

Высокопрецизионное измерение энергии электронного захвата в Гольмий-163 прокладывает путь к определению массы нейтрино

Чтобы ответить на вопрос – какова масса нейтрино? – учёные проводят исследования радиоактивных распадов, в которых образуются данные частицы. Масса нейтрино может определяться с помощью высокопрецизионных измерений энергии распада и разницы масс материнского и дочернего нуклидов. Команде учёных, наконец., удалось разрешить многолетнюю загадку энергии распада искусственного изотопа гольмия с массовым числом 163. Этот нуклид распадается посредством электронного захвата в стабильный изотоп Диспрозия-163 и является одним из наиболее подходящих кандидатов для определения массы нейтрино. Исследователи создали особо чистые образцы Гольмия-163 и Диспрозия-163 и провели с высокой точностью измерение их разницы масс на установке SHIPTRAP (см. *Physical Review Letters* 115, 062501 (2015)).

Нейтрино можно встретить везде. Сотни миллиардов этих частиц прошивают человеческое тело каждую секунду. Несмотря на это, одно из их самых фундаментальных свойств – их масса – ещё не определена. Хотя в Стандартной Модели Элементарных Частиц нейтрино являются безмассовыми частицами, наблюдения показывают, что в реальности они всё же должны обладать малой массой. Таким образом, проводя эксперименты по определению массы нейтрино, исследователи занимаются изучением физики за пределами Стандартной Модели. На данный момент удалось определить только верхний предел на массу нейтрино. Исключительная малость массы нейтрино делает её определение особенно трудным. Одной из многообещающих методик по определению массы нейтрино является исследование процессов бета распада и электронного захвата. В данном случае, масса нейтрино определяется из сравнения полной энергии испущенного излучения и максимальной энергии распада.

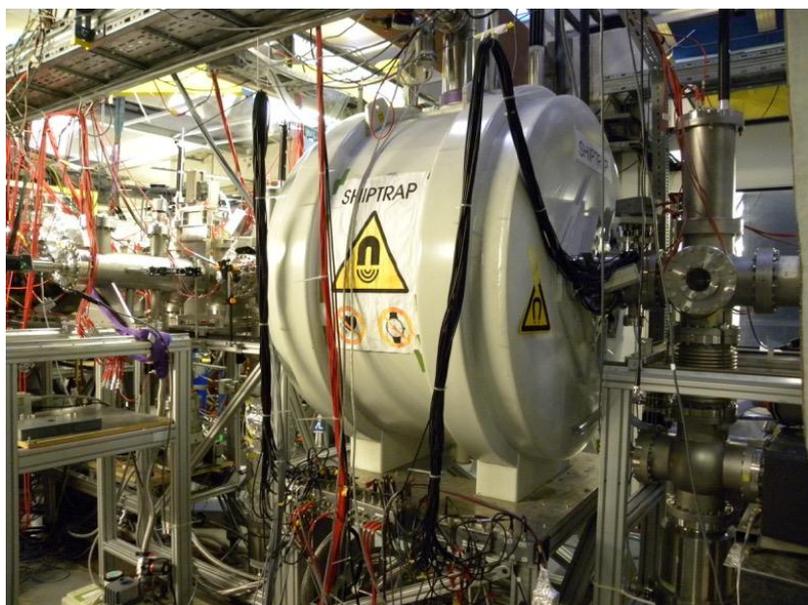
Искусственный изотоп гольмия с массовым числом 163 находится в фокусе нескольких больших коллабораций. Они планируют определить массу нейтрино из измерения энергии, выделяемой при преобразовании посредством электронного захвата Гольмия-163 в Диспрозий-163. В настоящее время лидирующей является ЕСНО-коллаборация, базирующаяся в университете Гейдельберга. Важной составной частью этих экспериментов по определению массы нейтрино является высокопрецизионное определение энергии электронного захвата в Гольмий-163. В прошедшие несколько десятков лет было опубликовано несколько значений энергии распада, лежащих в широком диапазоне от 2400 до 2900 эВ. Эти значения были получены не прямыми методами. Рекомендованное значение энергии распада располагается в нижней части этого диапазона и отличается на несколько сотен эВ от результатов, полученных недавно с помощью криогенной микрокалориметрии. Таким образом, правильность рекомендованного значения была поставлена под сомнение.

Хорошо известное уравнение Эйнштейна $E = mc^2$, описывающее связь энергии распада с полной массой участвующих частиц, помогло решить данную загадку. Для этого группа учёных из Германии, России, Швейцарии и Франции, состоящая из физиков, химиков и инженеров, объединилась в коллаборацию. Диспрозий-163 является стабильным и поэтому встречается в природе, тогда как Гольмий-163 сначала необходимо синтезировать из стабильного эрбия путём его облучения интенсивным нейтронным пучком. Гольмий был нарабонан в высокопоточном реакторе в институте

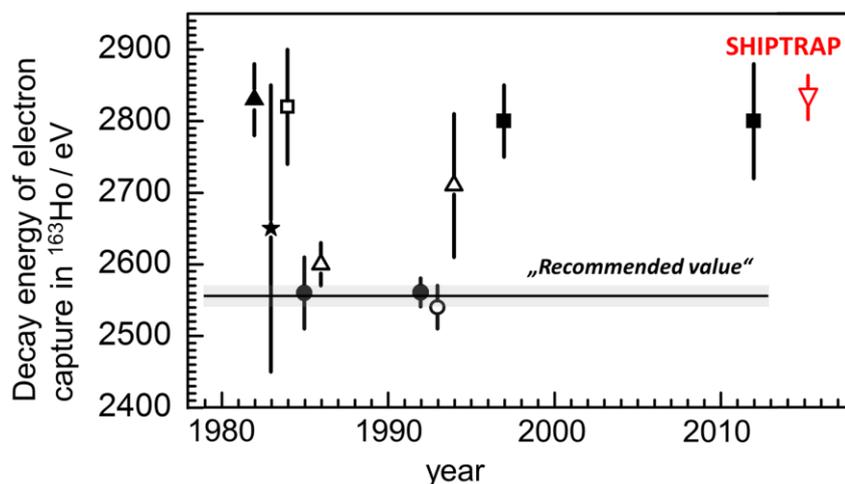
Laue-Langevin в Гренобле, во Франции. Дальнейшая очистка и обработка гольмия была проведена в институте Paul Scherrer в Виллигене, в Швейцарии, и в университете Johannes Gutenberg в Майнце, в Германии.

„Разница масс Гольмия-163 и Диспрозия-163 определялась из измерения циклотронных частот этих нуклидов, находящихся в однозарядном состоянии в сильном постоянном магнитном поле ловушки Пеннинга; при этом был применён новый метод, получивший название Phase-Imaging Ion-Cyclotron-Resonance (PI-ICR) technique,“ объясняет Сергей Елисеев из института ядерной физики имени Макса Планка в Гейдельберге (МПИК). „Круговое движение ионов проецируется на позиционно-чувствительный детектор. При этом даже очень малые разницы масс определяются значительно точнее, чем при помощи методов, обычно применяемых до настоящего времени на подобного рода установках.“ Частоты Гольмия-163 и Диспрозия-163 при этом измерялись попеременно каждые пять минут в течение нескольких дней.

Полученное значение энергии распада равняется 2833 эВ (при этом ошибка измерения не превышает нескольких десятков эВ) и полностью подтверждает недавние результаты, полученные с помощью криогенной микрокалориметрии в рамках подготовки к ЕСНО эксперименту. „Финансовая поддержка первой фазы этого эксперимента, получившего название ЕСНО-1К, была недавно одобрена немецким исследовательским обществом DFG. В рамках реализации этой фазы планируется достичь верхнего предела на массу нейтрино порядка $10 \text{ эВ}/c^2$, что является более чем 20-кратным улучшением нынешнего значения, полученного из экспериментов с Гольмием-163,“ утверждает официальный представитель ЕСНО-коллораации Loredana Gastaldo из университета города Гейдельберг. „Планируется, что будущие измерения масс на новой установке PENTATRAP в МПИК позволят как минимум на один порядок уменьшить ошибку измерения энергии распада Гольмия-163. Это откроет двери для измерения массы нейтрино на уровне 1 эВ,“ добавляет Klaus Blaum, директор МПИК.



Картинка 1: Фотография установки SHIPTRAP, расположенной в GSI, Германия (Фото: GSI)



Картинка 2: Новое значение (выделено красным в правом верхнем углу) подтверждает недавние результаты определения энергии распада ^{163}Ho . Различные символы обозначают разные измерительные методы (График: МРІК)

Оригинальная Публикация:

Direct measurement of the mass difference of ^{163}Ho and ^{163}Dy solves Q-value puzzle for the neutrino mass determination.

S. Eliseev, K. Blaum, M. Block, S. Chenmarev, H. Dorrer, Ch.E. Düllmann, C. Enss, P.E. Filianin, L. Gastaldo, M. Goncharov, U. Köster, F. Lautenschläger, Yu.N. Novikov, A. Rischka, R.X. Schüssler, L. Schweikhard, and A. Türlер (синим цветом выделены сотрудники ПИЯФ)

Physical Review Letters 115, 062501 (2015)

Контакты:

Проф. Юрий Николаевич Новиков
 Петербургский Институт Ядерной Физики, Гатчина, Россия
 Тел.: +7 813 71 46933
 e-mail: novikov@mpi-hd.mpg.de

Д-р Сергей Александрович Елисеев
 Институт ядерной физики имени Макса Планка, Гейдельберг, Германия;
 и Петербургский Институт Ядерной Физики, Гатчина, Россия
 Тел.: +49 6221 516-670
 e-mail: sergey.eliseev@mpi-hd.mpg.de

Проф. Klaus Blaum
 Институт ядерной физики имени Макса Планка, Гейдельберг, Германия
 Тел.: +49 6221 516-851
 e-mail: klaus.blaum@mpi-hd.mpg.de