

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3831 / 82

16/8-82

P6-82-405

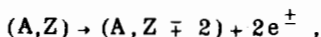
Ц.Вылов, Ш.Брианссон, В.Б.Бруданин, Р.Вален,
К.Я.Громов, А.Маринов, А.Минкова,
Б.П.Осипенко, В.Н.Покровский, В.Г.Чумин

О ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДВОЙНОГО БЕЗНЕЙТРИННОГО БЕТА-РАСПАДА
С ПОМОЩЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
БЕТА-СПЕКТРОМЕТРОВ

Направлено в журнал "Письма в ЖЭТФ"

1982

В связи с интенсивным развитием теорий, предсказывающих несохранение лептонного и барионного зарядов, в последнее время наблюдается значительный рост интереса к исследованию двойного безнейтринного бета-распада ($2\beta_{0\nu}$):



когда закон сохранения лептонного заряда /ЗСЛЗ/ не соблюдается. Такие эксперименты могут дать уникальную информацию не только о ЗСЛЗ, но и о свойствах нейтрино /см. обзоры /1-3/ и цитируемую там литературу/.

Выводы теории, существенные для экспериментального поиска процесса $2\beta_{0\nu}$ -распада, сводятся к следующему:

а/ в случае максимального нарушения ЗСЛЗ ($\eta=1$) вероятность $2\beta_{0\nu}$ -распада превышает на несколько порядков вероятность $2\beta_{2\nu}$ -распада, что непосредственно связано с соответствующими величинами фазовых объемов /оценка параметра несохранения лептонного заряда на основе современных данных составляет $\eta \leq 10^{-4/4/}$;

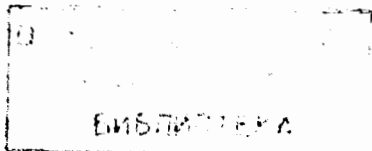
б/ суммарно-энергетические спектры электронов обоих вариантов распада сильно различаются между собой: в случае $2\beta_{0\nu}$ -распада спектр является дискретным и с точностью до энергии отдачи ядра максимум распределения соответствует разности масс $Q_{2\beta}$; в случае $2\beta_{2\nu}$ -распада спектр является непрерывным с максимумом в области $E_0/2$;

в/ поведение одноэлектронных спектров в $2\beta_{0\nu}$ -распаде зависит от величины $m_{\nu e}$ и от величины продольной поляризации нейтрино.

Главной целью современных экспериментов является прямое наблюдение процесса. Учитывая крайне малую вероятность 2β -распада, можно выделить два направления поиска:

а/ использование детектирующих систем с большими поверхностями исследуемого вещества /например, сцинтилляционные спектрометры с рабочей поверхностью до 3000 см^2 /5/, стримерная камера /6/, камера Вильсона /7/ /. Главным недостатком данного направления поиска является низкое энергетическое разрешение / $\sim 20\%$ /, что неблагоприятно для поиска $2\beta_{0\nu}$ -распада;

б/ использование детектирующих систем, у которых вещество чувствительного объема содержит значительные концентрации исследуемого нуклида. Подобным методом, например с помощью Ge(Li)-детекторов, был исследован $2\beta_{0\nu}$ -распад ^{76}Ge и получен лучший результат: $T_{1/2}(^{76}\text{Ge}) \geq 5 \cdot 10^{21}$ лет /8/. Главным недостатком



данного подхода является возможность исследования лишь ограниченного набора нуклидов, которые к тому же характеризуются сравнительно низким энерговыделением - $Q_{2\beta} < 2,6$ МэВ, что создает сложные проблемы из-за естественного радиоактивного фона. Напомним, что основными источниками фона являются ^{40}K и продукты распада ^{226}Ra и ^{232}Th , причем наиболее интенсивным высокоэнергетическим гамма-переходом является $2,614$ МэВ $^{208}\text{Tl}^{9/}$.

В этой работе мы хотели бы обратить внимание на один подход, который синтезирует в себе главные преимущества рассмотренных выше методов.

Пусть мишень с исследуемым нуклидом размещается между двумя плоскими полупроводниковыми бета-спектрометрами из HP-Ge с большой площадью поверхности и амплитудному анализу с АЦП подлежат лишь совпадающие в пределах разрешающего времени системы импульсы. После соответствующих градуировок суммарно-энергетический спектр легко получить с помощью ЭВМ. Разумеется, в аппаратурном, логическом и программном плане подобная структурная схема подлежит всевозможным модификациям /об одной будет сказано ниже/, но с точки зрения поиска $2\beta_{0\nu}$ -распада главными характеристиками такого эксперимента являются:

- а/ высокое энергетическое разрешение $\sim 0,1 \pm 0,5\%$;
- б/ возможность применения различных методов пассивной и активной защиты;
- в/ возможность исследования различных нуклидов с $Q_{2\beta} > 2,6$ МэВ, что существенно как с точки зрения естественного радиоактивного фона, так и с точки зрения вероятности процесса $1/T_{1/2}^{0\nu} \sim Q_{2\beta}^{-n}$, где $n \geq 7$ /;
- г/ возможность расширения рабочей поверхности спектрометра с помощью достаточно простых аппаратурных и программных средств - на данном этапе мы планируем изготовить спектрометр с $S \sim 400$ см² - 16 пар. детекторов /25 см² x 0,4 см/ HP-Ge с суммарным рабочим объемом 320 см³;
- д/ возможность проведения энергетической градуировки с помощью гамма-переходов естественного радиоактивного фона, а также с применением специальных радиоактивных источников /например, ^{56}Co /.

Преимущества предложенного подхода очевиднее всего выявляются для нуклидов с большой энергией распада / ^{48}Ca , ^{82}Se , ^{96}Zr , ^{100}Mo , ^{118}Cd , ^{150}Nd /. Оценим возможность эксперимента на примере ^{48}Ca / $Q_{2\beta} = 4271 \pm 4$ кэВ/. Ограничение на достижимое в эксперименте разрешение, то есть отношение эффект/фон, возникает в основном из-за потерь энергии электронов в веществе мишени. На основании проведенных нами измерений с электронами внутренней конверсии из распада ^{207}Bi / $E_{\alpha} = 480$ кэВ, 975 кэВ и 1680 кэВ/ можно сделать вывод, что для $Q_{2\beta} \sim 4$ МэВ удастся добиться разрешения ~ 20 кэВ при толщине мишени ~ 50 мг/см². Тогда

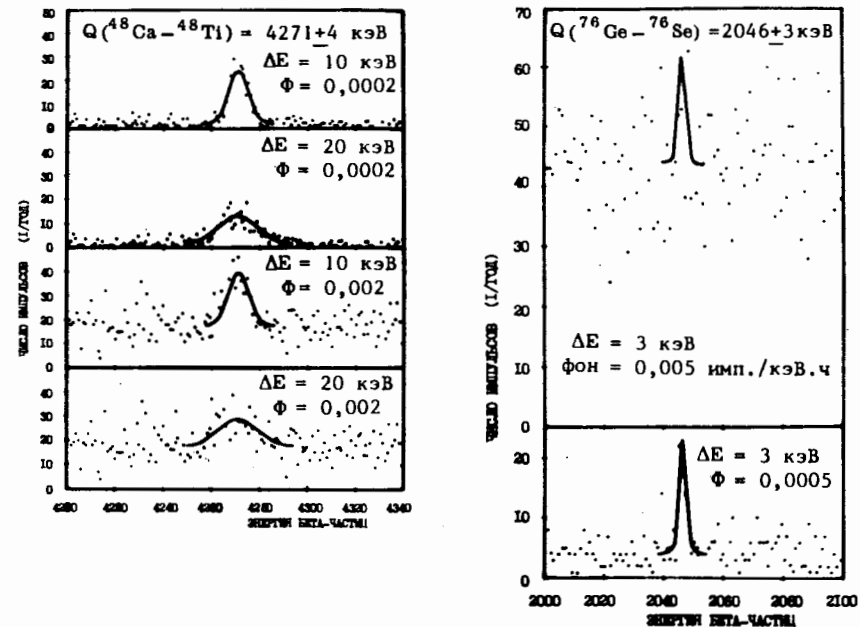


Рис.1. Моделирование суммарно-энергетического спектра электронов / ΔE - энергетическое разрешение, кэВ; Φ - суммарный фон, имп.кэВ⁻² ч⁻¹ / $2\beta_{0\nu}$ -распада: а/ $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Ti}$, б/ $^{76}\text{Ge} \rightarrow ^{76}\text{Se}$.

при $S \sim 400$ см² вес мишени составит 20 г, то есть $2,6 \cdot 10^{23}$ ядер. Если принять эффективность спектрометра равной 50%, то для ожидаемого $^{2/}$ из теории значения $T_{1/2}^{0\nu} \sim 3,8 \cdot 10^{20}$ лет /по резонансному механизму; по двухчастичному - $T_{1/2}^{0\nu} \sim 1,7 \cdot 10^{20}$ лет/ должно быть зарегистрировано 237 расп./год. Если принять оценку $^{8/}$, то для $T_{1/2}^{0\nu} \geq 2 \cdot 10^{21}$ лет должно быть зарегистрировано 45 расп./год. Моделированные на ЭВМ суммарно-энергетические спектры представлены на рис.1а. Аналогичное исследование других нуклидов позволяет правильно планировать суммарную площадь спектрометра и толщину мишени.

Более детальный анализ эксперимента выходит за рамки настоящей работы. Полезно, однако, обратить внимание на возможность анализа данных фоновых измерений. Как отмечалось выше, общий объем HP-Ge детекторов составляет ~ 320 см³ /1,7 кг/, то есть на долю ^{76}Ge приходится 133 г. Это примерно в 4,7 раза больше, чем использовано в $^{8/}$. Если прибавить сюда возможность применения техники антисовпадений и тем самым значительного снижения эффекта многократного комптоновского рассеяния высоко-

энергетических γ -лучей, естественно ожидать лучшего отношения эффект/фон для поиска $2\beta_{0\nu}$ -распада ^{76}Ge . Моделирование такого эксперимента на ЭВМ для разных значений фона показано на рис.16.

Реальные перспективы увеличения чувствительности метода связаны с увеличением числа детекторов из HP-Ge, с возможностью координатного анализа импульсов от ППД, а также с поиском бездисперсионных фокусирующих систем для сбора электронов из тонких /10 мг/см²/ источников с большой площадью поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазаренко В.Р. УФН, 1966, т.90, вып.4, с.601.
2. Fiorini E. Riv.Nuovo Cim., 1972, vol.2, No.1, p.1.
3. Briman D., Picciotto C. Rev.Mod.Phys., 1978, vol.50, No.1, p.11.
4. Здесенко Ю.Г. и др. ЭЧАЯ, 1980, т.11, вып.6, с.1369.
5. Здесенко Ю.Г. ПТЭ, 1979, №5, с.47.
6. Bardin R.K. et al. Nucl.Phys.A, 1970, vol.158, p.337.
7. Мое М. et al. In: Proc.Int.Neutrino Conf., Aachen, 1976, Braunschweig, 1977, p.672.
8. Fiorini E. In: Neutrino-77. 'Nauka', M., 1978, vol.2, p.315.
9. Вылов Ц., Осипенко Б.П., Чумин В.Г. ЭЧАЯ, 1978, т.9, вып.6, с.1350.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 июня 1982 года.

Вылов Ц. и др.

P6-82-405

О возможности исследования двойного безнейтринного бета-распада с помощью полупроводниковых бета-спектрометров

Рассмотрена возможность реализации эксперимента по поиску двойного безнейтринного ($2\beta_{0\nu}$) бета-распада с помощью полупроводниковых бета-спектрометров. Главными достоинствами такого подхода являются высокое энергетическое разрешение (~0,5%), низкий фон и возможность исследования различных нуклидов. На примере спектрометра из 16 пар детекторов /25 см²х0,4 см/ из HP-Ge проанализированы возможности эксперимента по поиску $2\beta_{0\nu}$ -распада ^{48}Ca . Указаны пути увеличения чувствительности метода.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Vylov Ts. et al.

P6-82-405

On a Possibility to Investigate Double Neutrinoless Beta-Decay Using Semiconductor Beta-Spectrometers

The possibility to perform an experiment on the search for the neutrinoless double beta-decay ($2\beta_{0\nu}$) by means of semiconductor beta-spectrometers is considered. The main advantages of this approach are high energetic resolution (~0.5%), low background and the possibility of investigating various nuclides. The feasibility of the search for $2\beta_{0\nu}$ decay of ^{48}Ca with 16 duplex detectors (HP-Ge, 25 cm²х0.4 cm) is discussed. The perspectives for increasing the method sensitivities are pointed out.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.