

К ВОПРОСУ ОБ АНОМАЛЬНОМ РАССЕЯНИИ β -ЛУЧЕЙ РАДИЯ - 226

Ю. В. Анищенко

В ряде работ 30-х - 40-х годов, посвященных исследованию упругого рассеяния электронов на ядрах при энергии электронов порядка Мэв, наблюдалось аномальное рассеяние: превышение числа рассеяний на большие углы над теоретически ожидаемым, потери энергии в акте рассеяния /1-4/. В других работах имело место хорошее согласие теории и эксперимента. С наибольшей точностью теоретические предсказания были подтверждены в опытах, выполненных при помощи интенсивных пучков электронов, полученных на ускорителях. Изучение работ, относящихся к этому вопросу, однако, показывает, что аномальное рассеяние наблюдалось тогда, когда исследовались β -лучи радия-266, причем источник располагался близко, на расстоянии 10-20 см, от регистрирующего прибора.

В 1952 г. Д. В. Скобельцыным была рассмотрена возможность истолкования аномального рассеяния путем распад на лету короткоживущих частиц, в доле 5-10% к электронам, присутствующих в составе β -излучения вблизи источника /5/. В предположении массы 1,5 Мэв и времени жизни (1-5) 10^{-10} сек казалось, что явление находит не только качественное, но и количественное объяснение. По инициативе Д. В. Скобельцына эксперименты были продолжены. Исследовалось рассеяние в камере Вильсона низкого давления, наполненной гелием ($P = 250$ мм рт. ст., $T = 278^\circ\text{K}$; $P = 600$ и 800 мм рт. ст. в ряде более позд-

них экспериментальных серий), тогда как в работах /1-4/ рассеяние изучалось в азоте и аргоне. Эксперимент не подтвердил ожидаемого эффекта аномального рассеяния. Однако выявившиеся в процессе длительного исследования детали явления, излагаемые ниже, заслуживают, по-видимому, пристального внимания.

В цилиндрическую камеру Вильсона \varnothing 300 мм с глубиной освещенной области 70 мм (в одной из экспериментальных серий камера была прямоугольной, размером 800x400x220 мм³, освещенная практически на всю глубину светом рубинового лазера) последовательно через определенные интервалы времени инжестировались β -частицы, испускаемые радиом-226, из различных интервалов спектра импульсов: (1,2 - 1,8) Мэв/с, (1,8 - 2,4) Мэв/с и (2,4 - 3,0) Мэв/с. Инжекция осуществлялась с помощью небольшого импульсного спектрометра с полукруговой фокусировкой и "разрешением" 30%. Причем всякий раз с изменением поля спектрометра менялось магнитное поле в камере с таким расчетом, чтобы радиус кривизны для частицы со средним импульсом в интервале оставался неизменным. Таким образом устранялась разница условий наблюдения в различных спектральных интервалах. Пучок частиц разворачивался спектрометром в плоскости, нормальной к магнитному полю. Угловой раствор пучка в направлении магнитного поля не превышал 16° и обусловлен был рассеянием в слюдяном окне, служащем для ввода электронов в камеру (средний угол многократного рассеяния составлял 8°). В контрольном опыте исследовалось рассеяние β -частиц P^{32} в интервале импульсов (0,8 - 1,6) Мэв/с. Было зарегистрировано 6720 следов β -частиц и 32 случая рассеяния на угол $> 20^\circ$. Расчетное число таких событий составляет 41 ± 4 . Согласно в пределах ошибки теоретического и наблюдаемого числа случаев рассеяния рассматривалось как положительный результат в проверке метода. Точность определения пространственных углов Θ оценивалась по измерению известных углов макета, имитирующего на-

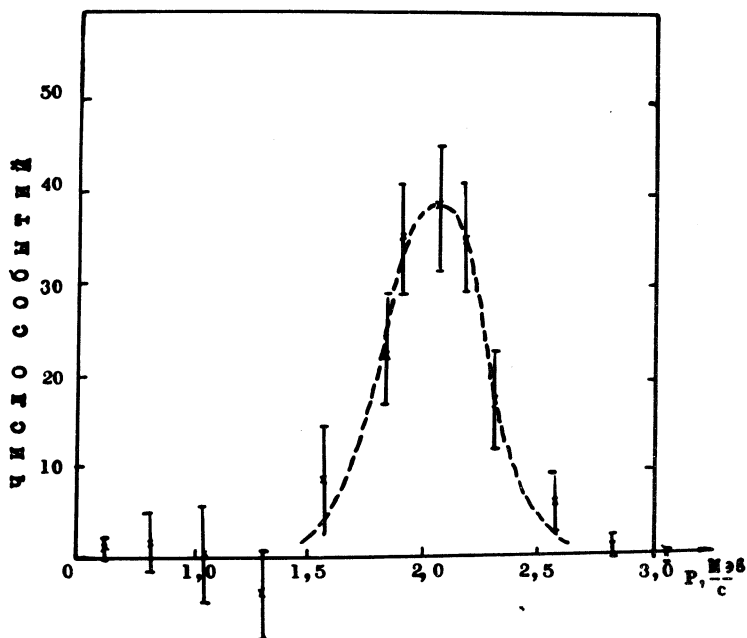
бор следов частиц, испытавших рассеяние, и составляла $1^{\circ}-1,5^{\circ}$ в диапазоне $\Delta\theta = 10^{\circ}-90^{\circ}$. Зависимость эффективности регистрации углов рассеяния от величины θ проверялась путем сравнения наблюдаемого углового распределения с теоретическим с помощью критерия Колмогорова в контрольных экспериментальных сериях. Сравнение показало, что начиная с 15° эффективность не зависит от величины угла и близка к 1.

Основные результаты эксперимента по изучению β -лучей радия -226 представлены в таблице 1 и на рис. 1 и 2. Из таблицы видно, что в интервалах импульсов a ($\bar{P} = 1,5$ Мэв/с) и b ($\bar{P} = 2,7$ Мэв/с) имеется согласие теории и эксперимента. В интервале δ ($\bar{P} = 2,1$ Мэв/с) наблюдаемое число рассеяний в несколько раз превышает рассчитанное для углов $\theta > 20^{\circ}$, а для $\Delta\theta = 15^{\circ}-20^{\circ}$ согласие полное. На рис. 1 разность экспериментального числа актов рассеяния на угол $> 20^{\circ}$ и теоретического представлена как функция импульса.

Таблица 1

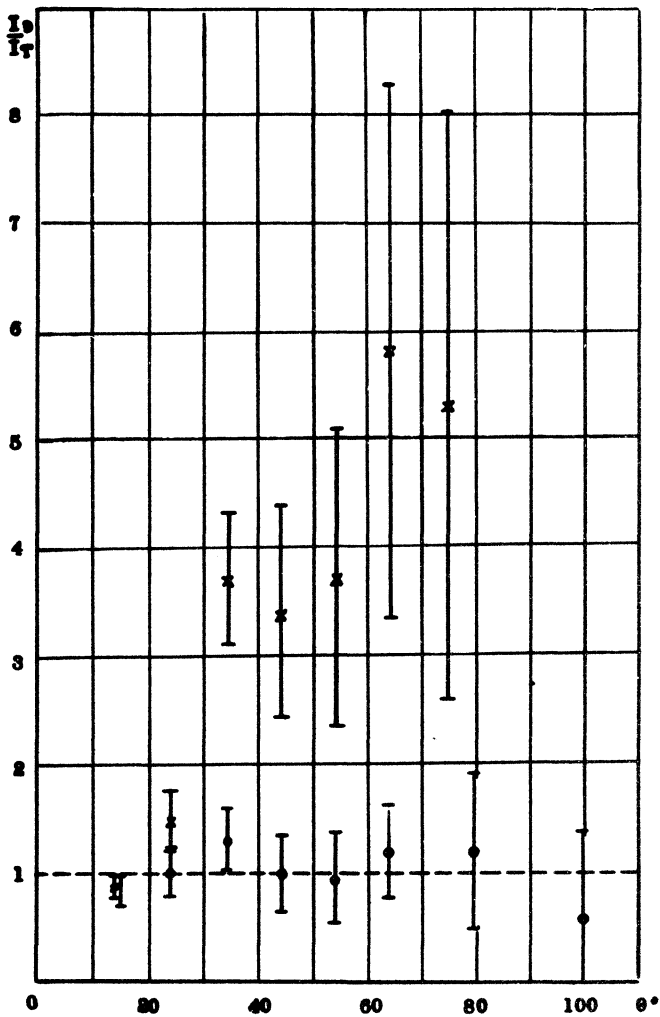
	$15^{\circ} - 20^{\circ}$	$20^{\circ} - 45^{\circ}$	$45^{\circ} - 180^{\circ}$	Число следов	
a	$N_{\text{эксп}}$	47 ± 7	$54 \pm 7,2$	$8 \pm 2,5$	7210
	$N_{\text{теор}}$	52 ± 3	50 ± 3	$9,5 \pm 0,5$	
	$N_{\text{эксп}} / N_{\text{теор}}$	$0,9 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,5$	
δ	$N_{\text{эксп}}$	$52 \pm 7,2$	109 ± 10	27 ± 5	14920
	$N_{\text{теор}}$	$45,4 \pm 3,1$	$43,4 \pm 3,1$	$7,6 \pm 0,7$	
	$N_{\text{эксп}} / N_{\text{теор}}$	$1,1 \pm 0,25$	$2,5 \pm 0,4$	$3,6 \pm 1,1$	
b	$N_{\text{эксп}}$	$5 \pm 2,2$	4 ± 2	1 ± 1	2530
	$N_{\text{теор}}$	$3,5 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,07$	
	$N_{\text{эксп}} / N_{\text{теор}}$	1	1	1	

Наблюдается аномальное рассеяние вблизи импульса 2,1 Мэв/с. Вместе с тем для углов $< 20^\circ$ экспериментальная зависимость числа рассеяний от импульса согласуется с расчетной. Отношение эксперименталь-



Р и с. 1. Разность экспериментальной и теоретической частоты рассеяния на угол $> 20^\circ$ в функции импульса.

ной частоты рассеяния к теоретической как функция угла дано на рис. 2. Для интервалов импульсов a и b данные объединены и изображены точками, для интервала δ — крестами. Среднее квадратичное значение этого отношения для $\theta > 30^\circ$ в интервале δ равно $3,5 \pm 0,5$. При измерении импульсов до рассеяния, P_0 , и после рассеяния, P , было обнаружено, что разность $P_0 - P$ часто выходит за пределы ошибки, причем как правило при $\theta > 20^\circ$. Для $\theta < 20^\circ$ распределение вели-



Р и с. 2. Отношение частот рассеяния в интервал $\Delta\theta$, полученных на опыте, к расчетным величинам. Точки для интервалов импульса a и b , кресты для интервала c .

чин $(P_0 - P)/(P_0 + P)$ описывается нормальным законом со средним квадратичным отклонением $\sigma = 2,8\%$. Относительная частота событий, у которых $|P_0 - P|/(P_0 + P) > 2\sigma$ (и 3σ) при $\theta > 20^\circ$ значительно превышает интеграл ошибок. Здесь речь идет о событиях, у которых первичные и вторичные следы имеют длину не менее 7 см и наклон к проекционной плоскости, т.е. к плоскости, нормальной к направлению осей объективов стереоаппарата, не более 20° . Поэтому измерения импульсов в обеих группах следов (с $\theta < 20^\circ$ и $\theta > 20^\circ$) можно считать равнозначными. Распределение $n[(P_0 - P)/(P_0 + P)]$ симметрично, но для событий с $\Delta P/P > 2\sigma$ преобладает увеличение импульса после акта аномального рассеяния (из 67 таких событий у 46 $P > P_0$). Ряд событий характеризуется изменением импульса на 20–30%.

Наблюдается убывание числа актов рассеяния на угол $> 30^\circ$ по мере удаления от источника. Число таких событий в интервалах $4 < l < 11$ и $11 < l < 18$ (см) соответственно 45 и 21 (здесь l — длина следа до излома). Вместе с тем события, характеризующиеся меньшим углом, распределены поровну в указанных интервалах в пределах ошибки. Так для $15^\circ < \theta < 30^\circ$ соответствующие числа — 51 и 63. Из распределения числа следов в зависимости от их полной длины следует, что в интервале $11 < l < 18$ (см) оканчивается 8,4% всех следов при средней длине $\bar{l} = 26$ см. Это в основном следы частиц, выходящих из освещенной области камеры вследствие рассеяния в слюдяном окне. Поправка в этом интервале к числу зарегистрированных актов рассеяния на угол $> 30^\circ$, связанная с пропусками случаев рассеяния на концах следов и с уменьшением общего числа следов, составляет + 11%. Имеются пропуски случаев рассеяния в области малых l , вблизи окна, и из-за того, что следы, поступающие в камеру в количестве в среднем 3–4 на импульс инъекции, не успевают разойтись, и события теряются в гуще следов. Просчеты при малых l можно оценить пользуясь распределением $n(l)$ для углов $15^\circ - 30^\circ$. После внесения необходимых по-

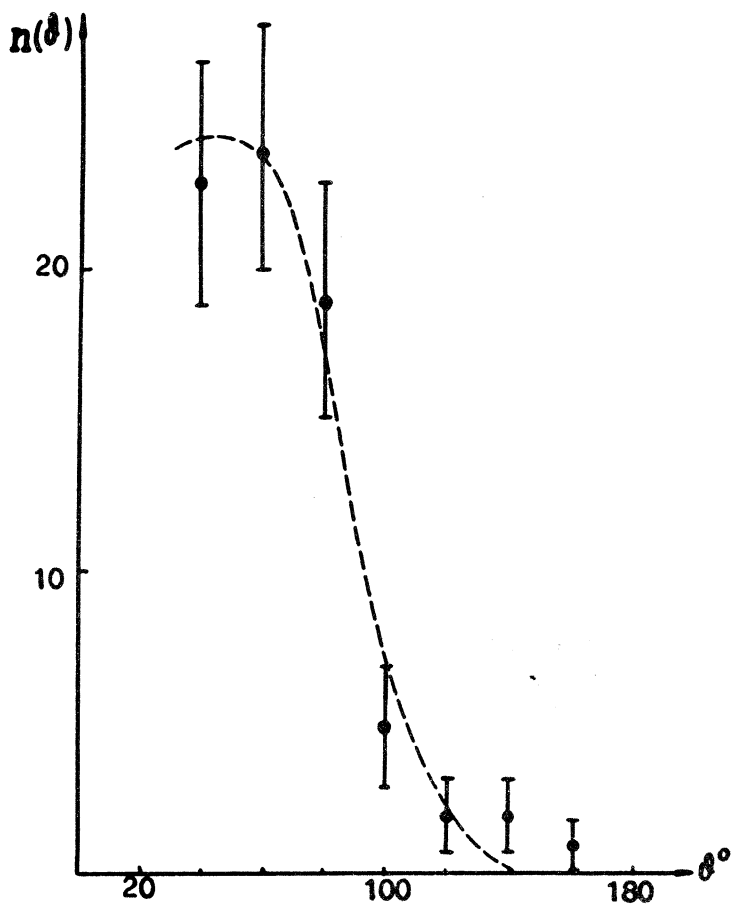
правом убывание числа рассеяний с увеличением x , расстояния от источника в камере Вильсона, можно представить в виде $\exp[-x/\lambda]$ с $\lambda = 6_{-2,5}^{+4}$ см.

Таким образом наблюдаемое явление имеет следующие особенности: 1. Зависимость числа изломов следов от импульса имеет максимум при $P_0 = 2,1$ Мэв/с. 2. Угловое распределение аномально. 3. Имеет место изменение импульса в точке аномального рассеяния. 4. Число аномальных рассеяний убывает по мере удаления от источника.

Явление не может быть объяснено в рамках обычных представлений, если, конечно, здесь нет невыявленной экспериментальной ошибки. Объяснение можно было бы искать в предположении, что при ядерном переходе ^{214}Po генерируется частица с целым спином, уносящая всю энергию перехода. В камере Вильсона мы наблюдаем распад X -частицы на электрон и антинейтрино. Расчет масс из известных P_0 и P и θ в рамках высказанного предположения для всех событий с $\theta > 20^\circ$ в экспериментальной серии, где $\bar{P} = 2,1$ Мэв/с, дает почти гауссово распределение $N(m_x)$ с наиболее вероятным значением $m_x = (2,75 \pm 0,3)$ Мэв. Следует заметить, однако, что при $m_x = 2,75$ Мэв, $P_0 = 2,1$ Мэв/с и $\theta = 37^\circ$, $P_0 = P$, а угловое распределение, т.е. разность наблюдаемого числа изломов следов и рассчитанного числа рассеяний, имеет максимум вблизи 30° . На рис. 3 представлены экспериментальное и теоретическое угловые распределения в системе центра масс электронов распада гипотетической частицы $n(\theta) =$

$$= (1/N) \int_{\theta}^{\theta+\Delta\theta} dN, \text{ где } N - \text{ полное число частиц. Теорети-}$$

ческое распределение $\frac{1}{N} \frac{dN}{d\Omega} \sim (1 + \cos\Omega)^2$ получено в предположении спина 1 и 100% продольной поляризации в направлении импульса первичной частицы. Согла-



Р и с. 3. Сравнение угловых распределений в системе центра масс, экспериментального для событий с $|P_0 - P| / (P_0 + P) > 26$ и теоретического (пунктирная кривая), вычисленного в предположении распада X -частицы, имеющей спин 1 и 100% продольную поляризацию.

сие сравниваемых угловых распределений следует признать хорошим, $\chi^2 = 2,7$ при 7 степенях свободы.

Полагая среднюю длину пробега $\lambda = 6$ см, найдем время жизни гипотетической частицы $\tau = (3 \pm 1,5) \times 10^{-10}$ сек. Отсюда доля X-частиц от числа электронов распада Bi^{214} оказывается в пределах 0,1 – 5 процента.

Удельная ионизация частицы с массой 5,5 масс электрона и импульсом 2,1 Мэв/с должна быть в 2,7 раза больше минимальной. Визуальное наблюдение этого не подтверждает. К сожалению, качество материала и фон, обусловленный близким расположением источника к камере, затрудняют наблюдения. По той же причине, быть может, имеет место большая ошибка в числе зарегистрированных следов и рассеяний, чем мы предполагаем. Однако, различные стороны явления трудно объяснить, допуская простую ошибку наблюдения.

Считаю приятным долгом поблагодарить А. М. Балдина, И. М. Железных, А. А. Комара и С. И. Никольского за многочисленные полезные обсуждения; Р. А. Бунатян, Н. П. Бондаренко, Д. С. Крылова, В. А. Лаврова, Ф. И. Паначева, М. И. Самарина и Л. И. Чернопятову за помощь в работе.

Поступила в редакцию 11 декабря 1970 г.

После переработки 7 января 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. Д. В. Скобельцын. Изв. АН СССР, серия физич. № 1 – 2, 75 (1938).
2. Е. Г. Степанова. Изв. АН СССР, серия физич. № 1 – 2, 91 (1938).
3. W. Bosshard, P. Scherrer., *Helv. Phys. Acta*, 14, 84 (1941).