



# Mais

# ou

*Neutrinos e antineutrinos parecem  
ter realmente a mesma massa*

# menos iguais

Marcos Pivetta

A edição de 8 de julho passado da prestigiada revista científica *Physical Review Letters* (*PRL*) trouxe um artigo polêmico para a comunidade de físicos de partículas. Um trabalho feito no Fermilab por uma equipe internacional de pesquisadores, entre os quais quatro brasileiros, fornecia indícios de que os neutrinos do múon e seus respectivos antineutrinos poderiam não se comportar exatamente da mesma maneira e apresentar até massas distintas. O estudo sinalizava que talvez as diferenças entre a matéria e a antimatéria fossem maiores do que postula o modelo padrão, o arcabouço teórico erigido nos últimos 50 anos para explicar as interações entre as partículas subatômicas, os blocos que formam a matéria. Era um resultado surpreendente, que se baseava na análise de informações preliminares obtidas até junho de 2010 pelo experimento Minos (Main Injector Neutrino Oscillation Search), um dos projetos científicos tocados no laboratório americano, situado em Batavia, nos arredores de Chicago. O conteúdo do artigo, aparentemente em desacordo com algumas leis da física, conforme seus próprios autores, deve ser interpretado com cautela. Afinal, havia 2% de chance de os inusitados dados iniciais do Minos se deverem a uma flutuação estatística momentânea e não espelharem a realidade de neutrinos e antineutrinos.

Em 25 de agosto, no entanto, depois de quase dobrar a quantidade de informação processada pelo experimento em relação aos dados do artigo na *PRL*, o Fermilab divulgou um comunicado ao público. “Medidas mais precisas nos mostram que, muito provavelmente, essas partículas e suas antipartículas não são tão diferentes como indicamos antes. Dentro de nosso atual campo de visão, parece agora que o Universo está se comportando da maneira que a maioria das pessoas pensa que ele se comporta”, disse, em nota à imprensa, Rob Plunkett, cientista do Fermilab e um dos porta-vozes do Minos. De acordo com o estudo publicado na *PRL*, referendado pelo tradicional processo de revisão pelos pares (*peer review*) antes de ser aceito, o quadrado da massa dos antineutrinos – os pesquisadores usam como parâmetro de comparação o valor da massa elevada à segunda potência, e não apenas a medida da massa – parecia ser cerca de 40% maior do que o dos neutrinos. “Passamos quase um ano procurando algum efeito de instrumentação que pudesse ter causado essa diferença. É reconfortante saber que a estatística era a culpada”, afirmou outra porta-voz do experimento, a física Jenny Thomas, da University College London. Segundo as novas informações revisadas internamente pelos pesquisadores do Fermilab no fim do mês passado, mas ainda não submetidas ao escrutínio de uma revista com *peer review*, essa diferença se reduziu hoje para 16%.

Há, portanto, uma grande possibilidade de as massas de neutrinos e antineutrinos serem iguais, como sustentam os modelos físicos atualmente aceitos.

Um dos participantes do Minos, o físico brasileiro Carlos Escobar explica que a revisão dos resultados do experimento foi encaminhada de forma a evitar qualquer tipo de análise enviesada. “Tudo foi feito às cegas e de forma automatizada”, afirma Escobar, hoje professor colaborador da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e pesquisador do Fermilab. “Os dados são soberanos.” Ele, no entanto, admite que o novo cenário trouxe alívio para os físicos. “A comunidade científica está mais tranquila”, diz Escobar. Vários experimentos internacionais que trabalham com partículas e antipartículas pressupõem que neutrinos e antineutrinos têm a mesma massa para realizar seus cálculos. Quando aparece um estudo que contradiz tal preceito, caso do artigo do Minos na *PRL*, algum pilar da física pode ter sido arranhado.

**Desaparecimento e oscilação** - O objetivo do projeto do Fermilab é comparar a ocorrência de um fenômeno conhecido como oscilação em neutrinos e em antineutrinos do múon. No jargão dos físicos, quando um tipo de neutrino ou de antineutrino se transforma em outro ao se deslocar, ocorre uma oscilação. Há três formas ou sabores de neutrinos e antineutrinos: os do múon, os do tau e os do elétron. Esse trio de partículas com carga elétrica é chamado genericamente de léptons (neutrinos são léptons neutros). No Minos, os cientistas compararam a frequência com que neutrinos e antineutrinos do múon desapareceram e, supostamente, transformaram-se em neutrinos e antineutrinos do tau. “É a primeira vez que algum grupo de pesquisa mede a oscilação de antineutrinos do múon”, diz Philippe Gouffon, do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF-USP), que também participa do experimento feito nos Estados Unidos.

Conceitualmente, a antimatéria é definida como uma espécie de cópia da matéria, com a qual divide basicamente as mesmas propriedades, inclusive a massa. Mas há uma diferença fundamental entre ambas: as antipartículas que moldam a antimatéria apresentam carga elétrica com sinal invertido em relação às suas respectivas partículas de matéria. Com carga positiva, o pósitron é a antipartícula do elétron, cuja carga é negativa. Fazendo jus a seu nome, neutrinos e antineutrinos são eletricamente neutros. No entanto, os primeiros estão ligados aos léptons de carga negativa e os segundos, aos de carga positiva. Os físicos acreditam que matéria e antimatéria devem existir na mesma proporção no Universo, embora a quantidade detectada de ambas esteja longe de ser a mesma. De forma grosseira, é nesse contexto teórico que os físicos estudam as propriedades de neutrinos e antineutrinos.

Embora sejam considerados as segundas partículas mais abundantes do Universo, atrás apenas dos fótons (partículas de luz), os neutrinos são virtualmente imperceptíveis. Não possuem carga elétrica, têm uma massa quase desprezível, deslocam-se a uma velocidade muito próxima à da luz e praticamente não interagem com a matéria. São capazes de simplesmente atravessar corpos enormes, como o planeta Terra, sem alterar seu deslocamento ou sofrer algum efeito perceptível. O Big Bang, a explosão primordial que, segundo a teoria mais aceita, criou o Universo há pouco menos de 14 bilhões de anos, deve ter sido a principal fonte de neutrinos. A atividade solar e os raios cósmicos são as fontes naturais mais conhecidas de neutrinos, que se formam a partir de processos como o decaimento radioativo (quando o núcleo de um átomo estável perde espontaneamente energia e emite partículas ionizadas) e as reações nucleares.

**Ruído e informação** - A comparação de parâmetros entre partículas e antipartículas só foi possível porque o experimento do Fermilab é um dos poucos no mundo, ao lado do T2K (Tokai to Kamioka) no Japão, capaz de produzir feixes específicos, constituídos apenas de neutrinos ou somente

## A viagem dos neutrinos



Mapa com a trajetória percorrida pelo feixe de partículas produzido no acelerador Main Injector do Fermilab, perto de Chicago. Os neutrinos são medidos por dois detectores, um distante 1 km do laboratório e outro situado a 735 km, na mina de Soudan, já no estado de Minnesota



O detector de Soudan:  
neutrinos levam  
2,5 milissegundos  
para ir de Illinois à  
caverna em Minnesota

de antineutrinos, com níveis mínimos de contaminação. A maioria das iniciativas científicas trabalha com feixes que são um misto de partículas e antipartículas, limitação que dificulta a obtenção de dados detalhados a respeito do fenômeno da oscilação. “Produzir um sistema que gere partículas em quantidade suficiente para separarmos o ruído da informação é uma de nossas grandes dificuldades”, explica o físico João Coelho, aluno de doutorado da Unicamp que passou um ano no Fermilab com bolsa da FAPESP.

A primeira etapa do experimento Minos consiste em gerar as partículas que os físicos querem estudar. Com esse fim, o Main Injector – um anel de 3,2 quilômetros de circunferência que é um dos seis aceleradores de partículas do Fermilab – produz um pulso de prótons de alta energia destinado a se chocar contra um alvo de grafite. A colisão faz surgir partículas instáveis, píons e káons, que vão gerar múons e neutrinos. Em seguida, o feixe é direcionado para uma parede que barra suas impurezas. Múons e outras partículas indesejadas são retirados e permanecem apenas os neutrinos do múon.

A segunda parte do experimento é o coração do Minos. O feixe de neutrinos purificado é direcionado para dois detectores subterrâneos, o primeiro a um quilômetro de distância do Fermilab e o segundo a 735 quilômetros, na mina desativada de Soudan, no estado de Minnesota. O detector mais próximo, que foi montado pouco mais de 100 metros abaixo do Fermilab e pesa mil toneladas, checa a pureza e a intensidade do feixe. Suas medições servem para dar as características centrais do pulso. O detector mais longínquo pesa 6 mil toneladas e se encontra escondido 716 metros abaixo da superfície, numa caverna. Apenas 2,5 milissegundos depois de sair do Fermilab o feixe de neutrinos é detectado em Soudan. “As oscilações dos neutrinos ocorrem durante o percurso feito pelas partículas entre o primeiro e o segundo detector”, explica o físico Ricardo Gomes, da Universidade Federal de Goiás, que também participa do Minos.

Ao medirem pela primeira vez o desaparecimento de antineutrinos do múon, os cientistas do Fermilab inicialmente acharam que as oscilações dessas antipartículas e de suas partículas poderiam ser distintas, como está insinuado no artigo da *PRL*. Agora, com mais dados analisados, a equipe do Minos acredita que esse parâmetro seja igual para neutrinos e antineutrinos. “A física é uma ciência essencialmente experimental”, comenta Marcelo Guzzo, físico teórico da Unicamp que estuda neutrinos. “Qualquer resultado deve ser confirmado por vários grupos antes de termos a palavra definitiva”, diz Orlando Peres, outro especialista no tema, também da Unicamp. Segundo a física Renata Zukanovich Funchal, da USP, flutuações estatísticas são frequentes em experimentos com altas energias: “Por isso, devemos ter cautela quando encontramos resultados que não conseguimos compreender”. ■

Artigo científico

ADAMSON, P. *et al.* First direct observation of muon antineutrino disappearance. *Physical Review Letters*. v. 10 (2), p. 021801-5. 5 jul. 2011.