

Panorama da Investigação em Física da Matéria Condensada em Portugal

MANUEL AMARAL FORTES

Instituto Superior Técnico

Este relatório foi-me solicitado pela Direcção da Sociedade Portuguesa de Física no princípio de 1989. Outros relatórios deste género foram encomendados a outras pessoas, sobre outros ramos da Física. A informação e opiniões que se seguem foram baseadas nas respostas a um inquérito que dirigi a um grande número de investigadores portugueses em Física da Matéria Condensada e também no meu conhecimento das actividades e das pessoas que trabalham nesta área. Inevitavelmente, há uma certa subjectividade na leitura que fiz das respostas ao inquérito e nas opiniões que emito. Há também alguma imprecisão nos números que são indicados. Apesar destas deficiências, penso que o relatório poderá despoletar uma reflexão mais aprofundada sobre o sector, a ser feita pela comunidade dos Físicos portugueses, como é intenção da Sociedade Portuguesa de Física.

Depois de definir o que se entende por Física da Matéria Condensada (FMC), apresenta-se o inquérito que foi enviado aos investigadores desta área. O Panorama da FMC é apresentado nas suas várias facetas, nomeadamente, as áreas de investigação que são cobertas, as técnicas e equipamentos existentes, dados sobre os investigadores e a organização da investigação, os financiamentos, as acções de formação, a produção sob a forma de artigos e comunicações, as colaborações internacionais e o impacto no sector produtivo nacional.

No fim, mas também ao longo de todo o relatório, apresentam-se as principais dificuldades sentidas pelos investigadores. O relatório termina com sugestões de alguns iniciativas que a SPF poderia tomar no sentido de fomentar e melhorar a investigação em Física da Matéria Condensada.

Introdução

Âmbito da Física da Matéria Condensada

Física da Matéria Condensada (FMC) é uma designação recente cuja origem está relacionada com a explosão da Ciência dos Materiais, a partir dos anos 60, a qual trouxe para primeiro plano a investigação em materiais não-cristalinos, designadamente os polímeros e os vidros de todos os géneros. A clássica Física do Estado Sólido era uma física dos cristais (metais, cristais iónicos, semicondutores, ...),

já em fase de livro de texto, embora ainda com algumas brechas. A FMC alarga, como ramo da Física, a do Estado Sólido (cristalino), incorporando todos os sistemas com um número macroscópico de átomos em interacção forte, isto é, condensados, independentemente do modo (ou ordem) como estão arrançados.

Do ponto de vista teórico, a disciplina alargou-se e complicou-se enormemente. Não tanto do ponto de vista experimental, porque as técnicas que servem para os não-cristais (incluindo os líquidos) são as mesmas que se utilizam para os materiais cristalinos. A evo-

lução que houve na parte do «experimental» teve a ver com o advento de novas técnicas de preparação, medida e observação que proliferaram a partir dos anos 60/70.

Estabelecer os limites da FMC e dizer onde é a sua fronteira com a Ciência dos Materiais é uma questão académica mas que pode tornar-se importante, como acontece no presente caso em que pretende fazer-se o balanço das actividades de investigação em FMC. Se se entender a FMC como Física dos Materiais, e suponho não haver objecções a esta identificação, então pode concluir-se que a Ciência dos Materiais engloba totalmente a FMC, mas nem tudo o que é Ciência dos Materiais é FMC. Quer dizer, nem tudo o que é Ciência (dos Materiais) é Física (dos Materiais). Seguindo o consenso actual, resolvi não incluir na FMC grande parte das questões de extracção, preparação, purificação e deterioração dos materiais e quase tudo sobre processos industriais de fabrico (a Tecnologia dos Materiais ou Engenharia dos Materiais). Não inclui também tudo o que se prende com os aspectos microestruturais (grãos, precipitados, diagramas de fases, ...) e grande parte das questões relacionadas com o comportamento mecânico.

Inquérito/Sondagem

Foi enviada uma carta circular a cerca de 50 Físicos da Matéria Condensada tendo o cuidado de abranger, através deles, o maior número possível de investigadores e equipas de trabalho. Penso que a cobertura foi praticamente total. Houve necessidade de enviar uma 2.^a circular (também anexa) a fim de espevitarem as respostas.

Embora o número de cartas recebidas tenha sido apenas 25 (50 %), creio que o número de investigadores cobertos pelo inquérito foi superior a 90 % do total, já que houve envio de circulares a pessoas trabalhando no mesmo grupo, com resposta apenas de uma delas. Por outro lado, o autor deste relatório conhece razoavelmente bem as actividades de alguns dos poucos investigadores/grupos que não

foram «apanhados» pelo inquérito (por não terem respondido).

As respostas recebidas foram bastante completas. Além disso, a informação pedida e as questões levantadas no inquérito foram suficientes para ter uma visão adequada da dimensão, actividades, capacidade, e dificuldades de cada grupo/investigador. Quer dizer, o teor do inquérito foi adequado. Questões mais íntimas poderiam ter sido incluídas (por exemplo: está satisfeito com a sua produção; gostaria de emigrar para ter melhores condições de trabalho e remuneração), bem como outras relacionadas com o valor e grau de utilização dos equipamentos pertencentes a cada equipa. Mas tal tornaria o inquérito muito pesado e de difícil resposta.

Panorama da Física da Matéria Condensada

Áreas de investigação

Quais são as áreas da FMC em que se faz investigação em Portugal e qual a sua extensão no que diz respeito ao número de investigadores, equipamentos disponíveis e produção científica? A resposta depende muito da amplitude que se quiser dar à definição das diferentes áreas (p. ex., a área de «fenómenos de transporte» é fatalmente mais ampla, em qualquer parte do mundo, do que a de «RMN de cristais líquidos»).

Deixando de lado esta questão insolúvel, indicarei a seguir uma lista de áreas, que preparei com base na resposta aos pontos 1.1. e 1.2. do inquérito e em outros dados que possuo. Para cada área indico com A, B e C a amplitude (decrecente) dessa área, baseada sobretudo no número de investigadores.

- A Fenómenos de Transporte
- A Física das baixas temperaturas
- A Magnetismo
- A Cristais líquidos
- B Transições de fase e fenómenos críticos
- B Supercondutores de T_c elevado
- B Mecânica estatística de superfícies e interfaces

- B Física dos polímeros (propriedades eléctricas, reologia)
- B Fotofísica
- B Vidros de halogenetos
- B Cristalografia e cristalquímica
- C Fases comensuráveis e incommensuráveis
- C Ferroelectricidade e ferroelasticidade
- C Calores específicos
- C Implantação iónica
- C Defeitos em cristais (metais e ligas)
- C Interação de lasers com materiais
- C Propriedades dinâmicas de sistemas fortemente correlacionadas
- C Hidrogénio em metais
- C Vidros de terras-raras
- C Fibras ópticas
- C Vidros sol-gel
- C Física de superfícies (estrutura e composição química)
- C Interações moleculares em soluções líquidas
- C Condutividade térmica de líquidos
- C Películas finas
- C Ligas metálicas amorfas
- C Materiais optoelectrónicos
- C Propriedades físicas de cerâmicos (sensores, etc.)
- C Biofísica

Algumas das áreas marcadas com C envolvem apenas 2 ou 3 investigadores. Algumas com A envolvem até 20 pessoas, por vezes trabalhando em mais do que uma instituição. A investigação está organizada em projectos, geralmente com a duração de 3 anos. Este modo de organizar a investigação resulta da necessidade de arranjar financiamentos. Frequentemente, a um projecto segue-se outro, que é o prolongamento do primeiro.

Como se vê, o número de áreas cobertas é bastante grande, mas na maior parte dos casos a dimensão das áreas é pequeníssima. Há áreas muito importantes e intrinsecamente grandes, que entre nós são classificadas em C. Finalmente, há certas áreas da FMC em que pura e simplesmente não há especialistas em Portugal. Nada disto é de espantar num país em que o número total de investigadores em

Física é escasso, não atingindo certamente quatro centenas.

É curioso indagar a lógica da escolha destas áreas pelos nossos investigadores. Porquê tão poucos em Física das Superfícies e tantos em Cristais Líquidos, por exemplo? Suponho que tal distribuição tem a ver com dois factores: a proeminência de certos investigadores, que arrasta a expansão da sua área; a lotaria dos temas de tese de doutoramento no estrangeiro que leva a uma pulverização das áreas.

Técnicas experimentais; instalações laboratoriais

As principais técnicas utilizadas pelos investigadores de FMC e existentes em laboratórios portugueses são referidas a seguir. As letras A, B, C indicam o grau de utilização, desde muito utilizado (A), e utilizado para fins muito específicos por grupos restritos (C).

- A Medidas de propriedades eléctricas e magnéticas (resistividade, poder termoeléctrico, susceptibilidade magnética, ...)
- A Raios X
- A Técnicas criogénicas
- A Técnicas de vácuo
- A Computadores
- B Medida de propriedades térmicas (condutividade, expansão, calorimetria) em sólidos
- B Análise térmica diferencial
- B Medida de propriedades dinâmicas (módulos complexos, etc.)
- B Técnicas de deposição de películas
- B Espectrometria IV e Raman
- B Aplicações de lasers
- C Calorimetria diferencial
- C RPE (vidros, biofísica)
- C RMN (cristais líquidos, biofísica)
- C Medidas acústicas, ultrasons
- C Medida de propriedades elásticas
- C Técnicas de estudo de superfícies (SIMS)
- C Condutividade térmica de líquidos
- C Técnicas de estudo de sólidos usando neutrões e iões
- C Crescimento de monocristais

Nenhuma destas técnicas ou equipamentos têm o carácter de infraestrutura nacional, ou mesmo regional. Todas elas pertencem e são administradas pelos principais grupos utilizadores, e são, em regra, pouco utilizadas por grupos estranhos. Em parte por isso, há exemplos vários de duplicação de equipamentos caros. Está em curso, no Porto, a criação de um laboratório de FMC, com carácter de infraestrutura nacional. Não inclui como técnica de FMC as microscopias electrónicas. Estas são quase exclusivamente utilizadas pelos investigadores de Ciência de Materiais, que, dentro da definição usada, não caem no âmbito da FMC.

Não possuo dados sobre a utilização destes equipamentos, mas acredito que estejam, no geral, subutilizados.

Poderia incluir uma lista dos materiais que são investigados. Cheguei a elaborar uma, mas o aspecto era assustador: uma salada russa que metia diamantes, ligas de terras raras, alguns (poucos) polímeros, etc.

Os laboratórios ou salas onde está instalado o equipamento de investigação são — quase toda a gente se queixa — indignos. Isto é, sem dúvida, a verdade, confirmada pelas poucas excepções que existem.

Um sintoma animador é o crescente fabrico de equipamento em oficinas das instituições de investigação, por oposição ao «comprar tudo» (importar tudo). Esta situação poderia melhorar em flecha, se houvesse um maior número de técnicos capazes de executar os trabalhos pretendidos. No entanto há queixas sobre o mau funcionamento e qualidade das oficinas.

Duas iniciativas da Universidade do Porto, de criar «grandes centros de equipamento», com impacto na FMC e Ciência de Materiais são ainda mal conhecidas pelos não-portueses; o debate a promover pela SPF poderá ser usado para esse fim.

Investigadores, grupos, centros, etc.

O número total de investigadores em FMC deve ser próximo de 200, repartidos por grupos com 2 a 20 elementos. Destes, cerca de 90 são

doutorados e cerca de 30 são bolseiros (*) (isto é, não têm vínculo permanente à instituição em que fazem trabalho de investigação). A investigação faz-se nas Universidades (inclui os Centros do INIC nas Universidades) e no LNETI, com os seguintes números de investigadores, incluindo bolseiros (não se referem Universidades, etc. em que o número de investigadores é inferior a 5).

Universidade do Porto 40
Universidade do Minho 15
Universidade Nova de Lisboa 25
Universidade de Aveiro 20
Universidade de Coimbra 20
Instituto Superior Técnico 15
Faculdade de Ciências, Lisboa 25
Centro de Física da Matéria Condensada 25
LNETI 20

O Centro de Física da Matéria Condensada é o único centro do INIC individualizado nesta lista. Os restantes estão contabilizados nas Universidades e Faculdades e são os seguintes:

Centro de Física da U. do Porto
Centro de Física de Aveiro
Centro de Engenharia Cerâmica e do Vidro (Aveiro)
Centro de Física Molecular (Lisboa)

O número de técnicos auxiliares de laboratório é próximo de 30, ou seja, 1 técnico para cada 6 a 7 investigadores. Não possuo dados sobre as idades dos investigadores, mas posso adivinhar uma distribuição com um pico à volta do valor médio de 35-40 anos, havendo mais investigadores próximo dos 50 anos do que próximo dos 20-25 anos.

As instalações (gabinetes) onde vivem os investigadores, quando estão sentados a trabalhar, são em geral péssimas. É frequente 3 ou mais partilharem o mesmo gabinete e apenas os privilegiados têm um gabinete só para si. As condições de trabalho são portanto muito

(*) Há bolseiros licenciados e bolseiros não licenciados, na proporção de 3 para 1.

más, com a agravante de os investigadores perderem um enorme tempo em actividades subsidiárias. Esta situação aflige grande número de investigadores.

O mercado de investigadores, incluindo bolseiros, é também um aspecto considerado crítico. Há falta de bons licenciados, queixam-se bastantes pessoas, que queiram fazer investigação.

Financiamentos

A investigação em FMC recorre às fontes de financiamento habituais em Portugal, com o Estado a financiar praticamente toda a investigação (certamente mais de 95 %). Os organismos estatais intervenientes são as próprias instituições universitárias e os laboratórios de Estado, através dos seus orçamentos próprios, o INIC (através dos centros de investigação sob sua tutela) e a JNICT (através de projectos, infraestruturas). A participação da Fundação Gulbenkian tem sido mais relevante nas acções de formação. Os bolseiros aparecem com verbas do INIC e JNICT, sendo raros aqueles que são pagos, independentemente destas instituições, com verbas próprias de projectos. Esta falta de autonomia na contratação de bolseiros é considerado um sério obstáculo por parte de alguns dos inquiridos.

Nas instituições universitárias, a maior parte do financiamento para investigação vem do INIC/JNICT, com ligeira preponderância para a JNICT, pelo menos em anos recentes. No LNETI, as relativamente elevadas verbas dispendidas em FMC são oriundas da própria instituição.

As verbas da CEE começam a chegar, mas são ainda diminutas.

Estimo em 300 000 contos a verba dispendida em FMC (excluindo salários e bolseiros) (*) em 1988. Desta verba, cerca de 20 000 contos foram utilizados na aquisição de equipamentos.

Acções de formação

Salvo raríssimas excepções, os investigadores em FMC são licenciados ou em Física

ou em Química ou em Engenharia (sobretudo Engenharia Electrotécnica e Engenharia Química). Há em Portugal duas licenciaturas em Física que têm ramo de especialização em FMC. Disciplinas da área da FMC são leccionadas em diversas cadeiras inseridas nas licenciaturas acima referidas.

Há dois cursos de mestrado na área da FMC, nas Faculdades de Ciências de Lisboa e do Porto. Um outro curso de mestrado, em Física, oferecido conjuntamente pela FCL, IST e UNL, tem uma especialização (ramo) em Física do Estado Sólido. Ao todo, desde 1982, terão saído destes cursos uns 20 mestres em FMC.

Não possuo dados sobre o número de doutoramentos e agregações feitos em Portugal na área da FMC, mas não deverá ultrapassar 10 % do número total de doutores. No entanto, a fracção de doutoramentos em Portugal vai sem dúvida crescer acentuadamente.

A Escola Ibérica de FMC, uma iniciativa luso-espanhola patrocinada em Portugal pela Sociedade Portuguesa de Física e subsidiada pela UNESCO, e as Escolas de Outono do Centro de Física da Matéria Condensada, são acções de formação para especialistas de FMC.

Colóquios e palestras sobre FMC ocorrem esporadicamente, mas, em geral, têm pequena audiência.

Produção, publicações

Os FMC portugueses apresentam muitos dos seus resultados de investigação nas conferências nacionais de Física (designadas por Física 86, Física 88, ...) organizadas pela Sociedade Portuguesa de Física e, em muito menor grau, nas conferências da Sociedade Portuguesa de Materiais (designada por Materiais 87, Materiais 89, ...). Estas conferências nacionais realizam-se de dois em dois anos, felizmente em anos diferentes. Houve na Física 86 e na Física 88 cerca de 60 comunicações sobre FMC. Curiosamente, o número total de comunicações, exceptuando a área da educação, baixou de 306 em 1986 para 186 em 1988.

Houve uma boa contribuição portuguesa nos dois Simpósios Ibéricos de FMC, um em Lisboa em 1983 e outro em Sevilha em 1986. O Simpósio Europeu de FMC, da Sociedade Europeia de Física, que se efectua todos os anos, terá lugar em Lisboa no ano de 1990. Por isso não se realizou o Simpósio Ibérico em 1989.

Comunicações a congressos e simpósios internacionais, da autoria de investigadores portugueses, aparecem aqui e ali, mas mais em congressos muito especializados do que em congressos de maior envergadura (como por exemplo os Congressos organizados pela Sociedade Europeia de Física).

O número médio de comunicações a congressos nos três últimos anos é de cerca de 130 por ano, das quais talvez metade em congressos no estrangeiro.

Quanto às publicações (artigos) em revistas periódicas, o panorama é o seguinte. A única revista portuguesa que é usada é a *Portugaliae Physica* (que passou a ser uma revista aperiódica...). Foram publicadas cerca de 20 artigos em FMC, num total de 60 artigos, nos últimos 7 números da revista. As revistas internacionais escolhidas pelos investigadores portugueses para publicar os seus artigos em FMC são praticamente todas revistas de primeira qualidade, com «referees» (aliás como a *Portugaliae Physica*). O número médio de artigos nos últimos dois anos em revistas periódicas foi de 100/ano, dos quais só 5 na revista nacional acima referida. A maior parte dos artigos têm um co-autor estrangeiro. O número de artigos por investigador e por ano é portanto inferior a 1 (cerca de 0.6). Mas, como sempre acontece, há investigadores com uma produção muito superior à média, por exemplo com 4 a 5 artigos por ano. É referida apenas uma patente resultante do trabalho de investigação em FMC.

Impacto da investigação em FMC

Não há qualquer interacção significativa com o sector produtivo nacional. Nem os resultados da investigação em FMC são apro-

veitados pela indústria, nem os problemas e necessidades da indústria são motivadores da investigação que se faz. Uma excepção merece referência: a criação de uma empresa nacional que produz Si amorfo com «know-how» oriundo de uma instituição universitária portuguesa.

Que impacto tem a investigação portuguesa em FMC no panorama mundial, quer a nível de cultura quer a nível de utilidade? O impacto é certamente pequeno, como em outras áreas científicas. No entanto, os contactos internacionais são numerosos e praticamente todos os grupos de investigação têm colaboradores estrangeiros, principalmente no Reino Unido, França, Alemanha, Espanha e EUA. É notável o número de colaborações com espanhóis. Também é notável o pequeníssimo número de colaboradores italianos, norte-americanos e japoneses.

Dificuldades e carências

A lista que se segue contém uma série de lugares comuns. Mas não é demais repeti-los, tanto mais que são apontados por praticamente todos os investigadores inquiridos. De resto, não seria preciso inquirir ninguém para escrever a lista. As principais dificuldades e «estragulamentos» à investigação em FMC em Portugal são as seguintes:

- Escassez de verbas.
- Instalações péssimas.
- Falta de infraestruturas, grandes equipamentos e técnicas experimentais (incluindo meios informáticos).
- Escassez de licenciados motivados para a investigação (a utilizar como bolseiros ou a contratar em regime permanente).
- Escassez de contactos com outros investigadores da mesma área (isto é, faltam reuniões científicas nacionais de âmbito restrito).

A esta lista, que seria a mesma para outros domínios da Ciência (e não só), há que juntar algumas dificuldades específicas da FMC. Refiro-me em especial ao facto de a FMC

não ser, dentro da Física, uma área popular. Os melhores jovens licenciados que vão para a investigação não são atraídos pela FMC. Interessa averiguar porquê.

Uma outra questão importante da estratégia da investigação que se coloca no caso da FMC é a seguinte. Deveria a investigação concentrar-se em menos áreas, com grupos maiores; ou será de deixar que ela continue da forma mais ou menos anárquica que a caracteriza? É uma questão que deve ser debatida, mas a alteração da situação actual no sentido da concentração implica a definição dos pólos de concentração, o que não me parece tarefa fácil.

Recomendações

O objectivo deste relatório é mais o de descrever a situação da investigação em FMC do que o de apontar soluções ou fazer recomendações. Estas devem surgir no anunciado debate a realizar pela comunidade dos Físicos portugueses. No entanto, há um certo número

de pequenas sugestões que gostaria de deixar registadas. São recomendações à Direcção da SPF sobre acções que estarão ao seu alcance:

— dar maior ênfase na Gazeta de Física a artigos sobre FMC;

— promover/organizar encontros ou sim-
pósios nacionais, muito mais restritos do que a Conferência de Física, sobre FMC ou tópicos dentro da FMC;

— incrementar as relações entre Faculdades de Ciências e Escolas de Engenharia;

— incrementar as relações entre grupos de investigação e as empresas do sector produtivo;

— estabelecer quais as infraestruturas nacionais prioritárias.

Lisboa, 25 de Outubro de 1989.

AGRADECIMENTOS:

Agradeço ao Professor Rui Amaral Almeida, do IST, e ao Engenheiro José Bonfim, da JNICT, pela crítica que fizeram deste relatório.

UNIVERSIDADE DE LISBOA FACULDADE DE CIÊNCIAS

MESTRADO EM FÍSICA — 1990 / 91

Especializações:

- Física Atómica
- Física Nuclear
- Matéria Condensada e Ciências dos Materiais
- Cosmologia e Partículas

Possibilidades de Obtenção de BOLSAS DE ESTUDO

Os interessados devem enviar para,

Departamento de Física

Campo Grande, Ed. C1, Piso 4 — 1700 Lisboa

Tel.: 7583141; ext. 2161 — Fax: 7597716 — Telex: 65869 FCULIS

o seu curriculum e indicar o nome e a morada de dois professores que possam dar referências.