 70% para a média dos países da União Europeia.
- No ano 2001, em cada dois portugueses já na vida activa e que passaram pelo secundário, um não o acabou.
- No universo dos jovens portugueses, dos 18 aos 24 anos, a percentagem dos que não concluíram o ensino secundário é de 45%, enquanto nos restantes países da União Europeia essa percentagem varia entre os 10% (na Finlândia) e os 20% (na Espanha). Em números absolutos trata-se em Portugal de 266 mil jovens que falham o ensino secundário, num total de 485 mil.

- No desempenho em matemática e ciências no “Third International Maths and Science Study”, para jovens de 13 anos, num conjunto de 40 países Portugal ficou no 33º lugar nas ciências, e em 37º na matemática. Atrás de Portugal não ficou nenhum país europeu. A mesma realidade surgiu nos estudos Pisa que incidem genericamente sobre a literacia e não em matérias escolares⁶.

Historicamente o insucesso no ensino secundário tem algumas das suas raízes no pecado original que acompanhou a democratização do ensino, nos anos 70: a aniquilação do ensino técnico-profissional. Este problema foi mesmo denunciado – em Setembro de 2005, mas mais vale tarde que nunca! – pelo próprio primeiro-ministro que, na Assembleia da República, prometeu a criação de cursos desta natureza para 107 mil jovens⁷.

O que estes indicadores simples dizem é que Portugal está bem longe dos padrões normais europeus. Talvez o problema mais grave com que o país se defronta para viabilizar uma vida económica, social e política, saudável e estimulante, seja o da ineficácia educacional⁸.

O estranho currículo do secundário português: a descentralização da física e da química

No que se segue actualizamos, à luz do que entretanto aconteceu, as reflexões que fizemos no estudo pedido pela Sociedade Portuguesa de Física, *Inovações nos Planos Curriculares dos Ensinos Básico e Secundário*, e em que participámos entre 1998 e 2000. O objectivo era comparar sistemas educativos de três países da União Europeia com o sistema português, tendo sido publicado um relatório final⁹.



As críticas principais feitas em geral ao ensino das ciências em relatórios europeus¹⁰ coincidem com as que apontámos em 2001 na nossa análise do sistema português:

- Programas em geral abstractizantes, excessiva e desnecessariamente formalizados, desinteressantes e irrelevantes (conducentes mesmo à crítica de que a ciência é autoritária, o que no mínimo é incompreensível para quem faz ciência!)
- Professores deficientemente preparados, que não dominam as matérias, e que, eles próprios, muitas vezes não gostam delas.
- Incapacidade de transmissão directa, intuitiva, dos conceitos científicos, não havendo o recurso à experimentação acessível e motivadora.

No caso português, há a acrescentar:

- Reduzido número de horas curriculares dedicadas à aprendizagem das ciências de base experimental e indutiva, como a física.

Após o estudo que terminámos em 2001, tem vindo a ocorrer em Portugal uma reforma nos ensinos básico (terceiro ciclo) e secundário (vulgarmente designada por *reforma David Justino*). Não conhecendo nós em pormenor o que se passa no terreno, e não sabendo até que ponto e como se avançou na aplicação do modelo, pode dizer-se que a mudança se afigura, pelo menos teoricamente, positiva nos programas¹¹. Já no que respeita ao desenho curricular propriamente dito, existem pontos de fundo que se estranham (e não se entranham).

O que verdadeiramente se estranha no desenho curricular, e que inevitavelmente traz consequências para o ensino superior, nas engenharias e nas ciências, nas condições de acesso e não só, é a descentralização da física e da química, que são ciências estruturantes. Usando os próprios *slogans* da reforma, essas disciplinas não serão fornecedoras de “*formação de base*”? Não motivarão “*a abertura para conhecimento, à inovação e à mudança*”? Serão estranhas “*à afirmação dos valores de civilidade e do personalismo*”? De facto, no desenho curricular salientamos:

- 1) É explícita a centralidade do Português, da Língua estrangeira e das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). No caso do Português, não se estará a empurrar para a frente um problema que deveria ter sido resolvido no ensino básico e não foi? Não seria melhor reforçar o Português no ensino básico e evitar prolongamentos de soluções mal resolvidas? O mesmo se pode também dizer relativamente à Língua estrangeira, já que se sabe muito bem que é tanto mais fácil

aprender uma língua quanto mais cedo tal for feito. E o mesmo também serve ainda obviamente para as TIC! A questão consiste em saber se estas matérias não deveriam ter sido abordadas com a devida profundidade anteriormente, no terceiro ciclo do básico. Esse ciclo deve ter por objectivo ser estruturante e nivelador, fornecendo o domínio da comunicação escrita e falada. Porquê empurrar para o secundário estas funções?

- 2) A disciplina de Filosofia é justificada por permitir *“que todos aprendam a reflectir, a problematizar e a relacionar diferentes formas de interpretação da realidade. As questões de desenvolvimento da ciência, da arte e da tecnologia, numa sociedade em mudança permanente, devem constituir motivo de análise, de interpretação e de reflexão”*.

Se é bom reflectir sobre a arte, a ciência, e a tecnologia, a verdade é que é melhor ainda praticar a arte, a ciência e a tecnologia. Por outras palavras, a reflexão sobre a ciência e a tecnologia é feita à custa de tempo de familiarização e aprendizagem da ciência e da tecnologia.

Não é a cadeira de Filosofia em si que é contestada, mas a ênfase maior no discurso sobre o conhecimento do que no próprio conhecimento.

- 3) Não existe uma cadeira de Física como prova de acesso ao ensino superior. Isto não se entende se, de facto, se vierem a criar cursos técnicos e profissionais de sucesso. O binómio tradicional de Física-Química pode servir para o acesso ao prosseguimento de estudos, bem como o binómio Biologia-Geologia. Um aluno que faça as duas cadeiras de Física-Química no 10º e 11º anos, no 12º pode fazer Física, mas essa matéria não contribui directamente para a prova de acesso, e para cúmulo fará um exame sobre matéria aprendida até há um ano atrás. Muito dificilmente alguém optará por tal percurso. O pragmatismo realista (da nota, da minimização do esforço) vencerá a racionalidade na escolha da opção mais adequada à formação. Se fizer Física-Química no 11º e 12º anos, então não poderá sequer ter a cadeira de Física, porque esta decorre ao mesmo tempo. Deve acrescentar-se que estas subtilezas não são específicas para a Física, pois ocorrem também para a Química, a Biologia e a Geologia.
- 4) Se o par Física-Química pode ser questionado, o par Biologia-Geologia pode sê-lo muito mais. De facto, a biologia é uma ciência que tem tido um desenvolvimento extraordinário nestes últimos anos, cruzando-se cada vez mais com física e com química, e afastando-se cada vez mais da geologia. Isso tem levado ao aparecimento de engenharias baseadas na biologia, como as engenharias biológica e biomédica. Nestas engenharias faz sentido uma prova de acesso de Biologia, mas



fá-lo-á uma de Biologia-Geologia? A ligação da biologia à geologia é uma ideia verdadeiramente paleontológica, muito atávica! Ao juntar-se à geologia, a biologia moderna perde-se.

- 5) Se não contestamos a existência de uma disciplina de Filosofia, mas apenas que ela implique o sacrifício das disciplinas de ciências, já nos parece um exagero a inclusão nas opções d) de 12º ano deste agrupamento das disciplinas de Economia e nas opções e) de Psicologia e de Ciência Política. Se a ideia é manter uma certa “plasticidade” de formação então é mais adequada a oferta de uma disciplina de História da Ciência e da Tecnologia, e deixar para a disciplina de projecto tal abertura de formação.

Mas a questão mais pertinente é: O que realmente foi feito para mudar as condições em que decorre o ensino? O ensino das ciências não se faz sem experimentação. Há condições para transformar o espaço da sala de aula em laboratório acessível? Como se integrarão nestes currículos os recursos e práticas das extintas disciplinas de Técnicas Laboratoriais? Há professores qualificados para melhorar a qualificação dos alunos?¹² Há um ambiente favorável, na escola e no país, para o desenvolvimento da componente científica da cultura? Até acreditamos que sim. Mas estará já feita a avaliação deste potencial e da sua evolução recente nas escolas para podermos fazer ajustes e garantirmos o sucesso?

Comparação com o Reino Unido: pensar não é só ser lógico.



Para traçar diferenças entre o ensino secundário português e a realidade internacional, destacamos o Reino Unido por considerarmos ser o ensino no Reino Unido o que mais drasticamente se afasta do nosso, formando mesmo os dois sistemas um dipolo de contrastes.

No Reino Unido (pelo menos até ao começo da presente década era assim) o ensino obrigatório tem a duração de 11 anos, iniciando-se aos 5 anos. Há mais 2 anos de ensino secundário não obrigatório para preparação para o ensino superior (*General Certificate of Education*) ou, o que foi apagado em Portugal, para formação vocacional (*General National Vocational Qualification*). Os princípios programáticos são os velhos valores materialistas-liberais: “*apoiar o crescimento económico e melhorar a competitividade e qualidade de vida da nação (...) elevação dos níveis de sucesso e saber fazer (skills) (...) promoção de um mercado de trabalho eficiente e flexível*”¹³.

Uma das grandes diferenças entre o sistema português e o do Reino Unido diz respeito à autonomia de ensino e de organização escolar. No Reino Unido há sempre a preocupação de adaptar o ensino às condições locais e de valorizar a interação com a comunidade. Este espaço de liberdade é regulado por um sistema permanente de avaliação do desempenho das escolas, existindo efectiva no terreno uma Autoridade para Currículos e Avaliação nas escolas.

Outro contraste tem a ver com manuais. Para os docentes existem verdadeiros manuais, onde há explicação pormenorizada e referências avançadas. Para os alunos existem praticamente só cadernos – cadernos baratos, não manuais caros – onde pode haver pequenos resumos da matéria, mas há sobretudo muitos testes, muitas perguntas, muitos problemas que apelam à inteligência e à experiência. Está clara a mensagem, não está? O ensino quer-se rigoroso: professores qualificados e material científico de apoio de qualidade, compilações a automatizações de boas práticas.

E a ciência não se tira dos manuais: vai-se buscar à experimentação e à análise inteligente.

Convém dizer, em relação à física, que ela começa a ser ensinada muito antes do ensino secundário: aos cinco anos, as crianças brincam com circuitos eléctricos, acendem lâmpadas, testam materiais, etc. Habitua-se à experimentação e ao questionamento científico. Perdem receios e ganham curiosidade. O ensino no Reino Unido valoriza os procedimentos. Sobretudo, não há lugar para confundir rigor com formalismo ocioso. Ousamos mesmo dizer que o sistema do Reino Unido reconhece devidamente que pensar não é (só) ser lógico, como sabemos desde Galileu, e Niels Bohr gostava de comentar aos seus colaboradores¹⁴.

Conclusão: o desafio de sermos europeus

Sem questionar a prioridade da formação em português e matemática, a física, como está subjacente ao sistema inglês, é a ciência que serve de base a métodos universais de compreensão, análise e resolução de problemas. Isso faz-nos estranhar, a paridade nas opções do currículo do 12º ano da Física com a Economia, a Psicologia e a Ciência Política...

Por último, acreditamos (o que é demonstrado por estudos europeus) que são as práticas, mais do que os programas, que determinam o sucesso do sistema de ensino. O sistema do Reino Unido prova-o. Há ainda quatro desafios a vencer para sermos membros da União Europeia com as mesmas oportunidades, e a mesma participação económica e intelectual dos outros, isto é, para sermos mesmo iguais:

- o desafio dos dados e da comparabilidade (observação e avaliação)
- o desafio dos recursos (equipamentos e sua manutenção)
- o desafio da descentralização¹⁵ (autonomia, responsabilidade e responsabilização)
- o desafio da inserção social (taxas normais de sucesso escolar).

Last but not the least: um esforço de estabilidade.

Teresa Peña e Jorge Dias de Deus

Departamento de Física
Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais
1049-001 Lisboa

teresa@fisica.ist.utl.pt
jdd@fisica.ist.utl.pt

NOTAS E REFERÊNCIAS

¹ As atitudes dos adolescentes nas sociedades modernas face à Ciência foram quantificadas no artigo “Important but not for me: students’ attitudes towards secondary school science in England” de Jenkins, E. W. e Nelson N. W., in *Research in Science and Technological Education*, **23** (1), que relata resultados do projecto ROSE. Neste estudo conclui-se que os jovens do Norte da Europa e do Japão são os que menos reconhecem a relevância da ciência no dia-a-dia e o seu valor no futuro e na carreira, enquanto os dos países da África Sub-Sahariana e da Ásia são os que mais reconhecem estes aspectos. Entre os dois grupos ficam os jovens dos países da Europa de Leste e do Sul. Este assunto vem tratado em “Is science education relevant?”, Henrik Busch, *Europhysics News*, **36/5** 2005.

² As economias desenvolvidas, competitivas, apresentam naturalmente os níveis mais elevados de educação. Sobre as evidências deste facto, ver por exemplo, o artigo de P. Conceição e M. Heitor, “On the role of the university in the knowledge economy”, *Science and Public Policy*, **21**, 37-51, 1999. A ligação entre percentagem de PIB em inovação e desenvolvimento e o sucesso económico é complexa, mas existe e é forte. Presumivelmente, ocorre o efeito “bola de neve”: mais bem estar económico possibilita mais educação, e mais educação realimenta o sucesso económico, pelo que os papéis de causa e de efeito se alternam no tempo.

³ Publicado por Jenkins Edgar (ed.) em *Innovations in Science and Technology Education*, Vol VIII Paris, UNESCO (2002).

⁴ <http://folk.uio.no/sveinsj>

⁵ Ver, por exemplo, *The world in 2006*, 20ª edição especial do *Economist*, 1987-2006. Os EUA, nomeadamente, apresentam resultados frustrantes do ensino secundário, apesar da correlação entre educação e riqueza. O que pode dominar nessa correlação é o funcionamento das universidades, onde os EUA compensam os problemas do ensino secundário, quer através dos estudantes estrangeiros, quer através de um sistema de gestão universitária não centralizada pelo Estado e monitorizada por *trustees* de origens diferentes, do mundo económico e não só.

⁶ Ver http://nces.ed.gov/timss/pdf/naep_timss_pisa_comp.pdf.

⁷ Nota adicionada durante a publicação deste artigo, um ano após da apresentação pública do mesmo: Em 2005 existiam 72 cursos destes em todo o país. No ano lectivo

de 2006 arrancaram efectivamente, em sequência deste compromisso, 650 cursos correspondendo a 15 mil alunos, que podem assim obter diploma profissional e equivalência ao 12º ano.

⁸ Nota adicionada durante a publicação deste artigo, um ano após a apresentação pública do mesmo: de facto, em Setembro de 2006, Portugal caiu três lugares no *ranking* do Fórum de Davos devido a indicadores do sistema de ensino.

⁹ *Três Dimensões Básicas do Currículo*, Instituto de Inovação Educacional (ed.) 2001, coordenação Maria Ivone Gaspar, autores da parte sobre as Ciências: Amália Barros, Isabel Maria Cunha, Jorge Dias de Deus e Teresa Peña.

¹⁰ Pode citar-se de novo o artigo de Svein Sjøberg, “Science and Technology Education Current Challenges and Possible Solutions”, *Innovations in Science and Technology Education*, Vol VIII, Paris, UNESCO (2002).

¹¹ Nota adicionada durante a publicação deste artigo, um ano após da apresentação pública do mesmo: os maus resultados dos exames nacionais de 2005/2006, já com os novos programas no terreno, dificilmente se relacionam com os programas. As médias nacionais em 2006 para exames sobre o programa novo de Física foram 7,7 na 1ª fase. Em 2005, na primeira fase a média do exame de 12º ano foi 7,4 (ver também a nota seguinte).

¹² Estes são problemas que decerto se relacionam com os resultados dos exames nacionais de 2005/2006. A que se adiciona, claro, a componente de treino, mecanização e habituação a perguntas-tipo, ainda não enraizada para os novos programas.

¹³ *The English Education System – An Overview of Structure and Policy*, Department of Education and Employment, 1995.

¹⁴ *What little I can remember*, Otto Frisch, Cambridge University Press, 1979.

¹⁵ Por coincidência, já depois desta comunicação ter sido feita, o Ministério da Educação anunciou para breve algumas medidas de descentralização.

CÂMARA DE FAÍSCAS

As câmaras de faíscas tiveram a sua origem nos trabalhos de Keuffel que, em 1949, observou uma descarga eléctrica entre placas metálicas paralelas, atravessadas por um raio cósmico. Após desenvolvimentos por diferentes investigadores, como o uso de vários planos de placas paralelas, o aumento da corrente de descarga com a ajuda de condensadores e registo das faíscas em fotografias, estes detectores passaram a ser usados em experiências de física nuclear e de partículas, até aos anos 70 do século XX. As câmaras de faíscas foram então empregues em detectores para visualizar as trajectórias de partículas carregadas, que eram registadas em película para posterior análise. Dada a sua baixa resolução espacial e elevada taxa de aquisição, elas foram sendo progressivamente substituídas por detectores com melhores resoluções espacial e temporal, como as câmaras de deriva e os detectores de semiconductor. Ainda assim são câmaras que, pela sua fácil operação e pelos seus sinais ópticos muito intensos, se mantiveram para fins pedagógicos. Estas câmaras são peças centrais em exposições de física de partículas patentes em grandes instituições.

A câmara de faíscas é um dispositivo robusto e seguro, com um custo de operação baixo, que se coloca rapidamente em funcionamento e que impressiona qualquer pessoa!

Princípio de funcionamento

A passagem de uma partícula carregada através de um meio material “arranca” electrões aos átomos do meio, deixando um rasto de ionização formado por pares electrão-íon positivo. Num meio gasoso, e na ausência de um campo eléctrico, estes pares acabam, ao fim de algum tempo, por se recombinar. Na presença de um campo eléctrico os electrões movem-se rapidamente no sentido contrário ao do campo e os iões positivos movem-se, muito mais lentamente, em sentido oposto. Se o campo for suficientemente elevado os electrões poderão ganhar energia suficiente para, ao chocar com os átomos do meio, arrancar outros electrões (ionizações secundárias). Este processo pode repetir-se, multiplicando-se assim o número de electrões até se formar uma avalanche e uma corrente eléctrica. A emissão de fótons no processo de avalanche ioniza o meio atrás e à frente, dando origem a outras avalanches que acabam por se unir e estabelecer uma ligação eléctrica entre os electrodos. Estas avalanches são acompanhadas pela emissão de um elevado número de fótons, com origem no processo de recombinação, originando uma faísca claramente visível bem como um estalido característico.

Numa câmara de faíscas os electrodos são constituídos por placas metálicas, dispostas em planos paralelos (Fig. 1). Logo depois de uma partícula carregada a atravessar, é

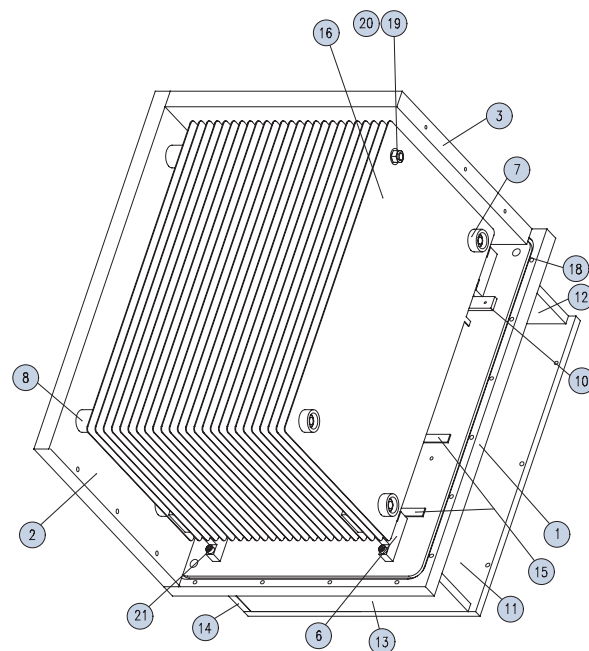


Fig. 1 - Câmara de faíscas, parcialmente desmontada, construída no LIP para fins educativos. São visíveis as 25 placas de alumínio (electrodos) dispostas paralelamente e ligadas alternadamente à terra e a um condensador de alta tensão.

aplicado um campo eléctrico muito elevado. Este campo dá origem a avalanches ao longo da trajectória da partícula (onde há ionização primária do gás), permitindo a passagem, nesses pontos, de corrente eléctrica entre as placas. A corrente provém da carga armazenada em condensadores de alta tensão. Usando uma mistura gasosa adequada, no caso hélio-néon na proporção 70%-30%, esta faísca gera um elevado número de fótons, que permitem visualizar cada uma das faíscas e, assim, a trajectória da partícula inicial. A diferença de potencial elevada apenas se aplica quando a partícula carregada passa pela câmara. Para isso é usado um sistema de disparo baseado na coincidência entre os sinais registados por dois cintiladores plásticos um directamente acima e o outro logo abaixo da câmara (Fig. 2). Quando uma partícula carregada atravessa um material cintilador é emitida luz com origem na excitação das moléculas do meio. A luz produzida é conduzida até um fotomultiplicador, onde os fótons, por efeito fotoeléctrico, arrancam electrões do fotocátodo. Estes são depois multiplicados por uma sucessão de acelerações num campo eléctrico elevado seguidas de choques com electrodos do material adequado, que arrancam novos electrões. A coincidência entre os sinais registados nos dois cintiladores indica que uma partícula carregada atravessou o volume da câmara (excepto no caso, raro, de coincidências fortuitas com origem no ruído electrónico e térmico dos fotomultiplicadores ou na passagem quase simultânea de duas partículas distintas).

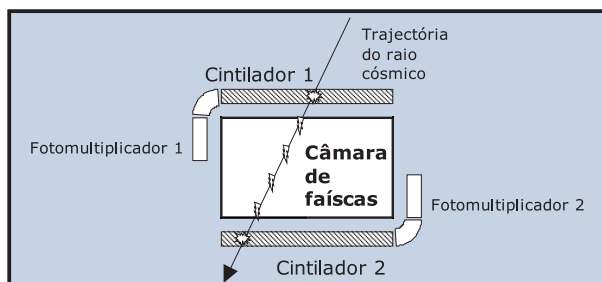


Fig. 2 - Esquema do "telescópio" que serve para disparar a câmara de faíscas, o qual recorre à coincidência entre os sinais registados por placas cintiladoras colocadas directamente abaixo e acima da câmara.

Mecânica e electrónica

A câmara de faíscas com fins pedagógicos e de divulgação construída no Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP), segundo o desenho do laboratório NIKHEF, de Amesterdão, fornecido pelo Prof. Henk Tiecke, é constituída por 25 placas paralelas, de alumínio. A dimensão das placas é de $200 \times 400 \text{ mm}^2$ e a sua separação de 10 mm (Fig. 1). As placas estão, alternadamente, ligadas à terra por uma resistência de $10 \text{ k}\Omega$ ou a um condensador de alta tensão, com uma capacidade de $2,5 \text{ nF}$.

Os sinais produzidos nos fotomultiplicadores entram numa placa electrónica, especialmente desenhada para este fim. Após passarem um discriminador, para selecção dos sinais de maior amplitude (rejeitando assim o ruído), são conduzidos a um circuito de coincidência. Se existir coincidência entre os dois sinais, dentro do intervalo de tempo especificado, é accionada uma bobina ligada a uma *spark gap* de três eléctrodos. Este último dispositivo, construído a partir de uma vela de automóvel, é um interruptor rápido de alta tensão. Quando a tensão fornecida pela bobina, cerca de -7 kV , é aplicada no eléctrodo central da vela, vai saltar uma faísca para o seu eléctrodo lateral, que está à terra. Esta ionização do gás no interior da *spark gap*, preenchida com azoto, é o precursor da faísca para o terceiro eléctrodo (Fig. 3), a uma tensão de cerca de $5,6 \text{ kV}$, colocado a aproximadamente 2 mm do eléctrodo central da vela. É esta última faísca que fecha o circuito permitindo ligar rapidamente o condensador à terra.

Os condensadores de alta tensão, carregados a partir de uma diferença de potencial de $5,6 \text{ kV}$, ficam, com o disparo da *spark gap*, com um dos eléctrodos, que inicialmente estava ao potencial de $5,6 \text{ kV}$, à tensão da terra. O segundo eléctrodo do condensador, inicialmente à tensão da terra, e ligado a uma placa da câmara, é forçado a passar rapidamente para a tensão inversa (Fig. 4). Aí metade das placas da câmara, as que estão ligadas a condensadores, ficam a $-5,6 \text{ kV}$ ao passo que a outra metade continua

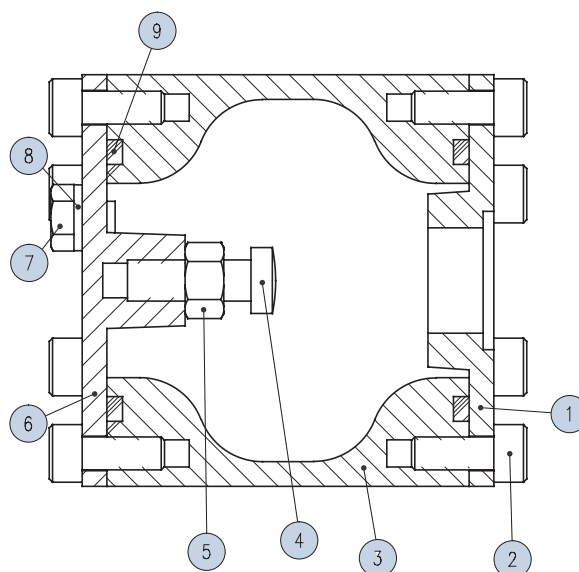


Fig. 3 - *Spark gap* de três eléctrodos, o interruptor rápido de alta tensão utilizado no disparo da câmara de faíscas. Não está representada a vela de automóvel, que é inserida em 1. Na vela o eléctrodo central passa a uma tensão eléctrica negativa elevada no disparo, enquanto o eléctrodo lateral está à tensão da terra. Salta então uma faísca entre eles que é o precursor da faísca para o terceiro eléctrodo (fechando o circuito). Este, indicado em 4, está a uma tensão positiva elevada, sendo preenchido por azoto.

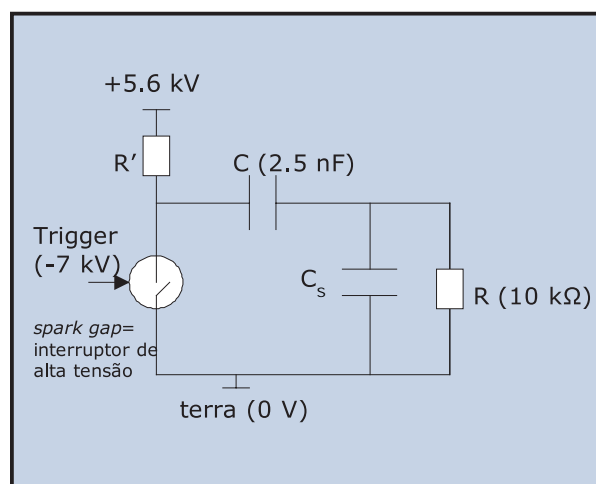


Fig. 4 - Esquema eléctrico da câmara de faíscas. C_s representa a capacidade equivalente das placas da câmara. O impulso de disparo (*trigger*) resulta da coincidência de sinais nos dois cintiladores.

à tensão da terra, levando à formação de avalanches, e consequentes faíscas, nos pontos previamente ionizados pela passagem da partícula carregada. Os condensadores de alta tensão descarregam (parcialmente) pelo caminho mais fácil, de menor resistência, ou seja, pelo percurso das avalanches entre os eléctrodos.

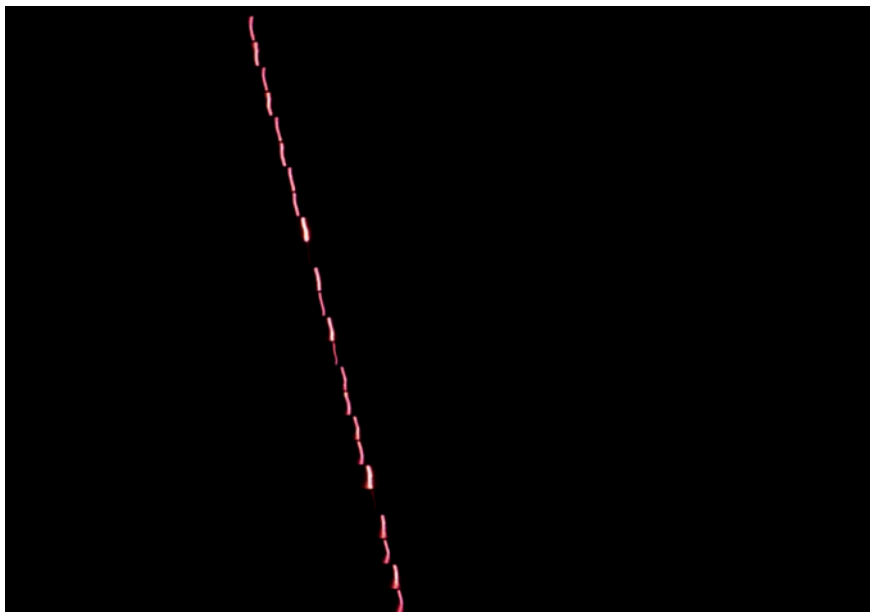


Fig. 5 - Trajectória de um raio cósmico registada na câmara de faíscas. As linhas brilhantes são as faíscas que ocorrem entre as placas da câmara nos pontos onde o gás foi ionizado pela passagem da partícula carregada.

Raios cósmicos

Os raios cósmicos primários têm como fonte principal a nossa Galáxia. Os mais energéticos parecem ter origem nas explosões de supernovas, o colapso de uma estrela de grande massa. A toda a hora a Terra está a ser atingida por um grande número de partículas de alta energia (principalmente prótons, com energias entre 10^6 - 10^{20} eV, ou 10^{13} - 10 J), de origem extraterrestre. Estas colidem com moléculas da alta atmosfera, criando novas partículas de elevada energia, as quais chocam com átomos criando ainda mais partículas, e dando origem ao chamado chuva de partículas. Este, com a forma de um cone, acaba por atingir a superfície da Terra. As partículas carregadas que cá chegam são as mais penetrantes, principalmente muões (electrões pesados). As suas energias estendem-se por um espectro muito largo, podendo interagir no material da câmara e produzir acontecimentos mais complexos, com vértices de onde emergem várias partículas.

A câmara em acções de divulgação

A nossa câmara de faíscas foi inicialmente testada e mostrada ao público no Departamento de Física da Universidade de Coimbra. Mais tarde, em Setembro de 2006, foi apresentada no "20th European Cosmic Ray Symposium" em Lisboa. Durante este encontro foi dedicada uma tarde à divulgação da ciência para as escolas secundárias. Os alunos puderam não só assistir ao funcionamento da câmara de faíscas como também "levar um raio cósmico para casa"! A partir da filmagem das faíscas com uma câmara digital, foi possível escolher o fotograma com o acontecimento mais interessante, imprimi-lo com uma breve explicação do funcionamento da câmara de faíscas e da origem dos raios

cósmicos, e entregá-lo ao visitante. Esta iniciativa foi um claro sucesso. A Fig. 5 apresenta um exemplo da trajectória de um raio cósmico registado nesta câmara.

A câmara de faíscas descrita foi construída na oficina e no laboratório do LIP, com financiamento pelo projecto "Outreach" da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, sendo possível construir mais exemplares para equipar centros de ciência e departamentos de física nacionais e internacionais. Trata-se de um equipamento ideal para sessões de divulgação sobre raios cósmicos, partículas elementares e detectores.

João Carvalho^{1,2}, Paulo Martins² e Américo Pereira²

¹ Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

² LIP - Coimbra

jcarlos@lipc.fis.uc.pt

BIBLIOGRAFIA

1. *Bubble and spark chambers*, R. P. Shutt, (ed.), Academic Press, 1967.
2. *Spark chambers*, O. C. Allkofer, Verlag Karl Thiemeig, Munique, 1969.
3. *Spark, streamer, proportional and drift chambers*, P. Rice-Evans, Richelieu Press, London, 1974.