

# Entrevista a Arthur McDonald

Filipe Moura

Colaboração de José Maneira, Sofia Andringa e Gabinete de Comunicação do LIP

Arthur B. McDonald, Prémio Nobel da Física em 2015 pela “descoberta das oscilações de neutrinos que mostram que os neutrinos têm massa”, esteve em Portugal no passado mês de Setembro a convite do LIP - Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas e da Sociedade Portuguesa de Física.

O físico canadiano, professor na Universidade Queen's, foi responsável pela experiência SNO (Sudbury Neutrino Observatory), cujo detetor de neutrinos se encontra a 2 km de profundidade no Canadá, e em que participaram desde 2005 investigadores portugueses do LIP.

Os neutrinos são partículas elementares muito difíceis de detetar. São produzidos naturalmente pela fusão nuclear no interior do Sol e pelos raios cósmicos na atmosfera terrestre, e artificialmente em aceleradores de partículas ou em reatores nucleares. As experiências SNO (liderada por Arthur B. McDonald) e SuperKamiokande (liderada por Takaaki Kajita, com quem McDonald partilhou o Nobel da Física de 2015) mostraram que os neutrinos, ao alterarem as suas propriedades no caminho entre a produção e deteção, tinham necessariamente massa não nula, ao contrário do que era esperado no Modelo Padrão da física de partículas. Esta descoberta levantou questões importantes na fronteira entre a física de partículas e a cosmologia, que são objeto de uma nova geração de experiências.

O Prémio Breakthrough para a Física Fundamental de 2016 foi atribuído às várias centenas de cientistas que contribuíram para a “descoberta fundamental da oscilação de neutrinos, revelando uma fronteira para além, possivelmente muito além, do Modelo Padrão da física de partículas”. Quatro investigadores do LIP partilharam esta distinção.

O detetor SNO/SNO+ está situado no laboratório SNOLAB, a 2 km de profundidade, numa mina de extração de níquel, no Canadá. Consiste num volume interior líquido contido numa esfera de acrílico transparente de 12 m de diâmetro e 5 cm de espessura, e é rodeado por um conjunto de cerca de 9500 sensores de luz numa estrutura de 18 m de diâmetro. Em SNO, a esfera continha 1000 toneladas de água pesada (uma molécula equivalente à da água, mas em que o hidrogénio é substituído por deutério, com mais neutrões), permitindo dois processos de interação

dos neutrinos inacessíveis a outros detetores – um sensível apenas aos neutrinos de eletrão e outro igualmente sensível a todos os tipos de neutrino. As partículas carregadas com velocidade superior à da luz na água eram identificadas pela emissão de radiação de Cherenkov. Para a nova experiência, SNO+, a mesma esfera conterá 780 toneladas de um líquido cintilador orgânico, que emite muito mais luz, permitindo detetar partículas carregadas de muito menor energia. O objetivo principal desta experiência é a observação de um processo de decaimento radioativo extremamente raro, que, a existir, revelaria o caráter de Majorana dos neutrinos e permitiria medir a sua massa desconhecida. O detetor teve de ser adaptado para poder conter líquidos de diferente densidade, e para poder lidar com uma muito maior taxa de sinais. Começará a tomar dados brevemente.

Durante a sua visita, Arthur B. McDonald deu uma palestra pública no Pavilhão do Conhecimento - Ciência Viva, em Lisboa, com o título “*A deeper understanding of the universe from 2 km underground*”. Visitou a Universidade de Coimbra e o polo de Coimbra do LIP, onde está a ser construído o mecanismo de inserção de fontes de calibração para a experiência SNO+. A calibração é uma das áreas de responsabilidade do LIP em SNO+, estando já instalado no detetor um sistema baseado em fibras ópticas cujas partes mecânicas também foram construídas nas oficinas do LIP. Finalmente, Arthur McDonald abriu a 20.ª Conferência Nacional de Física, organizada pela Sociedade Portuguesa de Física, que teve lugar no Campus de Gualtar da Universidade do Minho, em Braga. Foi nesta ocasião que tivemos oportunidade de com ele conversar, bem como com José Maneira (JM) e Sofia Andringa (SA), dois seus colaboradores portugueses do LIP.

No seguimento da entrevista, publicamos as perguntas selecionadas (e respetivas respostas) no âmbito do concurso promovido pela página de

Facebook da revista, em que convidámos os nossos seguidores a apresentar questões que foram apresentadas a Arthur McDonald quando da sua palestra em Braga.

## 1. Entrevista

**Gazeta de Física (GF) – Qual foi a sua motivação para começar a trabalhar na física dos neutrinos?**

**Arthur McDonald (AMD)** – A minha carreira de investigação começou na Física Nuclear. Desde sempre estive interessado em compreender leis físicas fundamentais. Procurava simetrias, tal como elas eram medidas na Física Nuclear. Procurava entender o Modelo Padrão, nomeadamente através de medições de violação de paridade. Fiz o meu doutoramento em Astrofísica Nuclear, no laboratório de William Fowler, que tinha ganho o Prémio Nobel por cálculos e experiências relacionadas com a forma como os elementos são gerados nas estrelas (supernovas).

Antes da experiência SNO, trabalhava na medição da violação de paridade em núcleos de modo a exhibir a interação fraca entre os quarks *up* e *down*. A troca de bósons Z entre estes quarks, tal como é explicada no Modelo Padrão, não pode ser estudada de outra maneira: a violação de paridade é necessária para distinguir a interação fraca da interação forte. Estávamos a tentar perceber se o Modelo Padrão funcionava, através de uma série de medições que nunca tinham sido feitas.

Entretanto apareceu um problema que nós, no Canadá, tínhamos uma oportunidade única de resolver: utilizar água pesada para resolver o que já então era conhecido como o problema dos neutrinos solares. A resolução desse problema implicaria ou mudar o modelo de combustão do Sol, conhecido com cálculos pormenorizados, ou encontrar novas propriedades dos neutrinos. Isso se conseguíssemos fazer a experiência! Foi um desafio experimental, mas pessoas muito qualificadas vieram trabalhar connosco. Parecia uma boa oportunidade de fazer algo com algum risco, mas a ciência era uma boa compensação. De várias maneiras.

**GF - O problema dos neutrinos solares já era conhecido há algumas décadas. Teve alguma importância para começar a trabalhar nesta área?**

**AMD** - Resolver o problema dos neutrinos solares era o objetivo principal. Já era sabido que se podia utilizar a água pesada para originar dois tipos de reações com os neutrinos. O que fez a diferença foram duas coisas únicas no Canadá: a disponibilidade de milhares de toneladas de água pesada no valor de 300 milhões de dólares e de um local



Arthur B. McDonald na Física 2016 em Braga

muito profundo localizado numa mina. Estes dois aspetos eram essenciais para realizar a experiência, e surgiram em conjunto no início dos anos 90.

**GF - Na sua palestra mencionou que tinha obtido água pesada muito barata!**

**AMD** - Nós conseguimos pedir emprestada água pesada à agência governamental que construía reatores nucleares no Canadá, por ideia de Herbert Chen, da Universidade da Califórnia em Irvine. A agência tinha reservas no valor de 300 milhões de dólares; nós pudemos usá-las pagando um dólar... No entanto, durante os dez anos em que tivemos a água pesada em nossa posse, tivemos que pagar um milhão de dólares por ano de seguro... O seguro era muito mais caro por a água estar armazenada numa mina no subsolo. Mas podermos usá-la foi uma grande vantagem e uma oportunidade única.

**GF - A ideia de instalar a experiência numa mina foi sua?**

**AMD** - Não. Quando Herb Chen soube que se poderia utilizar a água pesada da agência governamental, reuniu-se um grupo de 16 especialistas neste tipo de medições em Física fundamental. Esse grupo incluía George Ewan, da Universidade Queen's, que já tinha andado à procura de uma localização no subsolo no Canadá para realizar esta experiência, e já tinha estabelecido contactos com os donos da mina. Os dois líderes originais do projeto foram portanto George Ewan, no Canadá, e Herb Chen, nos EUA. No entanto, passados três anos, em 1987, Herb Chen infelizmente faleceu com leucemia, com 40 e poucos anos. Eu na altura encontrava-me na Universidade de Princeton, e assumi o cargo de responsável, da parte dos EUA, pelo projeto. Trabalhei com George Ewan e com David Sinclair, do Reino Unido, à procura de financiamento. Em 1989 George Ewan reformou-se, e eu mudei-me de Princeton para a Universidade Queen's e passei a ser o diretor geral do projeto, quer da parte de construção quer da parte científica.

**GF - Nessa altura estava em Princeton. Teve algum contacto com John Bahcall<sup>1</sup>?**

<sup>1</sup> Professor no Instituto de Estudos Avançados em Princeton que desenvolveu o modelo solar padrão e enunciou o problema dos neutrinos solares, baseado nos resultados da experiência do cloro de Davis (n. do ed.).

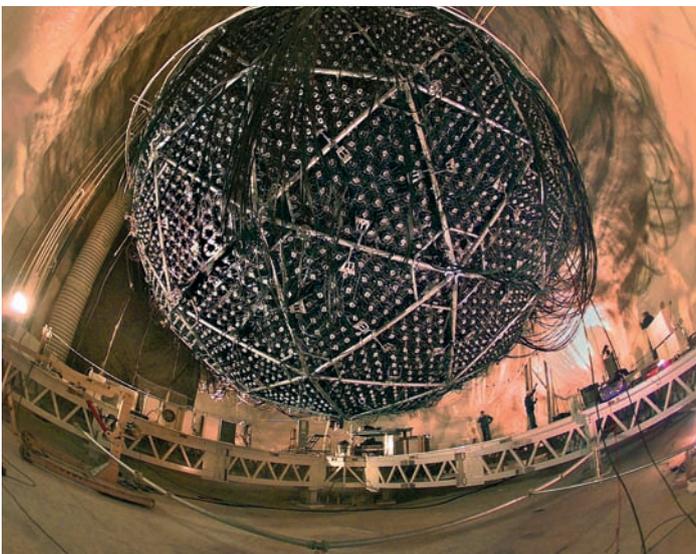
**AMD** - Com certeza! John Bahcall foi um bom amigo meu. Ainda antes disso, nos anos 60, na altura em que eu era um estudante de doutoramento no Caltech (Instituto de Tecnologia da Califórnia), ele era um jovem professor lá. A sua mulher, Neta, é minha amiga e foi minha colega no doutoramento. O John estava a trabalhar na altura com Raymond Davis no que viria a ser a experiência de Davis: a possibilidade de usar o cloro como detetor de neutrinos. Alguns colegas meus, alunos como eu, estavam a medir propriedades do núcleo do cloro para consolidar a teoria que o John tinha proposto. Era certamente um tópico em que as pessoas já estavam a trabalhar. Mantive a amizade com o John Bahcall ao longo da sua carreira. Ele era um físico fantástico, que contribuiu substancialmente para o nosso conhecimento do sol e da sua combustão. Tinha um tremendo respeito por ele. Faleceu muito novo.

**GF - Há algum momento especial da descoberta que queira destacar?**

**AMD** - Durante a experiência, a informação era transmitida aos nossos colaboradores de forma cautelosa e parcelada, de forma a poder por eles ser analisada sem viés. Assim poderiam fazer uma análise adequada dos dados, sem ser adaptada a uma ideia preconcebida do resultado. Finalmente um dia, todos os colaboradores da experiência, investigadores séniores, pós-docs e estudantes, umas 150 pessoas em todo o mundo, receberam ao mesmo tempo a informação de que tínhamos sido capazes de provar que os neutrinos mudam o seu “sabor” enquanto viajam do Sol para a Terra, ou seja, tínhamos resolvido o problema dos neutrinos solares, e os cálculos do modelo de combustão do Sol estavam corretos. Foi o “momento eureka!”

**GF - Como começou a participação portuguesa na experiência?**

**AMD** - O José Maneira era investigador de pós doutoramento na Universidade Queen's. De seguida, foi contratado



Observatório de Neutrinos Sudbury, esfera com sensores de luz durante a fase de construção (imagem cortesia do SNO).

pelo LIP, mas continuou a trabalhar na experiência SNO. O José, a Gersende Prior e o Nuno Barros, do LIP, são coautores dos artigos da experiência SNO e receberam o Prémio Breakthrough, no ano passado. A sua contribuição foi muito importante na calibração da experiência. Também estiveram envolvidos na análise de dados da qual se extraiu a física da experiência. O José, desde que ingressou no LIP, também começou a trabalhar na experiência seguinte, SNO+, a próxima utilização do equipamento da experiência SNO, um projeto maravilhoso no qual estamos a reciclar equipamento já instalado no valor de 70 milhões de dólares, para eventualmente medirmos o que será uma das mais importantes propriedades dos neutrinos: o declínio beta duplo sem emissão de neutrinos.

**José Maneira (JM)** - A eventual observação do declínio beta duplo sem emissão de neutrinos permitir-nos-á decidir se os neutrinos são fermiões do tipo de Dirac, como os eletrões, ou de Majorana (neste caso os antineutrinos seriam idênticos aos neutrinos). Se este processo existir, a medição da sua largura poderá indicar-nos o valor absoluto da massa dos neutrinos (das experiências com as oscilações dos neutrinos só sabemos que este valor é diferente de zero). É este o objetivo principal de SNO+. Também pretendemos alargar as medições de oscilações de neutrinos para energias mais baixas. Estes são assuntos em que o LIP também tem estado envolvido, e a Sofia Andringa tem liderado a participação do nosso grupo nas experiências com antineutrinos em SNO+.

**AMD** - A Sofia também recebeu o Prémio Breakthrough, como participante na experiência K2K. Também gostei de visitar o grupo de Coimbra do LIP, onde um trabalho muito complexo de calibração de equipamento tem vindo a ser desenvolvido. Em geral, estamos muito satisfeitos na experiência SNO+ com a capacidade de produção de equipamento do LIP.

**JM** - Também estamos a adquirir muita experiência e *know-how* no nosso grupo graças ao bom ambiente existente na colaboração.

**GF - Falando de dinheiro: até agora, quanto é que custou a experiência SNO?**

**AMD** - O custo de capital associado a montar e instalar a experiência foi cerca de 70 milhões de dólares canadianos. Desde que a experiência começou têm-se registado algumas flutuações mas, em média, a cotação do dólar canadiano tem sido equivalente a do americano. A isto acrescem, por um período de dez anos, despesas de operação do detetor e de apoio à investigação no valor de uns 40 milhões de dólares. O custo de construção do laboratório foi cerca de 50 milhões de dólares, e a conversão da experiência em SNO+ custou outros 15 milhões de dólares. Isto é muito dinheiro,

mas ao mesmo tempo muitas pessoas estão a ser pagas pelo seu trabalho. A atitude que tem sido tomada no Canadá em relação à experiência SNO é que é um risco que valia a pena tomar, porque os ganhos compensavam. Havia vantagens para o país em que a experiência se localizasse lá. Seria uma oportunidade de trazer para o Canadá cientistas estrangeiros para trabalharem com os canadianos, e ao mesmo tempo de os cientistas canadianos terem uma participação internacional. A ideia de colaboração internacional tem merecido o apoio das nossas agências financiadoras ao longo dos anos.

### **GF - Como é que estes custos se comparam com os de um acelerador de partículas?**

**AMD** - São muito mais baixos. Nesse caso falaríamos de milhares de milhões de dólares. Não vemos isto como uma competição, mas com uma cooperação com a comunidade dos aceleradores de partículas, com os mesmos objetivos: tentar perceber como funciona o universo ao nível microscópico. Por exemplo, existem algumas indicações de que é a matéria escura que mantém a estrutura da nossa galáxia, através da sua força gravitacional. No nosso laboratório<sup>2</sup> estamos a tentar observar diretamente partículas de matéria escura. No LHC estão a tentar obter provas da existência dessas partículas que poderiam ser de matéria escura. Relativamente à física dos neutrinos, ela ganhou uma nova relevância dentro da Física de Partículas nos últimos 15 anos graças aos nossos resultados e à experiência SuperKamiokande.

### **GF - Mas tendo em conta quer razões financeiras, quer razões científicas, pensa que no futuro deveríamos concentrar-nos na deteção e análise de raios cósmicos, ou insistir na construção de mais aceleradores?**

**AMD** - Há várias experiências envolvendo raios cósmicos onde são detetados eventos mais energéticos do que alguma vez se conseguirão produzir num acelerador: as experiências Auger, na Argentina, e IceCube, na Antártida... Uma parte dos físicos de partículas já estão a trabalhar em física de astropartículas. O meu palpite é que vai haver uma combinação de física de astropartículas, física de neutrinos e aceleradores de partículas convencionais a trabalhar na fronteira das energias. Há muita física para ser aprendida nestas áreas nos próximos 20 anos, com os meios de que dispomos. O que penso que vai acontecer é que, daqui a uns anos, quando o LHC já tiver fornecido dados suficientes que permitam fazer uma análise estatística e conhecer bem a física na sua gama de energias, a comunidade de físicos de partículas como um todo vai reunir-se e decidir

como deve continuar. Nessa altura, será decisiva a revisão por pares dos méritos e oportunidades relativos de cada uma destas áreas.

## **2. Perguntas dos leitores**

### **1. A matéria escura de que tanto se fala poderá ser atribuída à massa dos neutrinos? (Hermenegildo Miranda)?**

Não, a massa dos neutrinos é demasiado pequena: eles estão sempre em movimento e não se acumulam para os vemos como matéria escura. As partículas de matéria escura devem ser muito mais pesadas. Procuramos encontrá-las noutros detetores no laboratório que resultou da extensão do SNO para o SNOLAB.

### **2. Frequentemente o momento da descoberta científica é descrito como uma epifania: saber algo que mais ninguém no planeta conhece por enquanto. Qual foi a sua reação quando viu pela primeira vez que de facto os neutrinos oscilam? (Marta Daniela)**

Esse momento eureka foi, neste caso, partilhado. A análise dos dados da experiência SNO foi preparada e otimizada mascarando propositadamente os dados na zona mais relevante, e a abertura da cortina foi feita ao mesmo tempo para todos. Mais de uma centena de pessoas, incluindo muitos estudantes envolvidos na experiência SNO, souberam no mesmo momento em diferentes locais, que tínhamos confirmado a oscilação de neutrinos.

### **3. Qual a sua visão da natureza geral? (Maikoni Jefferson)**

Uma coisa fascinante na natureza é que usando uma linguagem matemática, conseguimos descrever um grande número de fenómenos e relacionar escalas muito diferentes, dos neutrinos ao Sol, e mesmo descrever a evolução do Universo a partir das propriedades das partículas elementares. Isto é o que a torna tão apelativa para os físicos. Mas não é a única abordagem para tudo: seria difícil a um psicólogo explicar o amor a partir destas propriedades fundamentais...

<sup>2</sup> Na experiência DEAP (n. do ed.).