

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ СКОБЕЛЬЦЫНА — БАЛДИНА О ВЫЛЕТЕ НЕСТАБИЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ РАСПАДЕ ^{214}Bi

Ю.Н.Покотилоvский, Г.Г.Тахтамышев

Проведена экспериментальная проверка гипотезы^{/1,3/} о возможности рождения с вероятностью $\sim 10\%$ при распаде ^{214}Bi новой частицы ($e^+e^-e^-$) с массой $\sim 1,5 \text{ МэВ}/c^2$ и временем жизни $\sim 10^{-10}$ с, распадающейся на электрон и γ -квант. Методом измерения спектра электронов (в совпадениях с γ -квантами) от возможного распада таких частиц на лету установлен предел $\sim 10^{-3}$ (уровень достоверности 90%) на вероятность появления такой частицы в распаде ^{214}Bi .

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Experimental Verification of Skobeltsyn — Baldin Hypothesis of the Emission of Unstable Particles on Decay of ^{214}Bi

Yu.N.Pokotilovskij, G.G.Takhtamyshev

The hypothesis was verified experimentally of about 10% probability of emission following ^{214}Bi decay of the new particle having the mass $> 1.5 \text{ MeV}/c^2$ and the lifetime $\sim 10^{-10}$ s then decaying into an electron and γ -quantum. The limit of the emission of such particles following ^{214}Bi decay was established to be $\sim 10^{-3}$ at a confidence level of 90% by measuring electron spectra in coincidence with γ -quanta from the possible decay of these particles in their flight.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Целью данной работы является проверка гипотезы^{/1/} о возможности рождения в распаде RaC (^{214}Bi) резонансного состояния ($e^+e^-e^-$) с массой $m \geq 3m_e$ и временем жизни $\sim 10^{-10}$ с, распадающегося на электрон и γ -квант. Эта гипотеза возникла в связи со следующими тремя обстоятельствами.

1. Не объяснены по сей день экспериментальные результаты Д.В.Скобелъцына^{/2/}, который наблюдал аномально большое и неупругое рассеяние γ -лучей из RaC на большие углы и позднее^{/3/} интерпретировал свои наблюдения как рождение с вероятностью 7—12% при β -распаде RaC и распад на лету частицы с массой

$3m_e$ и временем жизни $(2-5) \cdot 10^{-10}$ с на электрон и нейтральную частицу.

2. Узкие (e^+e^-) пики в диапазоне эффективных масс $1,6 \div 1,8$ МэВ наблюдались в последние годы в GSI (Дармштадт) при столкновении очень тяжелых ионов^[4-6] при энергиях ниже кулоновского барьера, которые можно интерпретировать как распад неизвестных до сих пор квазисвязанных состояний (e^+e^-).

3. Теоретические расчеты^[7] в рамках квазипотенциального подхода для системы из двух фермионов привели к выводу о существовании богатого спектра релятивистских кулоновских уровней.

Схема эксперимента показана на рис. 1. Источник ^{226}Ra (1) мощностью $3,7 \cdot 10^5$ Бк располагался в свинцовом коллиматоре (6) внутри вакуумной камеры (4) (вакуум $\sim 10^{-2}$ торр). Интенсивность источника по ^{214}Bi определялась до и после измерений и контролировалась во время измерений. Толщина герметичного покрытия (TiO_2) источника не превышала 0,3 мкм, что обеспечивало полный выход заряженных частиц из источника. Распады гипотетических ($e^+e^-e^-$)-частиц на распадной базе искали путем измерения спектра электронов при совпадении сигналов от электронного и γ -детекторов, в качестве которых использовались сцинтилляционный пластик размером $\varnothing 78 \times 15$ мм (2) и сцинтиллятор NaJ(Tl) размером $\varnothing 150 \times 100$ мм (3) в коллиматоре $\varnothing 95$ мм. Энергетическая калибровка электронного спектрометра производилась с помощью источников конверсионных электронов ^{113}Sn ($E_e = 363$ кэВ) и ^{207}Bi ($E_e = 972$ кэВ), а также по спектрам комптоновского рассеяния γ -лучей^[8] из источников ^{88}Y , ^{60}Co , ^{54}Mn . Энергетическое разрешение при $E_e = 1$ МэВ составляло 50% (полная ширина на полувысоте). Эффективность γ -детектора в геометрии эксперимента измерялась с помощью стандартных γ -источников. Для поглощения гипотетических частиц при измере-

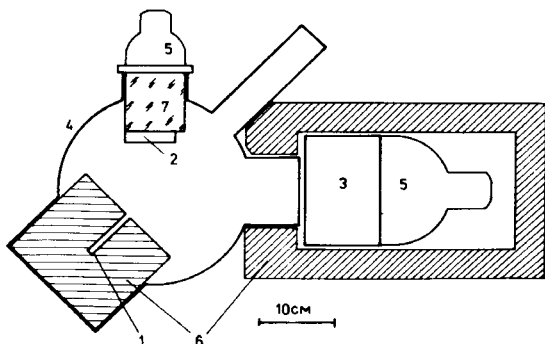


Рис.1. Схема эксперимента: 1 - источник ^{226}Ra . 2 - пластиковый сцинтиллятор $\varnothing 78 \times 15$ мм, 3 - сцинтиллятор NaJ(Tl) 150×100 мм, 4 - вакуумная камера, 5 - ФЭУ, 6 - свинцовые коллиматоры и защита, 7 - световод из оргстекла

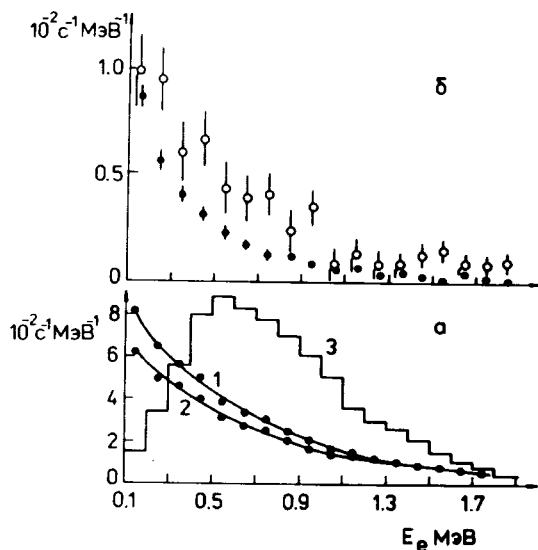


Рис.2. Спектры электронов при совпадениях с γ -квантами: а — измеренные без поглотителя (1) в пучке и с Al-поглотителем толщиной 4 мм (2); расчетный спектр (3); б — при случайных совпадениях с γ -квантами (точки) и разностный спектр (без поглотителя и с поглотителем) с учетом случайных совпадений (кружки)

нии фоновых спектров источник закрывался Al поглотителем толщиной 4 мм, который должен полностью тормозить заряженные частицы с массой больше $3m_e$ в доступном энергетическом интервале

($E_{\text{макс.}} = 2,3$ МэВ). Измеренные электронные спектры (при совпадении с импульсом γ -детектора) с поглотителем и без него показаны на рис. 2,а соответственно кривыми 2 и 1 (точки соответствуют энергетическим интервалам по 100 кэВ, статистические погрешности меньше размера точек). Спектр случайных совпадений при измерениях без поглотителя и разностный спектр (за вычетом случайных совпадений) показаны на рис. 2,б точками и кружками соответственно.

Для сравнения экспериментальных данных с проверяемой гипотезой было проведено численное моделирование событий вылета из источника и распада гипотетических частиц на электрон и γ -квант. Моделирование было проведено для масс 1,5; 1,8; 2,0 МэВ/ c^2 , времен жизни $5 \cdot 10^{-11}$, 10^{-10} , $3 \cdot 10^{-10}$, 10^{-9} , $3 \cdot 10^{-9}$ с для трех различных спектров испускаемых ($e^+e^-e^-$)-частиц:

- а) фермиевский спектр $N(E) \sim pE(E_0 - E)^2$, где p — импульс, E — полная энергия частицы, E_0 — энергосвободное при β -распаде;
- б) равномерный спектр по импульсу;
- в) равномерный спектр по скорости частицы; это распределение предполагалось в работе^{3/}.

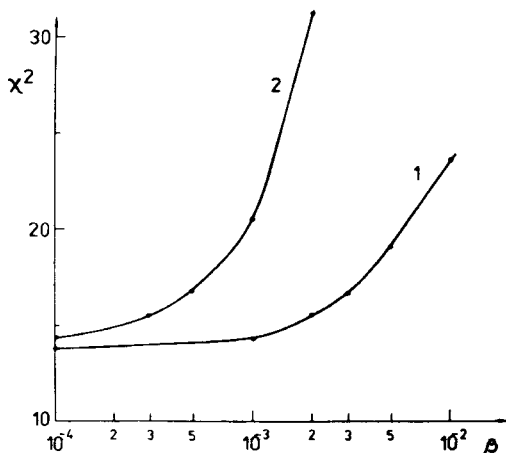
Распад частицы моделировался изотропно в системе покоя частиц, и отбирались события, в которых электрон и γ -квант попадали в соответствующие детекторы. Для отобранных событий строился спектр энергий электронов, причем учитывались эффективность и экспери-

ментальное разрешение спектрометра электронов ($\Delta E \sim E^{1/2}$). Всего таким образом было проведено 45 вариантов моделирования (3 массы \times 3 спектра \times 5 времен жизни) при статистике 10^5 распадов частиц на просматриваемой детекторами распадной базе установки для каждого варианта. На рис. 2,а гистограмма 3 показывает один из результатов такого моделирования для комбинации параметров, предполагаемых в работе^{/3/}: масса 1,5 МэВ, время жизни $3 \cdot 10^{-10}$ с, спектр, равномерный по скорости, вероятность испускания частицы 10% на распад ^{214}Bi . В соответствии с проверяемой гипотезой мы предполагали, что экспериментальный спектр $N_1(E)$ описывается следующим выражением:

$$N_1(E) = (1 + \alpha)N_2(E) + \beta N_3(E),$$

где $N_2(E)$ — экспериментальный спектр, измеренный с поглотителем, $N_3(E)$ — расчетный спектр, α — коэффициент, характеризующий изменение фона совпадений при измерениях с поглотителем, β — вероятность рождения гипотетической частицы на 1 распад ^{214}Bi .

Близкое подобие экспериментальных спектров совпадений, измеренных без поглотителя и с Al-поглотителями толщиной 2, 4 и 8 мм, а также с Pb-поглотителем толщиной 7 см, позволило нам считать параметр α не зависящим от энергии. Ограничение на вероятность β находилось путем минимизации χ^2 при варьировании параметров α и β для 18 экспериментальных точек. Для всех испытанных вариантов минимальное значение $\chi^2 = 13,5$ соответствовало $\beta = 0$. На рис.3 показаны типичные кривые зависимости χ^2 от β . Ограничение



с 90% уровнем достоверности в нашем случае соответствует значению χ^2 , на 4,6 превышающему минимальное значение χ^2 (величина 4,6 следует из распределе-

Рис.3. Зависимость χ^2 от вероятности рождения гипотетической частицы β при двух комбинациях параметров: 1 — $m = 1,5$ МэВ, $\tau = 5 \cdot 10^{-11}$ с, спектр равномерный по импульсу; 2 — $m = 1,5$ МэВ, $\tau = 3 \cdot 10^{-11}$ с, спектр Ферми

ния χ^2 для двух степеней свободы). В таблице приведены полученные ограничения на параметр β , соответствующие 90% уровню достоверности. При наших предположениях о форме спектра, массе и времени жизни относительная доля гипотетических частиц в распаде RaC не превышает 1%, а для гипотезы $^{1-3/}$ ограничение составляет 10^{-3} , что почти на 2 порядка ниже величины, приведенной в $^{1,3/}$.

Таблица. Ограничения на вероятность β ($\times 10^3$) рождения гипотетической частицы ($e^+e^-e^-$) в распаде ^{214}Bi на уровне достоверности 90% при различных предположениях о массе M , времени жизни τ и форме спектра испускаемых частиц

τ, c M, MeV	$5 \cdot 10^{-11}$	10^{-10}	$3 \cdot 10^{-10}$	10^{-9}	$3 \cdot 10^{-9}$	Форма спектра частиц
1,5	3	1	0,7	1,5	5	Ферми
	4,5	1,5	1,25	4	4,5	Равномерный по импульсу
	7	3,5	1,8	3,5	6	Равномерный по скорости
1,8	3,5	0,8	0,5	0,7	2	Ферми
	4	0,9	0,5	1,3	3	Равномерный по импульсу
	8	3,5	1	2,5	3	Равномерный по скорости
2,0	5	0,8	0,3	0,6	1	Ферми
	4,5	0,8	0,5	0,7	2,5	Равномерный по импульсу
	8	2	0,8	1,5	2,5	Равномерный по скорости

Таким образом, вопрос о том, что же наблюдалось в экспериментах Скобельцына, следует считать открытым. В связи с этим нужно отметить, что в нашем эксперименте не проверялось предположение о возможности распада частицы на электрон и нейтральную нерегистрируемую частицу.

В заключение авторы выражают благодарность Л.Б.Пикельнеру и В.И.Фурману за поддержку работы, В.Г.Шумкову, А.А.Михайлову и В.Г.Рогозовцу за изготовление источников и С.Б.Борзакову за проведение контрольных измерений активности источников.

Литература

1. Балдин А.М. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ № 3[42]-90, Дубна, 1990, с.4; Краткие сообщения по физике (ФИАН) № 6, 1990, с.42,

2. Скобельцын Д.В. — Известия АН СССР, сер. физ., 1938, 1-2, с.75; Степанова Е.Г. — Там же, с.91; Скобельцын Д.В. — ДАН АН СССР, 1938, 21, с.435.
3. Скобельцын Д.В. — В кн.: Памяти С.И.Вавилова, М.: Изд-во АН СССР, 1952, с.292.
4. Kienle P. — Nucl. Phys., 1988, A478, p.297.
5. Salapura P. et al. — Phys. Lett., 1990, B245, p.153.
6. Bokemeyer H., Koenig W. — Preprint GSI-91-45, 1991.
7. Арбузов Б.А. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1989, 50, с.236.
Arbuzov B.A. et al. — Phys.Lett., 1990, B240, p.477;
Mod.Phys.Lett., 1990, A5, p.1441.
8. Dietze G., Klein K. — NIM, 1982, 193, p.549.

Рукопись поступила 10 февраля 1992 года.