

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОГО НАРУШЕНИЯ ПРИНЦИПА ПАУЛИ

В.М.Новиков, А.А.Поманский

Для проверки возможного нарушения принципа Паули предложен метод изотопного анализа элементов. Анализ изотопного состава бора позволяет установить ограничение на время жизни по отношению к нарушению принципа Паули атомными электронами: $T > 10^{25}$ лет.

Вопрос о нарушении принципа Паули для электронов в атоме был впервые поставлен в работе ¹. Там же, из данных эксперимента по проверке сохранения электрического заряда, было получено ограничение на время жизни относительно нарушения принципа Паули в атомах йода: $T \geq 10^{20}$ лет. Позднее из аналогичного эксперимента ² было выведено ³ более строгое ограничение: $T \geq 3,0 \cdot 10^{22}$ лет. В той же работе Гаврина и др. ³ для проверки справедливости принципа Паули предложен интегральный метод. Суть его состоит в по-

иске в веществе элемента с атомным номером z аномальных атомов ("монстров") этого же вещества, замаскированных в химическом отношении под атомы вещества элемента с атомным номером $(z - 1)$ за счет "сваливания" (в нарушение принципа Паули) валентного электрона на более низколежащую атомную оболочку. В качестве варианта поиска предлагается геохимический эксперимент со 100 т природной соли NaCl. Аномальные атомы ^{23}Na в химическом отношении ведут себя как атомы ^{23}Ne . При возрасте соли $\tau \sim 10^8$ лет и времени жизни атомного электрона относительно нарушения принципа Паули $T \sim 10^{30}$ лет доля аномальных атомов ^{23}Na составит

$$C \approx \tau/T = 10^{-22}. \quad (1)$$

Для счета аномальных атомов предлагается нейтронно-активационный анализ. Продукт реакции $^{23}\text{Na}(n, \gamma)^{24}\text{Na}$ подвержен β^- -распаду с $T_{1/2} = 14,96$ час и $E_{\text{макс}}^{\beta} = 1,39$ МэВ, сечение активации ^{23}Na составляет $0,53 \text{ б}^4$. Очевидно, однако, что серьезной помехой в достижении предельной чувствительности эксперимента является наличие в рабочем газе счетчика даже микропримесей отдельных элементов. Так, анализ показывает, что присутствие аргона на уровне $\approx 10^{-6}$ и криптона на уровне $\approx 10^{-12}$ снижает на несколько порядков ожидаемый результат, поскольку получившиеся в результате активации продукты реакции $^{40}\text{Ar}(n, \gamma)^{41}\text{Ar}$ и $^{78}\text{Kr}(n, \gamma)^{79}\text{Kr}$ могут имитировать полезные события. Кроме того, процедура глубокого вакуумирования 100 т соли и полного обезгаживания воды, используемой в качестве растворителя, представляется весьма непростой.

В настоящей работе предлагается поиск аномальных атомов, возникших в период нуклеосинтеза во Вселенной. Согласно современным представлениям о происхождении элементов 5 , нуклеосинтез начался около 11 и закончился около 4,5 млрд. лет назад, то есть продолжался около 6,5 млрд. лет. Предполагается также, что скорость нуклеосинтеза на его начальном этапе была выше, чем в конце 5 . Тогда реальной представляется оценка в 4–5 млрд. лет в качестве промежутка времени, в течение которого шло образование аномальных атомов на эффективной массе вещества материнского элемента, равной его массе в конце нуклеосинтеза. При формировании Солнечной системы в соответствии с химическими свойствами элементов произошла дифференциация первоначально однородного протовещества. При условии, что принцип Паули нарушается, каждый элемент с атомным номером z содержит примесь аномальных атомов элемента, имеющего, в простейшем случае, атомный номер $(z + 1)$. Концентрация аномальных атомов в основном веществе, в отличие от (1), составит

$$C = \frac{\tau}{T} \frac{P(z+1)}{P(z)}, \quad (2)$$

где $P(z+1)$ и $P(z)$ – космические распространенности элементов с атомными номерами $z + 1$ и z . Как видно из (2), максимальная концентрация аномальных атомов в основном веществе получается, когда космическая распространенность материнского элемента $z + 1$ велика, а элемента z – мала. Кроме того, важно, чтобы в элементах z и $z + 1$ отсутствовали изотопы с одинаковыми массами.

С учетом вышесказанного, наиболее подходящей представляется пара бор–углерод. Относительная космическая распространенность этих элементов (при $P(\text{Si}) = 10^6$) составляет $P(\text{B}) = 6,2$ и $P(\text{C}) = 1,35 \cdot 10^7$ 6 . Тогда из (2) получаем, что при поиске аномальных атомов углерода концентрация последних в боре составит $C(\text{C}) = 10^{-14}$ при $\tau = 4,5 \cdot 10^8$ лет и $T = 10^{30}$ лет. Для сравнения напомним, что концентрация аномальных атомов натрия в соли NaCl составит $C(\text{Na}) = 10^{-22}$ при $T = 10^{30}$ лет 3 .

Как известно, бор существует в виде двух стабильных изотопов – ^{10}B и ^{11}B . В составе углерода также два изотопа – ^{12}C ($\sim 99\%$) и ^{13}C ($\sim 1\%$). Если предположить, что при анализе изотопного состава бора не было зафиксировано присутствия атомов с мас-

сой ^{12}C на уровне чувствительности изотопного масс-спектрометра ($\sim 10^{-9}$), то этот факт можно интерпретировать как ограничение на концентрацию аномальных атомов углерода $C(^{12}\text{C}) < 10^{-9}$. Тогда из (2) получаем ограничение на время жизни атома углерода, относительно принципа Паули

$$T > \frac{\tau \delta(^{12}\text{C})}{C(^{12}\text{C})} \frac{P(\text{C})}{P(\text{B})} = 10^{25} \text{ лет} \quad (3)$$

где $\delta(^{12}\text{C}) = 0,99$ — относительная доля изотопа ^{12}C в углероде. Получение этого результата стало возможным благодаря тому, что в природе отсутствует стабильный изотоп ^{12}B . Величина (3) может быть значительно улучшена, если использовать для счета аномальных атомов ^{12}C ускорительную масс-спектрометрию, позволяющую отличить ^{11}B от аномального ^{12}C на уровне $10^{-(14-15)}$. В этом случае можно достичь значения $T \sim 10^{31}$ лет. Дальнейшее увеличение чувствительности возможно, если провести предварительное обогащение бора более тяжелым изотопом.

Однако, отметим, что при увеличении чувствительности эксперимента может возникнуть проблема присутствия "нормального" углерода в боре. С этой точки зрения в экспериментах подобного рода выгоднее использовать пары элементов, сильно различающихся в химических свойствах. Лучшей кандидатурой, по-видимому, является пара фтор—неон. При довольно высокой величине отношения космических распространенностей ($P(\text{Ne})/P(\text{F}) = 0,65 \cdot 10^3$, ⁶), элементы этой пары обладают также "хорошим" изотопным соотношением: $^{19}\text{F} - 100\%$, $^{20}\text{Ne} - 90,92\%$, $^{21}\text{Ne} + ^{22}\text{Ne} = 9,08\%$, что делает возможным поиск аномальных атомов ^{20}Ne во втором.

Авторы благодарны В.Н.Гаврину и В.В.Кузьминову за полезные дискуссии, а также Г.Т.Зацепину, А.Ю.Игнатьеву, А.В.Копылову, В.А.Кузьмину, А.Ю.Смирнову и А.Е.Чудякову за участие в обсуждении работы на семинаре ОЛВЭНА ИЯИ АН СССР.

Литература

1. *Reines F., Sobel H.* Phys. Rev. Lett., 1974, 32, 954.
2. *Ковальчук Е., Поманский А., Смольников А.* Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 163.
3. *Gavrin V., Ignatiev A., Kuzmin V.* Phys. Lett., 1988, 206, 343.
4. Справочник. Таблицы физических величин. Под ред. И.Кикоина, М.: Атомиздат, 1976.
5. *Тейлер Р.* Происхождение химических элементов. М.: Мир, 1975.
6. *Cameron A.* Origin of Solar system. Ed., W.H.Hess. Introduction to Space. Gordon and Breach, N.Y., 1965, 553.
7. *Gove H., Elmore D., Ferraro R. et al.* Nucl. Instr. and Meth., 1980, 168, 425.