

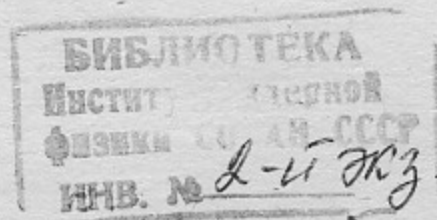


В. 75

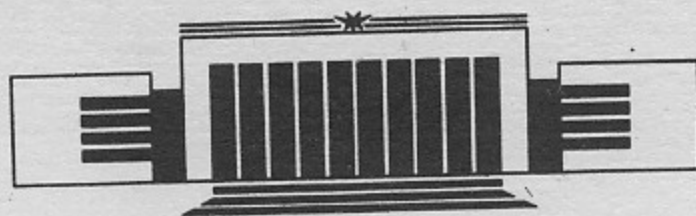
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

П.В. Воробьев, Я.И. Гитарц

ОГРАНИЧЕНИЕ НА КОНСТАНТУ
АРИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ



ПРЕПРИНТ 87-138



НОВОСИБИРСК

✓
1

Ограничение на константу
арионного взаимодействия

П.В. Воробьев, Я.И. Гитарц*

Институт ядерной физики
630090, Новосибирск 90, СССР

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты эксперимента по поиску дальнедействующего квазимагнитного взаимодействия электронов, связанного с обменом безмассовым псевдоскалярным голдстоуновским бозоном (арионом). Получено ограничение на константу арионного взаимодействия G_a : $G_a < 10^{-3} G_F$, G_F — константа Ферми.

* СНИИГГиМС, Новосибирск.

В этой статье приводятся некоторые результаты экспериментов по поиску нового дальнедействующего спин-спинового взаимодействия фермионов, связанного с обменом безмассовым (или очень легким) псевдоскалярным голдстоуновским бозоном — арионом. Взаимодействие такого типа естественным образом возникает в калибровочных теориях при спонтанном нарушении некоторой глобальной симметрии. Теория ариона предложена и детально обсуждалась Ансельмом [1]. Аналогичное взаимодействие возникает в некоторых теориях супергравитации [2], теориях гравитации с динамическим полем кручения [3] модели нарушенной полной относительности [4] и так далее. Однако, константа взаимодействия в этих теориях как правило не фиксирована и нуждается в экспериментальном определении.

Для безмассового ариона взаимодействие двух фермионов имеет вид:

$$V(r) = \frac{G_a}{r^3} [\bar{\sigma}_1 \cdot \bar{\sigma}_2 - 3(\bar{\sigma}_1 \cdot \bar{n}) \cdot (\bar{\sigma}_2 \cdot \bar{n})].$$

Здесь G_a — константа взаимодействия; σ — спиновые матрицы; $\bar{n} = \bar{r}/|r|$. Очевидно, арионное взаимодействие фермионов подобно очень слабому диполь-дипольному магнитному взаимодействию, но связано со спином фермионов, а не с их магнитным моментом. Арионное взаимодействие фермионов характеризуется «арионным магнетонном» [1]:

$$\mu_a = \left(\frac{G_a}{8\pi\sqrt{2}} \right)^{1/2} = \kappa \left(\frac{G_F}{8\pi\sqrt{2}} \right)^{1/2}$$

или

$$\mu_a = \kappa \cdot 0.69 \cdot 10^{-5} \mu_B.$$

Здесь G_a — константа арионного взаимодействия; G_F — константа Ферми; μ_B — магнетон Бора; $\kappa^2 = G_a/G_F$. Арионное поле, в отличие от магнитного, не экранируется вихревыми токами в проводящих экранах, поэтому использование сверхпроводящих магнитных экранов позволяет эффективно отделить арионное поле от магнитного.

Существуют следующие ограничения на константу арионного взаимодействия:

для взаимодействия электрон-кварк [5] — $G_a < 10^{-2} G_F$;

для взаимодействия электрон-мюон [1, 3] — $G_a < 10 G_F$;

для взаимодействия электрон-электрон [6] — $G_a < 10 G_F$.

Проявление арионных сил естественно искать во взаимодействии двух ферромагнитных тел, разделенных сверхпроводящим экраном. При изменении намагниченности одного из них должна меняться намагниченность другого, а также сила взаимодействия между ними [7]. Так в детекторе группы Ньюмена измеряется момент силы действующей на намагниченный ферромагнетик при изменении намагниченности ферромагнетика, расположенного за сверхпроводящим экраном [6]. Торсионные весы позволяют получить чувствительность $\delta F/F \sim 10^{-14}$, что соответствует $G_a < 10^{-3} G_F$. Однако, в экспериментах такого типа серьезную проблему представляет сейсмический фон. Достигнутая чувствительность соответствует $G_a < 10 G_F$.

В нашем эксперименте использована другая методика [7]. Мы измеряли намагниченность ферромагнитного образца, заключенного в сверхпроводящий экран, в зависимости от направления намагниченности массивного ферромагнетика, расположенного вне экрана. Детектор — зонд из пермаллоя 78НД2М размером $10 \times 1 \times 2$ мм помещен в трехслойный свинцовый сверхпроводящий магнитный экран диаметром 20 мм и длиной 150 мм. Намагниченность зонда измеряется сквид-магнитометром «криом-1М» с чувствительностью по магнитному потоку $\Phi \sim 10^{-4} \Phi_0 \text{ Гц}^{-1/2}$ ($\Phi_0 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Э} \cdot \text{см}^2$ — квант потока). Эффективная магнитная восприимчивость зонда μ_F была измерена. В полях соответствующих $1 \div 10^3 \Phi_0$ — квантов потока в объеме детектора $\mu_F > 10$. Для материала, магнитная проницаемость которого очень высока (μ_0 пермаллоя > 10000), проницаемость формы можно оценить следующим образом:

$$\mu_F \simeq \pi L^2 / \left(4S \left(\ln \frac{L}{R} - 1 \right) \right).$$

Здесь: L — длина зода, S — его сечение, R — радиус. Для нашего зонда это дает $\mu_F = 20 \div 25$. Для контроля и калибровки системы имеется небольшой соленоид, создающий слабое магнитное поле в месте расположения зонда. Сверхпроводящий экран с зондом и СКВИДом размещен в стеклянном безазотном криостате. Наружный диаметр криостата в месте расположения зонда 70 мм. Нижняя часть криостата, где собственно и расположен зонд, введена в межполюсной зазор постоянного магнита, вращающегося вокруг вертикальной оси. Магнит создает вращающееся магнитное поле $B_0 = 300 \text{ Э}$ в точке расположения зонда. Скорость вращения магнита около десяти оборотов в минуту. Магнит и привод его вращения акустически развязаны от криостата посредством резиновых амортизаторов. Поле магнита в области размещения зонда контролируется датчиком Холла.

Сигналы СКВИДа и датчика Холла оцифровываются двумя АЦП, стробируемыми системой фотопривязки к углу поворота магнита. Привязка к углу позволяет не заботиться о стабильности скорости вращения магнита. Вся система контролируется и управляется микро-ЭВМ. Производится фурье-анализ сигнала СКВИДа и датчика Холла. Выделяется фурье-компонента намагниченности зонда на частоте вращения внешнего магнита, где ожидается эффект. Остальные гармоники фурье-разложения используются для оценки шумов и контроля. Гистограммы распределения первой гармоники по углам и квадрату амплитуды хорошо согласуются с предположением о случайности сигнала с зонда и независимости его от поля внешнего магнита. Отношение сигнал/шум, полученное с помощью спектральных оценок, также говорит о случайном характере сигнала СКВИДа.

Было выполнено около двухсот циклов измерений. Суммарное время набора статистики около 15 часов.

Получено ограничение: $B_*/B_0 < 5 \cdot 10^{-14}$. Здесь: B_0 — поле внешнего магнита, B_* — поле, измеряемое зондом внутри сверхпроводящего магнитного экрана. На уровне достоверности 95% это соответствует ограничению на константу взаимодействия:

$$G_a < 10^{-3} G_F,$$

что более чем на три порядка лучше, чем существующие ограниче-

ния для взаимодействия лептонов [6] и примерно на порядок лучше, чем результат, приведенный в работе [5] для взаимодействия $e-q$.

Достигнутая чувствительность близка к предельной для этой методики. Гораздо более сильное ограничение на константу псевдоскалярного взаимодействия можно получить из поиска осцилляций арион-фотон в поперечном магнитном поле [8]. В настоящее время такой эксперимент подготавливается в ИЯФ.

Ограничение, полученное нами на псевдоскалярное дальнедействующее взаимодействие, в комбинации с ограничением на скалярную (юкавскую) компоненту гравитации [9] дает также лучшее ограничение на T-неинвариантное скаляр-псевдоскалярное взаимодействие фермионов, обсуждавшееся в работе [10]:

$$G_{s-ps} < 10^{20} G_F; \quad \text{для } \lambda > 5 \text{ см.}$$

Авторы благодарны А.А. Ансельму, Л.М. Баркову, М.С. Золотореву, И.Б. Хриповичу за многочисленные обсуждения и поддержку. Мы также благодарны Р.Д. Ньюмену, приславшему копию его отчета NSF.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Anselm A.A.* Preprint CERN-TH. 4349/86.
Anselm A.A., Uraltsev N.G. Phys. Lett. 1982 v.116B p.161.
2. Сборник «геометрические идеи в физике»/под редакцией Ю.И. Манина. М.: МИР, 1983.
3. *Hayashi K., Shlrafuji T.* Phys. Rev. D 1978, v.19, p.3524
4. *Андреев А.Ф.* Письма в ЖЭТФ 1982, т.36, с.82
5. *Александров Е.Б., Ансельм А.А., Павлов Ю.В., Умарходжаев Р.М., ЖЭТФ* 1983, т.85, с.1899.
Ансельм А.А., Неронов Ю. ЖЭТФ 1985, т.88, с.1946.
6. *Newman R.D.* Project Summary NSF, 1986.
7. *Воробьев П.В.* Препринт ИЯФ 83-161. Новосибирск, 1983.
8. *Anselm A.A.* Preprint FERMILAB—PUB 87/45-T.
Ансельм А.А. ЯФ 1985, т.42, с.1480.
9. *Hoskins J.K., Newman R.D., Spero R., Schultz J.,* Phys. Rev. D, 1985, v.32, p.3084.
10. *Moody J.E., Wilczek F.,* Phys. Rev. D 1984, v.30, p.130

П.В. Воробьев, Я.И. Гитарц

**Ограничение на константу
арионного взаимодействия**

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

Работа поступила 30 сентября 1987 г.
Подписано в печать 13.10. 1987 г. МН 08410
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0,7 печ.л., 0,6 уч.-изд.л.
Тираж 180 экз. Бесплатно. Заказ № 138

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и
отпечатано на ротаприте Института ядерной физики
СО АН СССР,
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*