

NEUTRINOS EM TUDO QUE EU VEJO

Ricardo Avelino Gomes¹

Além dos conhecidos raios solares, que são a principal fonte de energia do nosso planeta, existe algo mais que é, de forma ininterrupta, emitido pelo Sol em nossa direção. Em todas as direções, é bem verdade. Antes que se possa perguntar o que seria esse *'algo mais'*, respondo: são os neutrinos.

Um curioso fenômeno no interior do Sol faz com que, em um único segundo, centenas de bilhões de neutrinos atravessem cada centímetro quadrado do seu corpo! Enquanto pensa a esse respeito, trilhões e trilhões de neutrinos terão atravessado seu cérebro e sequer terá percebido um deles. E pouco importa se é dia ou noite. Eles atravessam a Terra como se ela não existisse. Ao meio-dia atravessam sua cabeça de cima para baixo, à meia-noite de baixo para cima, e durante o poente podem, literalmente, entrar por um ouvido e sair pelo outro.

Mas o que realmente são e por que o Sol emite neutrinos? São perigosos para a saúde? Existe algum protetor de neutrinos, tal como os protetores solares? Se são tantos neutrinos, por que não conseguimos ver alguns deles? Para essas perguntas, adentremos o mundo de mistérios que rondam os neutrinos, essas partículas fantasmas. Começemos pelo começo. Mesmo porque, estamos apenas no início das descobertas.

Os neutrinos são partículas elementares que não têm carga elétrica, são neutros. Por *'elementar'* quero dizer que os neutrinos não têm uma subestrutura, não são formados por partículas ainda menores. São elementares tal como os

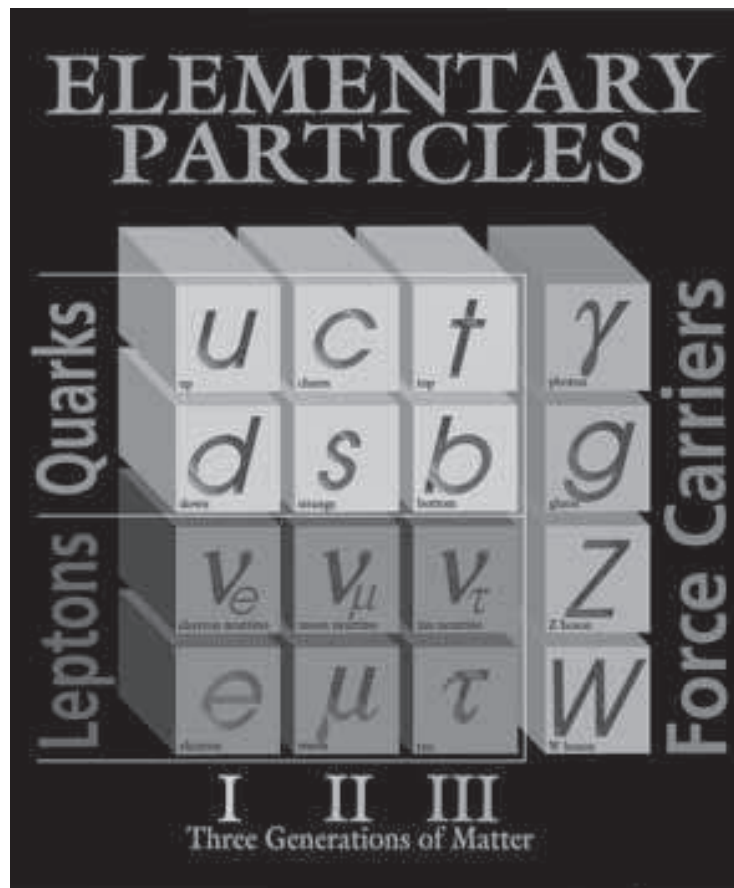
¹ Doutor em Física (UNICAMP/ FERMILAB). Professor do Instituto de Física da UFG, Pesquisador Colaborador do FERMILAB, EUA. E-mail: <ragomes@if.ufg.br>.

resenhas e críticas • NEUTRINOS EM TUDO QUE EU VEJO

elétrons e os quarks. E quanto aos conhecidos prótons e nêutrons? Estes não são partículas realmente elementares, por serem constituídos por partículas menores, os quarks *up* e *down*. Veja na Figura 1 o esquema do Modelo Padrão das Partículas Elementares.

Existem três tipos de neutrinos. Comumente, dizemos que são três sabores, ao invés de tipos. São eles: eletrônico, muônico e tauônico. Os chamamos, portanto, de neutrino eletrônico, neutrino muônico e neutrino tauônico (Figura 1). Poderíamos adotar uma nova definição em que os sabores seriam: maracujá, laranja e açaí.

Figura 1: Partículas Elementares no Modelo Padrão.



Fonte: FERMILAB (<http://www.fnal.gov>).

Fermilab 35-756

Sem dúvida, a nomenclatura convencional dos neutrinos quanto aos seus sabores tem uma razão de ser. Quando os neutrinos interagem com a matéria, mesmo que isso aconteça muito raramente, o resultado da interação nos informa o sabor do neutrino. Se da interação tivermos como resultado um elétron, dizemos que se tratava de um neutrino eletrônico, se tivermos um múon dizemos neutrino muônico. Esta é uma situação adequada para o famoso “*Diga-me com quem tu andas, que eu te direi quem tu és*”. No caso em questão, se tu andas com o elétron, tu és um neutrino eletrônico.

Até pouco tempo, acreditava-se que os neutrinos não teriam massa. Sim, uma partícula pode ter massa zero, é o caso do fóton, a partícula de luz. Entretanto, recentemente, a Física de Partículas descobriu que os neutrinos têm massa, mesmo que muito pequena. Essa descoberta muda o que pensávamos sobre os neutrinos e tem implicações na Cosmologia.

A massa diferente de zero dos neutrinos é consequência do fato de observarmos uma mudança, *a priori* tida como proibida, no sabor dos neutrinos. Por mudança no sabor, entendamos, por exemplo, que um neutrino maracujá se transforma em um neutrino laranja, depois em neutrino açaí, e pode retornar a neutrino maracujá. Isso não deveria ser possível, mas acontece. Fato que nos levou a aprimorar a teoria padrão da Física de Partículas. Curioso o comportamento dos neutrinos: sofrem de um tipo de mudança de personalidade. E não estamos falando de dupla personalidade, mas de tripla personalidade! Para o caso de descobirmos mais sabores, falemos em múltipla personalidade.

O modelo teórico que melhor explica os resultados experimentais de mudança de sabor, é o modelo de *oscilação de neutrinos*, que tem como ideia seminal uma proposta de 1957 do físico italiano Bruno Pontecorvo. Tais resultados, à luz desse modelo, sugerem que existe uma diferença de massa entre os diferentes sabores de neutrinos (VALDIVIESSO e GUZZO, 2005). Não se sabe, ainda, quem é mais pesado que quem. A hierarquia de massa é um problema em aberto, para ser resolvido nos próximos anos.

Sabemos, também, que além dos neutrinos existem os antineutrinos, que são as antipartículas dos neutrinos. Esse fato é consequência de resultados experimentais, mas ainda existem especulações sobre a distinção entre neutrinos e antineutrinos. Tal como os neutrinos, os antineutrinos também têm três sabores – antineutrino eletrônico, antineutrino muônico e antineutrino tauônico.

Como se não bastasse, outra notícia vinda dos neutrinos surpreendeu a comunidade científica recentemente. Uma evidência experimental de 2011, e uma outra anterior (2007), sugerem que neutrinos tenham velocidade superior à da luz no vácuo! Algo que, em princípio, seria proibido pelas leis da Física. É cedo, vale dizer, para concluir alguma coisa sobre essas evidências. As incertezas associadas às medidas são grandes e podem levar a uma interpretação equivocada. Em ciência precisamos ser cautelosos e esperamos diminuir as incertezas das medidas. Por enquanto, qualquer análise sobre as consequências desse resultado é meramente especulativa.

Dado esse retrato panorâmico com as principais características dos neutrinos, vejamos um pouco sobre o início das investigações a respeito dessas partículas curiosas, tanto do ponto de vista teórico quanto experimental. Uma pincelada sobre sua história pode ajudar na compreensão de sua personalidade. Mesmo que múltipla.

Os neutrinos foram postulados (conjecturados) em 1930, pelo grande físico austríaco Wolfgang Pauli, que tentava explicar uma aparente violação na conservação de energia de um processo físico, o *decaimento beta*. A ideia de Pauli não foi bem aceita pela comunidade científica. Mas em 1933, o também grande físico italiano Enrico Fermi publicou sua teoria sobre o decaimento beta, que incluía o neutrino de Pauli.

A bem da verdade, Pauli batizou sua partícula de “*nêutron*”. Porém, em 1932 o físico inglês James Chadwick descobriu uma outra partícula, também neutra, e usou esse mesmo nome para sua descoberta. Quando Fermi incorporou a partícula de Pauli em sua teoria, ele a rebatizou, submetendo-a à forma diminutiva de *nêutron*, em italiano, com o intuito de designar que se tratava de uma partícula muito leve. Surgiu o nome “*neutrino*”. Se Fermi fosse brasileiro o neutrino poderia ser hoje conhecido por *neutrinho*. A partícula de Chadwick continua usando o nome *nêutron* até os dias de hoje, sem constrangimento algum por parte do neutrino, pelo que se sabe.

Vimos que os neutrinos passaram a existir, aos olhos da ciência, a partir de 1930. Mas ainda precisavam ser observados experimentalmente. E somente em 1956, um experimento genial, desenvolvido pelos físicos americanos Clyde Cowan e Frederick Reines, foi capaz de detectar as partículas fantasmas. Os neutrinos foram observados! Por sua descoberta, Reines recebeu o prêmio Nobel de Física

em 1995 – Cowan faleceu muitos anos antes da premiação, em 1974. Para esse experimento Cowan e Reines usaram um reator nuclear de Savannah River na Carolina do Norte, EUA.

A grande dificuldade em detectá-los está no fato de que os neutrinos interagem muito raramente com a matéria. Entendemos que existem quatro tipos de interação na física: interação eletromagnética, gravitacional, forte e fraca. A interação gravitacional, apesar de importante para o nosso dia a dia no mundo macroscópico, é desprezível no mundo das partículas elementares. Restam, portanto, apenas as outras três interações. Mas como os neutrinos são neutros, não sofrem interação eletromagnética. Tampouco sofrem interação forte, que está associada única e exclusivamente aos quarks. Em suma, os neutrinos sofrem apenas da interação fraca, que recebe esse nome justamente por ser muito fraca, quando comparada com a eletromagnética ou forte.

A interação fraca tem probabilidade muito pequena de acontecer e por isso esconde muitos mistérios. E como nenhuma outra interação é significativa para os neutrinos, eles se tornam naturalmente atores importantes nas investigações sobre a interação fraca. Mas para estudá-los, precisamos de um bom número de eventos de neutrinos coletados, ou seja, de dados experimentais com detalhes sobre as interações dos neutrinos. Para isso é necessário termos tanto uma quantidade muito grande de neutrinos, quanto um detector gigantesco para conseguirmos observar alguns poucos deles.

Além do Sol, que já foi anunciado como tal, quais outras fontes ou nascedouros de neutrinos existem no Universo? São várias as fontes, inclusive o seu próprio corpo. Mas as principais fontes são o Big Bang (a grande explosão que deu origem ao Universo – eu não estava lá, mas quem viu disse que foi realmente grande), as estrelas, as supernovas, os raios cósmicos (que colidem com nossa atmosfera), os reatores nucleares, os aceleradores de partículas e elementos radioativos da Terra.

Até mesmo nosso corpo, que contém certa quantidade de potássio radioativo, emite milhões e milhões de neutrinos por dia! Mas não podemos usar uma fonte qualquer para detectar os neutrinos – elas precisam ser muito intensas, ou seja, o número de neutrinos deve ser grande, muito maior que o que você emite por dia. Vejamos algumas das fontes viáveis para serem usadas em experimentos construídos aqui na Terra.

Os *neutrinos solares* são produzidos no processo de combustão no núcleo do Sol, que envolve a fusão de hidrogênio, convertendo-o em hélio. Esses neutrinos escapam do seu interior e viajam, praticamente à velocidade da luz, em todas as direções do espaço. Outras estrelas produzem neutrinos pelo mesmo processo ou pelo chamado ciclo CNO (carbono, nitrogênio e oxigênio), que envolve esses elementos como catalisadores no processo de combustão.

Os *neutrinos atmosféricos* são produzidos por raios cósmicos, que são partículas (desde prótons até núcleos do átomo de ferro) que viajam pelo Universo e podem colidir com nossa atmosfera. Desta colisão são produzidas várias partículas secundárias, que colidem com outras partículas da atmosfera ou sofrem decaimento, e assim por diante. Como resultado são formados o que chamamos de *chuveiros atmosféricos extensos* (GOMES, 2010), compostos em grande parte por neutrinos (Figura 2).

Os reatores nucleares dentro das usinas, tal como os da usina de Angra, no Rio de Janeiro, também produzem quantidades significativas de neutrinos, resultantes do processo de fissão do núcleo radioativo. Na usina de Angra foi construído um detector de neutrinos brasileiro, que está em funcionamento.

Os aceleradores de partículas são capazes de produzir feixes muito intensos de neutrinos, como faz um dos grandes laboratórios de Física de Partículas do mundo, o FERMILAB (*Fermi National Accelerator Laboratory*) em Chicago. Um dos experimentos desse laboratório é o MINOS (*Main Injector*

Neutrino Oscillation Search), que realizou medidas precisas que comprovaram o modelo de oscilação de neutrinos (GOMES, 2010).

E como fazer para detectar os neutrinos? São necessários detectores extremamente grandes, por vezes com milhares de toneladas, formados por diferentes materiais. Muitos deles ficam subterrâneos, tal como os detectores do MINOS – um deles fica a 705 metros de profundidade em uma mina de ferro. E também é preciso esperar por longos períodos até que um dos neutrinos interaja com o detector. Como a probabilidade de interação é muito pequena, alguns experimentos observam apenas uma dezena de neutrinos em um ano inteiro de trabalho.

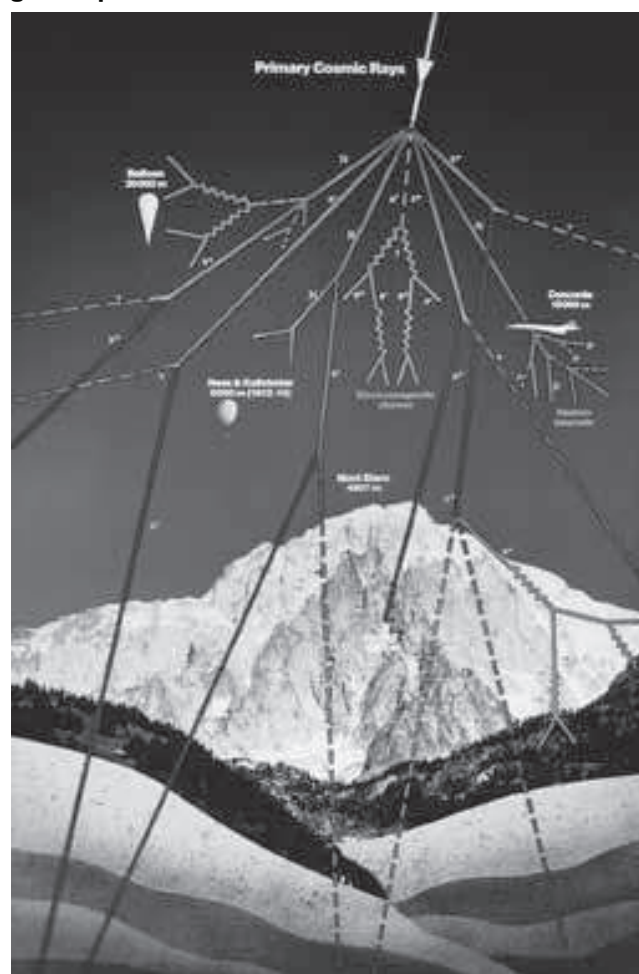
É justamente pelo fato da interação dos neutrinos com a matéria ser muito rara e também por ser muito fraca, que podemos ficar tranquilos: os neutrinos não fazem mal à saúde. Ao longo de uma vida, cerca de meia dúzia de neutrinos interagirão em uma pessoa. E como resultado de uma dessas interações, um elétron será produzido, sem maiores consequências. Além do mais, podemos pensar que a vida foi desenvolvida num contexto em que os neutrinos já estavam presentes. De fato, os neutrinos estão muito mais presentes do que se poderia imaginar. Não há sequer um lugar em todo Universo que não esteja repleto de neutrinos. Olho ao meu redor, e mesmo não os enxergando, os neutrinos estão em tudo que eu vejo.

Referências

GOMES, R. A. Olhando o Céu do Fundo de um Poço. *Revista UFG*, n. 08, 2010.

VALDIVIESSO, G. A. e GUZZO, M. M. Compreendendo a Oscilação dos Neutrinos. *Rev. Bras. Ens. Fís.*, v. 27, n. 4, 2005.

Figura 2: Esquema de um Chuveiro Atmosférico Extenso gerado por raio cósmico.



Fonte: CERN (<http://www.cern.ch>).