



Entrada no LSBB

# Uma investigação *underground*

T. A. Girard<sup>1</sup>

É pouco conhecido em Portugal, mesmo entre os físicos, que um grupo de investigadores, incluindo portugueses, trabalha a 500 m de profundidade no *Laboratoire Souterrain à Bas Bruit* (LSBB) no sul de França, para desenvolver a próxima pesquisa de partículas de matéria escura (WIMPs – *Weakly Interacting Massive Particles*), usando uma nova técnica envolvendo líquidos superaquecidos.

O projecto, chamado SIMPLE (*Superheated Instrument for Massive ParticLe Experiments*), visa produzir uma exposição de 30 kg num dia, com 15 detectores de gotas superaquecidas, cada uma contendo freón  $C_2ClF_5$ .

O projecto é uma colaboração Portugal–França–EUA, sendo um de três projectos deste tipo a nível mundial (sendo os outros PICASSO e COUPP, do Canadá e os EUA, respectivamente). É o único projecto de pesquisa de matéria escura apoiado financeiramente pela FCT neste momento, em que Portugal tem um papel de liderança.

## ELIMINAR O RUÍDO DOS NEUTRÕES

Qualquer pesquisa da matéria escura é baseada na detecção do recuo nuclear numa interacção WIMP-núcleo do átomo; todas as pesquisas são intrinsecamente buscas de eventos raros, em que o problema fundamental é conseguir uma grande exposição (= massa activa x tempo da medida) com o limiar de energia recuado o mais baixo possível,

e um mínimo de fundo. A eliminação do fundo de raios cósmicos é geralmente efectuada através de buscas a profundidades consideráveis debaixo de terra. Como se mostra na Fig. 1 (a), mesmo na profundidade do LSBB, com 1500 metros equivalente da água (mwe), o fluxo de muões já é reduzido  $10^4$  vezes em relação à superfície. O problema é que, como mostrado na Fig. 1 (b), abaixo de cerca de 100 mwe, as experiências tornam-se sensíveis aos componentes radioactivos das rochas nos locais das experiências e aos materiais do próprio detector: assim, blindagens adicionais são requeridas para reduzir ainda mais o fluxo de neutrões ambiental, e muita atenção é necessária aos materiais utilizados na construção dos detectores.

<sup>1</sup>criodets@cii.fc.ul.pt

Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa

## UM LABORATÓRIO DEBAIXO DAS MONTANHAS

O LSBB está localizado abaixo do Monte Ventoux (1010 m), perto de Rustrel em Provence, França. Foi anteriormente um dos dois centros de lançamento de mísseis de resposta nuclear francesa, e consiste em 3,2 km de galerias de betão reforçado. Originalmente recuperado para o projecto SIMPLE, a sua actividade tem crescido com o tempo, e agora também engloba diversas áreas, como geofísica, hidrologia, magnetometria, sismologia, e estudos avançados de fiabilidade de memórias semicondutoras, com mais de 100 investigadores de 40 instituições internacionais. É operado por um *staff* de 5 técnicos permanentes de Universidade de Nice, sob a administração do CNRS e Observatoire Côte d'Azur.

uma viagem de carro de cerca de uma hora. Dado o afastamento do laboratório, normalmente a equipa em missão aluga uma das várias *gîtes* (residências rurais) perto do laboratório, partilhando todas as tarefas domésticas. Por causa das condições de segurança no LSBB, todos os membros da equipa necessitam de formação e de certificação em regulamentos laboratoriais que abrangem o funcionamento dos carros eléctricos de transporte, procedimentos de segurança em caso de incêndio, e conhecimentos das características das outras experiências residentes. Actividades experimentais com impacto nas outras actividades do complexo não são permitidas. Apesar do LSBB se situar no centro de um círculo de 30 km livre de falhas activas, com ausência de actividade sísmica ao longo dos últimos 1100 anos, é necessária uma certificação que inclui os procedimentos de emergência por derrocada ou colapso do túnel, uso de respira-



MAXWELL (imagem com micro-ondas de solos e rochas)



XILINX ( $\alpha$ -induced errors em nanochips)



HPPCO2 (fixação e armazenamento de CO2)

Uma deslocação para o LSBB pode fazer-se por um voo directo de 2 horas de Lisboa para Marseilha-Marignane, que fica a sul do LSBB, seguido de

dores, e evacuação do túnel através da escapatória no topo da montanha. É também necessário monitorizar os níveis de radão, uma preocupação normal em actividades subterrâneas.



Certificação da formação



Uma *gîte* no vale Luberon

Mais informações sobre o LSBB, ou o projecto SIMPLE:

<http://lsbb.oca.fr> ou através de [lsbb@oca.eu](mailto:lsbb@oca.eu) (Christophe Sudre) ou ainda [criodets@cii.fc.ul.pt](mailto:criodets@cii.fc.ul.pt) (T.A. Girard) .

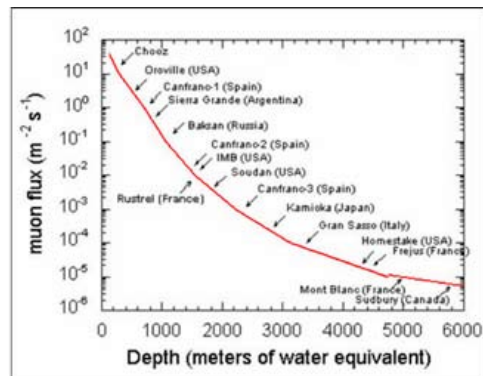
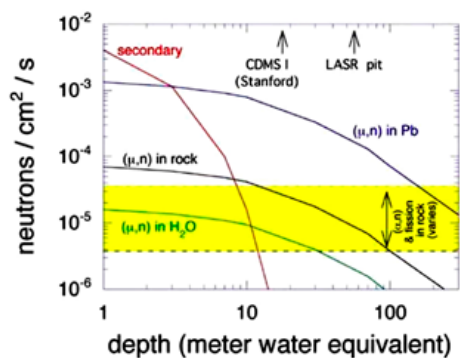
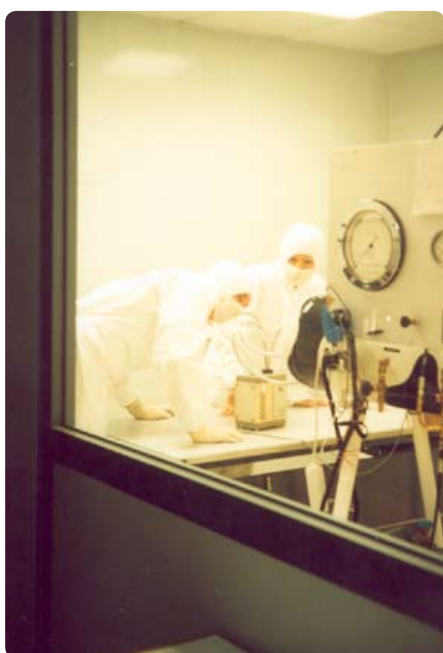


Fig. 1: (a) atenuação dos muões com profundidade, (b) fundo de neutrões no subterrâneo.

## OS TRUQUES DA TÉCNICA DE DETECÇÃO

A resposta do líquido superaquecido é baseada na nucleação da fase gás pela deposição da energia no líquido, que deve cumprir duas condições [15]: (i) a energia depositada deve ser superior a um mínimo, e (ii) essa energia deve ser depositada dentro de uma distância mínima, termodinamicamente definida dentro do líquido. As duas condições requerem deposições de energia da ordem  $> 150$  keV/mícron, tornando o detector efectivamente insensível à maioria dos fundos tradicionais que são uma praga para os detectores mais convencionais de matéria escura (incluindo  $\gamma$ ,  $\beta$ , e  $\mu$ ). Esta insensibilidade não é trivial, sendo  $10^{-10}$ , versus  $10^{-2}$  a  $10^{-8}$  de técnicas com maior perfil. Isto traduz-se numa sensibilidade para apenas  $\alpha$ 's,  $\alpha$ -recuos e neutrões, e numa aquisição de dados reduzida e numa análise dos resultados mais simplificada e eficiente.

Para prolongar a metaestabilidade do líquido superaquecido, este é fraccionado em gotas com  $\sim 25$  mícron de diâmetro e dispersado homogeneamente dentro de uma matriz de gel. Para reduzir a contaminação  $\alpha$  na construção, os SDDs são fabricados a partir de materiais para a alimentação, numa sala "branca" especialmente construída a uma profundidade de 210mwe no LSBB.



A sala branca

Uma vez feitos, os detectores são transportados até cerca de 1 km até ao local de medição (chamado GESA, ver Fig. 2). O GESA é uma gaiola de Faraday, com blindagem de 1 cm de inox e 20-100 cm de betão reforçado. No GESA, os detectores são apertchados com uma nova electrónica baseada num microfone, pressurizados até 2 bar, e instalados num banho de água de 700 litros para o controlo



Os corredores do túnel



Fig. 2: (a) o banho térmico em GESA;



Fig. 2: (b) com a blindagem de água instalada.

da sua temperatura. O banho de água é também cercado por uma espessura de 75 cm de água, em caixas de 20 litros, para reduzir o fluxo neutrónico ambiental em mais seis ordens de grandeza.

O microfone grava a onda acústica de choque associada com a expansão rápida de uma bolha de nucleação, e está ligado a um pré-amplificador de ganho elevado, baixo ruído e controlado digitalmente. A saída de cada microfone, juntamente

com os dados de temperatura e de pressão, é gravada por uma plataforma desenvolvida em MatLab num dos quatro PC's de 1 Terabyte localizados no interior do túnel perto do GESA. Toda a actividade pode ser controlada através da internet/rede a partir da área administrativa do LSBB. A electrónica e o sistema de aquisição de dados foram totalmente desenhados e construídos em Lisboa, incluindo mais de 1700 componentes de montagem superficial e quase 1 km de cabos.



Estação DAQ perto do GESA

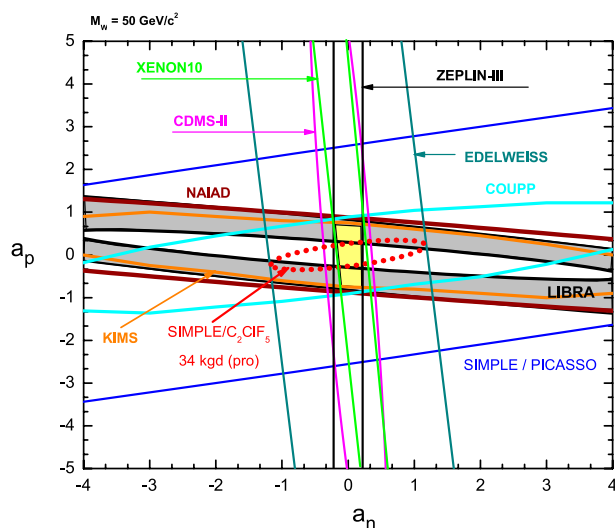
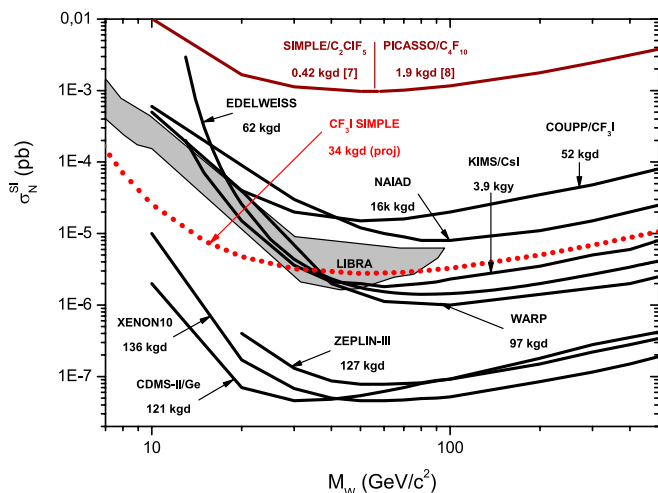


Fig. 3 - Actuais restrições sobre o WIMP-núcleo interação: (a) “spin-independente” e (b) “spin-dependente”. Para (a), quanto menor o contorno, melhor, com as  $\sigma_N^{SI}$  acima do contorno excluídas; para (b), os contornos são bandas ou elipses, com a área exterior excluída.

Os dados, depois de corrigidos para as diferentes calibrações e contribuições de fundos medidos/estimados durante a experiência, são interpretados em termos de interações tanto WIMP “spin-independentes” (SI) como “spin-dependentes” (SD), as últimas na sequência de um formalismo modelo-independente previamente elaborado pelo Grupo. A Figura 3 mostra os limites actuais das experiências principais em cada sector. Actualmente, as melhores restrições na interacção WIMP-núcleo SI são fornecidas pelos projectos XENON e CDMS, como visto na Figura 3 (a); cada projecto proporciona um contorno na fase espacial de secção de eficaz ( $\sigma_N$ ) – massa do WIMP ( $M_W$ ), com a área acima do contorno excluída pela experiência.

No sector SD, a situação actual é definida pelos projectos KIMS e COUPP, como visto na Figura 3 (b); aqui, cada resultado experimental gera uma banda (alvo núcleo único)

ou elipse (alvo multi-núcleo), com a área externa de acoplamento do spin  $a_p$ ,  $a_n$  excluído. O problema com a direcção da actividade actual é que, de experiências sobre a sensibilidade do spin, a maioria dará apenas um limite mais estreito no acoplamento WIMP-neutrão ( $a_n$ ), com pouco impacto sobre a WIMP-protão ( $a_p$ ). Os resultados actuais do SIMPLE também são mostrados na Figura, juntamente com as projecções de resultados a partir da medição em curso. Dada a pequena exposição, os resultados actuais podem comparar-se favoravelmente com os projectos principais, com exposições significativamente maiores, e devem servir para medidas com maior impacto.

## DO TRABALHO EM EQUIPA AO PRAZER DAS IGUARIAS LOCAIS

A actividade da equipa no LSBB é liderada por Tomoko Morlat, uma investigadora da Universidade de Lisboa no âmbito do programa “Ciência 2007”. Morlat passou três anos no Instituto Tecnológico e Nuclear no desenvolvimento químico dos SDDs, e mais de um ano com o grupo concorrente PICASSO no Canadá, antes de regressar ao SIMPLE. O seu trabalho é complementado pelo doutorando Miguel Felizardo da UNL/FCT, responsável pela electrónica e instrumentação, e pelo líder do projecto, Tom Girard (UL): em conjunto, o grupo trabalhou desde o final de Janeiro deste ano para expandir a área experimental da sua anterior capacidade de sete detectores, e para instalar a nova electrónica e blindagem de água. Existem outros membros da equipa, como José Marques, Ana Cristina Fernandes e Rita Ramos Wahl, que já passaram uma temporada no LSBB.

Um dia de trabalho geralmente consiste em duas sessões de 3,5 h, interrompidas para um almoço comunal perto da entrada do túnel, onde os investigadores das várias actividades no LSBB se concentram para trocar ideias, sugestões e soluções para dificuldades comuns a todos.

Como o LSBB está fechado durante os fins de semana, a *gîte* torna-se frequentemente num pequeno laboratório, com construções e reparações. Os fins



Dra. Tomoko Morlat

de semana são também tempo para reabastecer a cozinha com as diversas iguarias existentes em Apt no seu “mercado” aos sábados de manhã, para as tarefas básicas (lavandaria e limpeza), para relaxar incluindo a exploração da natureza próxima ou simplesmente para recarregar as baterias para a semana seguinte, plena de actividades intensas em condições extremas, não muito habituais para o comum dos mortais, e até para aqueles que dizem “vou até ao laboratório”.



Dr. Miguel Felizardo

Vista da Provença da escapatória no topo da montanha

