

## Jogando bilhar com neutrinos

Difícil de acreditar que você pode jogar bilhar com neutrinos, mas certos eventos com interação de neutrinos estão mais próximos do jogo do que você pensa.

Nessas interações quase-elásticas de corrente carregada - vamos chamá-las de interações CCQE para abreviar - um neutrino atinge uma partícula no núcleo de um átomo - um próton ou um nêutron. Duas partículas emergem da colisão. Uma delas é um múon, um primo mais pesado do elétron. A outra é um próton (se a partícula estacionária for um nêutron) ou um nêutron (se a partícula estacionária for um próton).

As interações de neutrinos que resultam dessas reações quase-elásticas são como as colisões entre bolas em um jogo de bilhar: você pode adivinhar a energia do neutrino incidente medindo a direção e a energia de apenas uma das partículas que saem, desde que você conheça os tipos de todas as quatro partículas que estavam na interação e a direção original do neutrino.

As interações CCQE são um importante modo de interação dos neutrinos nos experimentos atuais e futuros de oscilação de neutrinos, como o experimento internacional Deep Underground Neutrino Experiment, hospedado pelo Fermilab.

Eles são semelhantes às interações elásticas que todo jogador de bilhar conhece, exceto por um detalhe importante: a força nuclear fraca permite que as partículas mudem de um tipo para outro, daí o nome “quasi-elástico”. Nesse jogo de bilhar subatômico, a bola branca (neutrino) atinge uma bola vermelha estacionária (próton), que emerge da colisão como uma bola laranja (nêutron).

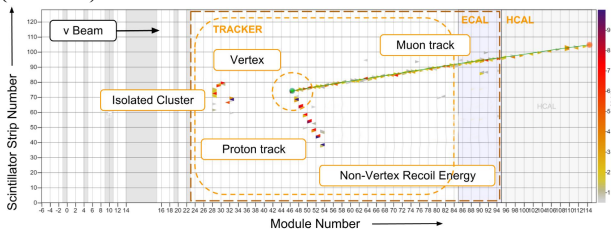


Figura 1: Mostra um evento do tipo CCQE reconstruído no detector MINERvA.

Como a maioria dos experimentos modernos de neutrinos usa alvos feitos de núcleos pesados que variam de carbono a argônio, efeitos nucleares e correlações entre os nêutrons e prótons dentro do núcleo podem causar mudanças significativas nas taxas de interação observadas e modificações na energia estimada dos neutrinos.

No MINERvA, os cientistas identificam as interações CCQE por uma longa trilha deixada pelo múon no detector de partículas e potencialmente uma ou mais trilhas deixadas por prótons. No entanto, essa assinatura experimental às vezes pode ser produzida por interações não-CCQE devido a efeitos nucleares dentro do núcleo alvo. Da mesma forma, os efeitos nucleares também podem modificar as partículas do estado final para fazer com que um evento CCQE pareça um evento não-CCQE e vice-versa.

Como os efeitos nucleares podem dificultar a identificação de um evento CCQE verdadeiro, o MINERvA relata medições com base apenas nas propriedades das partículas do estado final e as chama de eventos do tipo CCQE (uma vez que terão contribuições

de eventos CCQE reais e eventos não-CCQE). Um evento do tipo CCQE é aquele que possui pelo menos um múon de saída, qualquer número de prótons ou nêutrons e nenhum méson entre as partículas do estado final. (Mésons, como prótons e nêutrons, são feitos de quarks. Os prótons e os nêutrons têm três quarks; os mésons têm dois.)

O MINERvA mediu a probabilidade de interações de neutrinos do tipo CCQE usando o feixe de neutrinos de energia média do Fermilab, com o fluxo de neutrinos apresentando um pico em 6 GeV. Em comparação com as medições anteriores do MINERvA, que foram conduzidas com um feixe de baixa energia (fluxo de neutrinos com pico em 3 GeV), essa medição tem a vantagem de um alcance mais amplo de energia e estatísticas muito maiores: 1.318.540 eventos do tipo CCQE em comparação com 109.275 eventos obtidos anteriormente com o feixe de baixa energia.

O MINERvA fez essas medições de probabilidade da interação CCQE em função do quadrado do momentum transferido pelo neutrino para o núcleo, que os cientistas denotam como  $Q^2$ . O gráfico mostra discrepâncias entre os dados e a maioria das previsões nas regiões com baixo  $Q^2$  e alto  $Q^2$ . Ao comparar a medição do MINERvA com vários modelos, os cientistas podem refiná-los e explicar melhor a física dentro do ambiente nuclear.

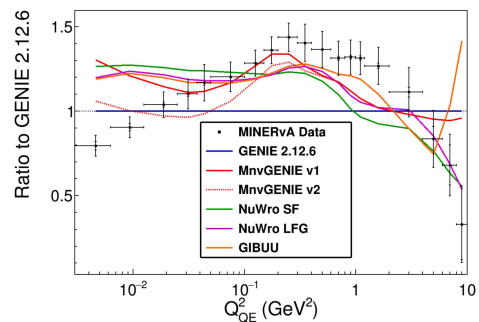


Figura 2: Mostra a proporção da seção de choque em função do  $Q^2$  correspondente aos dados e várias previsões em relação a um modelo de interação comumente usado.

O MINERvA também fez medições mais detalhadas da probabilidade de interação de neutrinos com base no momentum do múon de saída. Elas levam em consideração o momentum do múon tanto na direção da trajetória do neutrino incidente quanto na direção perpendicular à sua trajetória. Este trabalho ajuda os experimentos atuais e futuros de neutrinos a entender seus próprios dados em uma ampla gama de cinemáticas de múons.

Mateus Carneiro, ex-Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e Universidade Estadual de Óregon e atualmente no Brookhaven National Laboratory, e Dan Ruterbories, da Universidade de Rochester, foram os principais impulsionadores dessa análise. Os resultados foram publicados na Physical Review Letters.

Versão em inglês: Amit Bashyal, cientista da Universidade Estadual de Óregon no experimento MINERvA.

Traduzido para português por Gilson Correia Silva do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

Este trabalho é apoiado pelo Escritório de Ciência do DOE, pela Fundação Nacional de Ciência, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil, pelo Conselho Nacional Mexicano de Ciência e Tecnologia, pelo Projeto Basal no Chile, pela Comissão Nacional Chilena de Pesquisa Científica e Tecnológica, pelo Fundo Nacional Chileno de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo Conselho Nacional Peruano de Ciência, Tecnologia e Inovação Tecnológica, pela Direção de Gerenciamento de Pesquisa da Pontifícia Universidade Católica do Peru, pela Universidade Nacional de Engenharia do Peru, pelo Centro Latino-Americano de Física, pelo Centro Nacional de Ciência da Polônia e pelo Conselho de Instalações de Ciência e Tecnologia do Reino Unido.