

О ПОИСКЕ МАЛЫХ НАРУШЕНИЙ ПРИНЦИПА ПАУЛИ

А.Ю. Игнатьев, В.А. Кузьмин

Предлагается метод поиска малых нарушений принципа Паули, основанный на выделении и счете аномальных атомов с неправильным (избыточным) заполнением электронных оболочек. Оценки показывают, что данный подход оказывается на несколько порядков эффективней поиска рентгеновских переходов в NaJ(Tl), запрещенных принципом Паули.

Вопрос о возможном нарушении (разумеется, весьма малом) фундаментальных принципов физики, начиная с пионерских работ о несохранении честиности в слабых взаимодействиях, является объектом пристального внимания. В последнее время широко исследовалось возможное несохранение таких величин, как барионное и лептонные числа. Меньшее количество работ было посвящено возможному несохранению электрического заряда ^{1, 2}, нарушению СРТ-симметрии ³ и лоренц-инвариантности ⁴.

Принцип запрета Паули также относится к числу фундаментальных принципов квантовой теории. Возможность его малого нарушения обсуждалась в работе ⁵. В работе ⁶ была построена непротиворечивая квантовомеханическая модель, позволяющая описывать малые отклонения от принципа Паули. Величина отклонений при этом характеризуется малым параметром, входящим в перестановочные соотношения. Обобщение этой модели на случай релятивистской квантовой теории поля было сделано в работе ⁷. В связи с этим актуальным становится вопрос о наиболее эффективных методах поиска процессов, происходящих с нарушением принципа запрета. Одним из таких методов является поиск рентгеновских γ -квантов, возникающих при переходе на заполненную K-оболочку атома. При этом постановка эксперимента аналогична той, что применяется при поиске нестабильности электрона (конкретно, в эксперименте ищутся рентгеновские переходы в кристалле NaJ(Tl)). При этом экспериментальное ограничение на вероятность перехода составляет $3 \cdot 10^{-23}$ лет⁻¹ ⁸. Отметим, что модель ^{6, 7} свободна от возражений, приведенных в работе ⁹ относительно возможности проверки принципа Паули в данном эксперименте.

В настоящей работе мы хотели бы указать на возможность более эффективного (на несколько порядков) метода поиска обсуждаемых переходов в атомах. Речь идет о поиске продуктов таких переходов (т.е. атомов с неправильным (избыточным) заполнением электронных оболочек), другими словами о поиске интегрального эффекта. Более высокая эффективность предлагаемого подхода основана на большем времени экспозиции (геологические времена), а также возможности использования большей массы мишени.

Схема эксперимента, в общих чертах, сводится к следующему. Из большой массы вещества, содержащего элемент с атомным номером Z , извлекается химическими средствами примесь элемента с атомным номером $Z - 1$. (Эксперименты по регистрации солнечных нейтрино ¹⁰ дают нам пример и уверенность в возможности извлечения ничтожного числа атомов, вплоть до десятков, из мишени массой в сотни тонн). Интересующие нас продукты переходов, нарушающих принцип Паули в Z -атомах, химически выступают как $(Z - 1)$ -атомы и содержатся в извлеченной примеси. Будем называть такие аномальные атомы для краткости "монстрами" типа $(Z - 1)$. (Вообще говоря, могли бы существовать и $(Z - n)$ -монстры, но вероятность их образования существенно падает с ростом n .) На этом заканчивается эксплуатация химических свойств монстров и начинается использование свойств их ядер с целью дальнейшего обогащения, которое может быть достигнуто стандартными методами разделения изотопов. Задача теперь сводится к тому, чтобы сосчитать редкие аномальные атомы, содержащиеся в образце. Одним из методов, пригод-

ных для этой цели, является нейтронно-активационный анализ полученного образца с последующей регистрацией распадов образующихся радиоактивных изотопов. При облучении нейтронами этого образца (состоящего, главным образом, из элемента $(Z - 1, N')$) и содержащего ничтожную примесь интересующих нас аномальных атомов с ядрами (Z, N) образуются радиоактивные изотопы $(Z, N + 1)$ и $(Z - 1, N' + 1)$, обладающие, вообще говоря, различными свойствами. Вопрос, в сущности, заключается в таком выборе исходного элемента (Z, N) чтобы изотоп $(Z, N + 1)$ было возможно легче сосчитать в смеси с элементами $(Z - 1, N')$ и $(Z - 1, N' + 1)$. Ниже будут приведены конкретные примеры такого выбора.

Другой метод счета аномальных атомов, находящихся в примеси, связан с использованием лазерной спектроскопии.

Данный метод позволяет обнаружить количество заданной примеси вплоть до нескольких атомов при их концентрации $\gtrsim 10^{-16}$.

Для оценки чувствительности интегрального метода по сравнению с методом, основанным на поиске рентгеновских переходов в NaJ, рассмотрим конкретный пример эксперимента с поваренной солью NaCl. Искомые аномальные атомы с ядром натрия в химическом отношении ведут себя как атомы неона. Для целей обсуждаемого эксперимента соль должна браться прямо из шахты (чтобы предотвратить утечку атомов Ne). Сравнительную чувствительность данного метода по отношению к эксперименту с NaJ можно грубо оценить следующим образом:

$$R \approx \frac{N_2}{N_1} \frac{t_2}{t_1} \frac{n_1}{n_2},$$

где N_1 и N_2 — числа атомов Na в эксперименте с NaJ и NaCl, соответственно; t_2 — время наблюдения в эксперименте с NaJ; t_1 — время накопления интегрального эффекта в эксперименте с NaCl (с учетом возможной утечки монстров из соляного пласта); n_2 — минимально обнаружимое число монстров в предлагаемом эксперименте (с учетом фона); n_1 — минимально обнаружимое число переходов в эксперименте с NaJ. Имеем $N_2 \approx 10^{30}$ (что соответствует 100 т NaCl), $N_1 \approx 4 \cdot 10^{25}$ (10 кг NaJ), $t_2 \approx 10^8$ лет, $t_1 \approx 1$ мес., $n_1 \approx 100$.

Оценка величины n_2 существенно зависит от способа подсчета аномальных атомов. В методе нейтронно-активационного анализа малость сечения захвата нейтрона ядром натрия приводит к тому, что за время жизни ^{24}Na невозможно добиться высокой степени активации ^{23}Na , так что по оценке $n_2 \gtrsim 10^8$. В результате, при массе NaCl ~ 100 т можно продвинуться до $R \sim 10^7$.

В методе же лазерной спектроскопии, по-видимому, $n_2 \sim 10-100$, так что $R \sim 10^{13}$.

Что касается проблемы оптимального выбора элементов в рамках данного метода, то, по-видимому, пригодным может оказаться широкий круг элементов. Конкретный выбор будет определяться соображениями доступности исходного материала, возможностями работы с большой массой образца, легкостью извлечения и счета монстров. В частности, представляются хорошим выбором ископаемые соли щелочных и щелочно-земельных металлов, в которых образуются монстры, с химической точки зрения имитирующие инертные газы.

Что касается альтернативного метода, использующего нейтронную активацию атомов-монстров, то здесь примерами подходящих элементов являются ^{23}Na , ^{34}S , ^{71}Ga , и т.д.

Отметим, что наряду с аномальными атомами могли бы существовать аномальные ядра ⁵. Для их поиска интегральный метод также может оказаться значительно эффективнее, чем поиск ядерных γ -переходов, запрещенных принципом Паули.

Предлагаемый метод позволяет, в принципе, столь далеко продвинуться в поисках возможного нарушения принципа Паули, что он может оказаться адекватным даже в том

случае, когда нарушение принципа запрета возникало бы на планковских масштабах за счет каких-либо эффектов квантовой гравитации.

Авторы благодарны В.А. Березину, Г.М. Ваградову, В.Н. Гаврину, Н.Г. Козимирову, В.А. Матвееву, В.А. Рубакову, И.И. Ткачеву и М.Е. Шапошникову за интерес к работе и полезные обсуждения.

Литература

1. *Ignatiev A. Yu., Kuzmin V.A., Shaposhnikov M.E.* Preprint IYal P-0101, 1978; Phys. Lett., 1979, **84** В. 315; Preprint IYal P-0142, 1980.
2. *Okun L.B., Zeldovich Ya.B.* Phys. Lett., 1978, **В78**, 597.
3. *Banks T.* SLAC-PUB-3376, 1984.
4. *Nielsen H.B., Ninomiya M.* Nucl. Phys., 1978, **В 141**, 153.
5. *Kuzmin V.A.* In: Proc. of 3rd Seminar on Quantum Gravity. World Scientific, Singapore 1984. Ed. M.A. Markov, V.A. Berezin, V.P. Frolov, p. 270; Nordita Preprint 85/4, 1985.
6. *Игнатьев А.Ю., Кузьмин В.А.* Препринт ИЯИ АН СССР П-0500, 1986; Ядерная физика 1987, **46**, 786.
7. *Greenberg O.W., Mohapatra R.N.* Univ. of Maryland. Preprint 88-030, 1987.
8. *Ковальчук Е.Л., Поманский А.А., Смольников А.А.* Письма в ЖЭТФ, 1979, **29**, 145; *Bellotti A. et al.* Phys. Lett., 1983, **В 124**, 435.
9. *Amado R.D., Primakoff H.* Phys. Rev., 1980, **С 22**, 1338.
10. *Cleveland B.T., Davis R.Jr., Rowley J.K.* AIP Conf. Proc. 1981, **72**, 322. *Веретенкин Е.П., Гаврин В.Н., Куреев С.М.* ДАН СССР, 1987, **297**, 613.