

Física Nuclear em Portugal

JOSÉ NUNO DIAS URBANO

Departamento de Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra

1. Preâmbulo

Por motivos de todos bem conhecidos, em virtude das suas aplicações em domínios estratégicos tão sensíveis como a defesa e a energia, a Física Nuclear foi considerada área prioritária de desenvolvimento dos países industrializados durante as décadas de 30 a 60. Durante esse período a fronteira do conhecimento sobre a constituição última da matéria e as forças fundamentais passava também pela Física Nuclear, o que atraiu para esta área muitos dos espíritos mais brilhantes da época. A partir dos anos 70, um conjunto de factores de índole muito variada conduziu a uma progressiva diminuição dos investimentos em Física Nuclear e do interesse dos jovens por esta ciência. Entre estes factores salientam-se o impasse a que levou a estratégia de paz mundial baseada na destruição total das partes beligerantes, as crescentes preocupações com a preservação do meio ambiente, a percepção do valor estratégico da investigação noutras áreas científicas e a deslocação da fronteira do conhecimento no que concerne à constituição última da matéria. No entanto, a Física Nuclear continua a despertar o interesse tanto dos jovens cientistas como dos governos, devido à existência de um número considerável de questões em aberto e também à importância das suas aplicações tecnológicas. Estes factores têm levado a que os investimentos nesta ciência dos países industrializados se mantenham em níveis relativamente elevados.

Portugal acompanhou o processo de evolução da Física Nuclear com algum desfasamento. Não obstante, ela constituiu o cerne do florescimento da investigação científica em Portugal durante as últimas décadas. De facto, foi em torno da Física Nuclear que se criaram núcleos de investigação bem dimensionados, com carácter permanente e objectivos bem definidos. Além disso, investigadores treinados em Física Nuclear foram gérmenes da constituição de

núcleos de investigação noutras áreas. A situação actual da Física Nuclear em Portugal reflecte ainda, vincadamente, os factores históricos da sua evolução.

A Física Nuclear em Portugal é praticada em Centros do INIC das Universidades de Coimbra e Lisboa, e no LNETI. Este Relatório baseia-se nas informações que conseguimos obter junto dos responsáveis por esses núcleos de investigação.

2. Instituições

São os seguintes os grupos de investigação que se dedicam ao estudo da Física Nuclear em Portugal:

- Centro de Física e dos Materiais da Universidade de Coimbra — CFRM/UC (INIC).
- Centro de Física Teórica da Universidade de Coimbra — CFT/UC (INIC).
- Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa — CFN/UL (INIC).
- Departamento de Energia e Engenharia Nucleares do Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial/ICEN — DEEN-LNETI/ICEN.

3. Recursos humanos

Há ao todo 54 investigadores a dedicarem-se à Física Nuclear, dos quais 30 possuem o grau de doutor, assim distribuídos:

- Grupo de Física Nuclear Aplicada do CFRM/UC (INIC): 5 doutorados, 4 não doutorados.
- CFT/UC (INIC): 12 doutorados, 5 não doutorados.
- CFN/UL (INIC) ⁽¹⁾: 6 doutorados, 6 não doutorados.

⁽¹⁾ Estes dados e todos os que apresentaremos ao longo deste Relatório relativos a este Centro do INIC, referem-se exclusivamente às suas linhas 2 e 3 (Física Teórica).

- DEEN-LNETI/ICEN: 7 doutorados, 9 não doutorados.

4. Projectos de investigação em curso

A – FÍSICA TEÓRICA

Os projectos de investigação em curso abrangem muitos tópicos, tanto das áreas tradicionais de baixas energias, como de energias intermédias, estas envolvendo graus de liberdade quarkónicos e mesónicos.

Desenvolvem-se e aplicam-se métodos para o estudo das propriedades estáticas e dinâmicas de sistemas muito variados tais como sistemas infinitos de fermiões, núcleos finitos, sistemas de poucos nucleões e o próprio nucleão.

É difícil estabelecer critérios incontroversos para arrumar os diferentes projectos num número restrito de títulos. Por esse motivo, e até pelo carácter enriquecedor de que se reveste, fazemos a listagem completa dos projectos de investigação em curso, em cada grupo:

CFT/UC (INIC)

- Influência de graus de liberdade mesónicos de sistemas infinitos de fermiões relativistas.
- Estudo da equação de Vlasov para sistemas nucleares finitos.
- Estudo dos modos normais da matéria de Vlasov limitada por fronteiras planas naturais.
- Estudo de propriedades termodinâmicas de modelos nucleares esquemáticos pelo método dos desenvolvimentos bosónicos.
- Excitações bosónicas do vácuo segundo extensões do modelo Nambu-Jona-Lasinio contendo interacções dependentes da cor.
- Estudo das propriedades dos mesões no contexto do modelo de Nambu-Jona-Lasinio.
- Determinação das propriedades estáticas e dinâmicas do nucleão e seus isóbaros, usando técnicas de projecção, no âmbito do modelo sigma quiral com e sem inclusão de mesões vectoriais.

- Inclusão de confinamento no modelo sigma linear.
- Estudo comparativo das soluções exactas de um modelo simples de piões acoplados a uma fonte estática, nos limites de acoplamento fraco e forte, com as obtidas por métodos aproximados de projecção.
- Estudo da excitação coulombiana por um método semiclassical.
- Análise teórica dos números quânticos de sabor e aplicação do método na Física Nuclear.

CFN/UL (INIC) (linhas 2 e 3)

- Cálculo de quatro corpos para o estudo dos estados de ${}^4\text{He}$ incluindo exactamente as forças tensoriais da interacção NN.
- Cálculos de quatro corpos para as reacções $dd \rightarrow dd$ e $dd \rightarrow d{}^3\text{H}$ incluindo efeitos tensoriais no deuterão e no trítio em primeira ordem na teoria de perturbações. Os poderes de análise tensorial são calculados.
- Estudo unificado da reacção $d(p, \gamma){}^3\text{He}$ usando soluções das equações de Faddeev para ${}^3\text{He}$ e estado final $d + p$.
- Aplicação de uma ansatz de Faddeev baseado em funções de Sturmian ao estudo de átomos com dois electrões.
- Aplicação de uma ansatz molecular baseada em funções de Sturmian ao estudo da molécula $dd\mu$ e $d\mu$.
- Estudo da força de três corpos entre nucleões derivada a partir de um cálculo de Faddeev onde os canais NN e $N\Delta$ estão acoplados entre si: NN-NN, NN- $N\Delta$ e $N\Delta$ - $N\Delta$.
- Cálculos relativistas do tipo Bethe-Salpeter no trinucleão usando o potencial de Paris.
- Estudo de efeitos relativistas nos factores de forma electromagnéticos do deuterão.
- Estudo da estrutura de núcleos muito leves — ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$, ${}^6\text{Li}$, etc. — utilizando reacções de captura radiativa (por exemplo ${}^1\text{H}(d, \gamma){}^3\text{He}$, ${}^2\text{H}(d, \gamma){}^4\text{He}$, ${}^4\text{He}(d, \gamma){}^6\text{Li}$), iniciados por feixes polarizados.
- Aplicação de modelos nucleares relativistas na análise de dados experimentais de dispersão deuterão-núcleo a energias intermédias.

- Estudo da equação de estado da matéria nuclear utilizando um formalismo relativista baseado na teoria do campo de nucleões e mesões.
- Colaboração na análise de dados experimentais em reacções $^{40}\text{Ca}(\text{d}, \alpha)$, $^{50}\text{Ti}(\text{d}, \alpha)$ a $E_d = 20$ MeV, obtidos pelo grupo de Munique.
- Estudo da relação entre os parâmetros interiores do potencial NN e as variáveis externas do deutério. Extensão ao trítio.
- Estudo da estrutura do núcleo de ^4He , nomeadamente cálculo do eventual primeiro estado excitado.
- Cálculo variacional do estado de dispersão deutério-deutério no canal $^3\text{S}_2$, a baixas energias.
- Estudos de alterações de estrutura provocadas por hidrogénio em aços.
- Estudos de defeitos em metais pela técnica de aniquilação de positrões.
 - Estudo dos defeitos produzidos em aços ferríticos por irradiação com neutrões;
 - Estudo das modificações estruturais induzidas após tratamento superficial por laser em Ni;
 - Estudo da fragilização induzida por hidrogénio dissolvido em aços austeníticos;
 - Estudo de transições de fase em cristais líquidos liotrópicos.

B — FÍSICA EXPERIMENTAL

Não se realiza, neste momento, em Portugal, Física Nuclear Experimental no sentido estrito do termo.

Dos dois grupos actualmente em actividade, um deles — CFRM/UC (INIC) — utiliza técnicas da Física Nuclear para a implantação de hidrogénio em metais, o estudo de metais hidrogenados e o estudo de defeitos em metais. O outro — DEEN-LNETI/ICEN — tem a sua actividade centrada em torno do Reactor Português de Investigação.

Descrevem-se, a seguir, os respectivos projectos:

CFRM/UC (INIC)

- Estudos de hidrogénio em metais por Correções Angulares Perturbadas.
 - Estudos estruturais de fases de hidretos de Nb e Ta;
 - Estudos de hidretos de Dy;
 - Estudos da interacção de hidrogénio com impurezas intersticiais em Nb e Ta;
 - Estudos de difusão de hidrogénio em hidretos de ZrMn_x e Zr;
 - Estudos estruturais e de difusão em ligas de armazenamento de hidrogénio (FeTi e LaNi_5).
- Estudos de metais e ligas metálicas hidrogenadas por espectroscopia de Mössbauer.

DEEN-LNETI/ICEN

- Exploração do Reactor Português de Investigação (RPI).
 - Desenvolvimento de métodos de produção de feixes de radiação neutrónica e fotónica e criação de campos de radiação e de condições de irradiação diversificadas para produção de radioisótopos e aplicação de técnicas nucleares;
 - Formação de pessoal em física e engenharia de reactores nucleares e contribuição para a formação noutras disciplinas científicas e tecnológicas.
- Metrologia de radiações em reactores nucleares.
 - Conhecimento do campo de radiação neutrónica e fotónica no núcleo do RPI e na sua vizinhança;
 - Assimilação e desenvolvimento de técnicas experimentais e métodos de cálculo susceptíveis de serem aplicados na resolução de problemas de radiometria decorrentes da utilização do RPI e de outras aplicações pacíficas da energia nuclear.

Nota: A este processo encontra-se associado um Núcleo de Análise por Activação com Neutrões que utiliza o RPI como fonte de neutrões e que tem aplicado a técnica a estudos diversos, nomeadamente no domínio do ambiente.

- Mecânica das estruturas aplicada à tecnologia.

- Desenvolvimento de modelos de comportamento de estruturas, em presença de solicitações estáticas e dinâmicas, e respectiva validação experimental;
 - Adaptação e desenvolvimento de programas de cálculo para o estudo de problemas de resistência de componentes e estruturas mecânicas de centrais termoeléctricas;
 - Desenvolvimento e aplicação de métodos de tratamento de sinal para diagnóstico precoce de anomalias em reactores nucleares e outras instalações industriais.
- Banco de dados para o cálculo de reactores nucleares.
 - Criação de um banco de dados contendo ficheiros e programas de cálculo que permitam estudar diversos aspectos da concepção e funcionamento de reactores nucleares (RPI e reactores nucleares de potência);
 - Responder, em tempo útil, a diversos problemas relacionados com reactores nucleares, designadamente no domínio da segurança nuclear, e, em particular, a questões suscitadas pela segurança na operação de centrais nucleares de potência que incluam reactor nuclear do tipo PWR.

5. Meios disponíveis

O CFT/UC (INIC) utiliza os computadores do Centro de Informática da Universidade de Coimbra (Vax cluster 2×8550) e ainda um Vax server 3600 (INIC) e duas Vax Station 2200. Os investigadores deste Centro dispõem também da biblioteca do Departamento de Física da FCTUC que, do ponto de vista de revistas científicas, se pode considerar bem apetrechada.

O CFN/UL (INIC) (linhas 2 e 3) usa o Vax 8550 do Complexo II do INIC e ainda os meios de cálculo do IST e da FCUL. Os investigadores quer do Centro de Física Nuclear quer do Centro de Física Teórica recorrem ainda a computadores de Instituições estrangeiras.

Os meios usados pelos grupos experimentais são os a seguir discriminados:

CFRM/UC (INIC)

- Dois sistemas de medidas de Correlações angulares Perturbadas com quatro detectores (um sistema utiliza detectores de fluoreto de bário e o outro detectores de iodeto de sódio).
- Sistema de coincidências retardadas com resolução de tempo de ~ 220 ps para medidas de tempos de vida de positrões.
- Sistema de espectrometria gama com detector de Ge intrínseco e amplificador linear.
- Microcomputador PDP-11 para controle de experiências e recolha de dados, via CAMAC, dos sistemas experimentais referidos acima.
- Dois sistemas de espectroscopia de Mössbauer com controle e recolha de dados em computadores tipo IBM-AT.
- Dois criostatos de ciclo de hélio fechado para medidas a baixa temperatura (8 K a 300 K), dois fornos para medidas a temperaturas elevadas (RT a 400C) e outro equipamento auxiliar como bombas de vácuo e controladores de temperatura.
- Sistema de Ultra-Alto vácuo com canhão de electrões para fundir amostras a pressão muito baixa ($P < 10^{11}$ mBar), com capacidade para fundir amostras com ~ 1 g.
- Dois sistemas de hidrogenação de amostras a partir de atmosfera gasosa, um para hidrogenações a pressão elevada ($P < 100$ Bar) e outro para pressões baixas ($P < 2$ Bar).
- Forno para recozimento de amostras até temperaturas de 1200 C.

DEEN-LNETI/ICEN

- Reactor Nuclear tipo piscina, moderado e arrefecido a água, de 1 MW.
- Sistema pneumático rápido para transferência de amostras em experiências de irradiação.
- Laboratório equipado para ensaios mecânicos de estruturas (LEME).
- Vários computadores (Vax server 3600, 7 Vax station com écran a cores, Micro-Vax II, Digital PDP 11/34, HP-9816S).
- Dec server 200 com 8 portas assíncronas.
- Analisador espectral Scientific Atlanta SD-375.

- Registador magnético IBM SE 7000.
- Sistema para tratamento de sinal.
- Sistema de processamento de dados e análise modal.
- Gerador de sinais BK-1049.
- Controlador de excitação vibratória BK-1050.
- Sistema para utilização remota de computadores CYBER.
- Sistema para aquisição de transitórios com 8 canais.
- Estroboscópio.
- Laboratório de metrologia de radiações equipado com sistemas de detecção diversos, incluindo espectrómetros γ de alta resolução.
- Laboratório de análise por activação com neutrões munido de equipamento para preparação de amostras (mesa de fluxo laminar, liofilizador, etc).

6. Financiamento

Os valores indicados não incluem despesas com pessoal.

CFRM/UC (INIC)

- 1986 – INIC: 3.200 c.
IAEA: 750 c.
- 1987 – INIC: 3.900 c.
Gulbenkian: 2.000 c.
- 1988 – INIC: 3900 c.
IAEA: US\$ 60.000.
KFZ (Karlsruhe): DM 40.000.

CFT/UC (INIC)

- 1986 – INIC: 5.211 c.
- 1987 – INIC: 17.700 c.
GTAE: 250 c.
- 1988 – INIC: 5.782 c.
GTAE: 1.175 c.

CFN/UL (INIC)

- 1986 – INIC: 700 c.
GTAE: 400 c.
- 1987 – INIC: 800 c.
GTAE: 600 c.
- 1988 – INIC: 800 c.
GTAE: 600 c.

DEEN-LNETI/ICEN

- 1986 – Estado: 38.197 c.
- 1987 – Estado: 54.433 c.
- 1988 – Estado: 81.965 c.

7. Publicações

Os resultados das investigações têm sido publicados em revistas da especialidade e apresentados em conferências e congressos. Para este Relatório considerámos apenas os trabalhos publicados em revistas internacionais com *referee* e palestras a convite publicadas nas Actas das respectivas conferências. Os dados que apresentamos referem-se ao período de 1.1.86 a 31.12.88.

• CFRM/UC (INIC)

- Cryst. Res. Technology: 1.
- J. of Less-Common Metals: 2.
- J. of Nucl. Mat.: 1.
- J. Phys. F: 1.
- Nucl. Phys. A: 1.
- Acta Universitatis Wratislaviensis: 1.
- Nuclear Physics Applications on Material Science: 1.

• CFT/UC (INIC)

- Ann. Phys. (NY): 1.
- Eur. J. Phys.: 1.
- Eur. Lett.: 1.
- Fisika: 2.
- J. de Physique C: 2.
- J. Math. Phys.: 1.
- J. Phys. A: 2.
- J. Phys. G: 3.
- Nucl. Phys. A: 6.
- Phys. Lett. B: 3.
- Phys. Rev. C: 1.
- Phys. Rev. D: 3.
- Physica A: 1.
- Portg. Physica: 2.
- Progr. Theoretical Phys.: 1.
- Z. Phys. A: 1.
- Z. Phys. C: 1.
- Lecture Notes in Physics: 1.

- CFN/UL (INIC)
 - Few Body Systems: 2.
 - Nucl. Phys. A: 3.
 - Phys. Lett. B: 2.
 - Phys. Rev. A: 2.
 - Phys. Rev. C: 7.
 - Deuteron Involving Reactions and Polarization Phenomena: 1.
 - Few-Body Methods, Principles and Applications: 1.
 - Lecture Notes in Physics: 2.
- DEEN-LNETI/ICEN
 - Atomkernenergie-kerntechnik: 1.
 - ASME Journal of Pressure Vessel Technology: 1.
 - Environmental Technology Letters: 1.
 - Inorganica Chimica Acta: 1.
 - Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry: 2.
 - Kerntechnik: 2.
 - Nuclear Science and Engineering: 2.
 - Radiation Physics and Chemistry: 1.

8. Intercâmbio científico

Todos os Núcleos de investigação em Física Nuclear portuguesa mantêm contactos científicos com núcleos estrangeiros. Este intercâmbio assume, em muitos casos, a forma de colaboração nos trabalhos e co-autoria das publicações.

Indica-se a seguir o número de Instituições europeias (E), americanas (Am) e asiáticas (As) com as quais cada grupo mantém relações científicas:

- CFRM/UC (INIC): 6 E.
- CFT/UC (INIC): 19 E, 1 Am, 1 As.
- CFN/UL (INIC): 6 E, 7 Am.
- DEEN-LNETI/ICEN: 8 E, 3 Am.

Note-se que não há colaboração científica entre os diferentes grupos portugueses, o que poderá justificar-se pelo facto de todos eles se dedicarem a áreas diferentes da Física Nuclear.

9. Necessidades actuais

Os meios informáticos e bibliográficos de que os grupos dispõem são considerados satisfatórios.

Os grupos teóricos dos Centros do INIC necessitam, no entanto, de passar a dispor de instalações adequadas às dimensões dos respectivos grupos, e também de ver aumentados os financiamentos do INIC de modo a tirar todo o proveito possível dos recursos humanos de que dispõem. Destacam-se, a este propósito, a necessidade de manter as assinaturas indispensáveis, assegurar a manutenção de equipamento informático e aumentar o intercâmbio internacional.

O grupo de Física Nuclear Experimental de Coimbra pretende instalar um sistema para produção de um feixe de positrões com energia controlada até 30 KeV, necessitando, para tanto de formar um técnico especializado e de um montante de cerca de 25.000 c.

O grupo experimental de Lisboa defende que Portugal deve possuir meios para fazer face a problemas relacionados com o funcionamento das instalações nucleares, mantendo também operacional o Reactor Português de Investigação. Sente também necessidade de recrutar e formar, a médio prazo, uma dezena de jovens investigadores.

10. Perspectivas

Não sendo já uma ciência de fronteira, a Física Nuclear continua, não obstante, a desempenhar papel relevante na presente conjuntura científica internacional. No nosso país faz parte integrante dos currícula dos cursos de licenciatura ligados à Física e tem aplicações científicas e tecnológicas em domínios de grande relevância.

Seria, por isso, desejável que houvesse alguma coordenação entre Universidades, Centros do INIC e outras Instituições do Estado que conduzisse, nomeadamente, à criação de pelo menos um curso de mestrado, à escala nacional, no âmbito da Física Nuclear.

Espera-se que o País se aproxime do nível de desenvolvimento médio dos países das Comunidades Europeias, com o decorrente incremento em I&DT. Este incremento terá como consequência natural a satisfação de muitos dos desejos dos investigadores nacionais que actualmente se dedicam à Física Nuclear.