

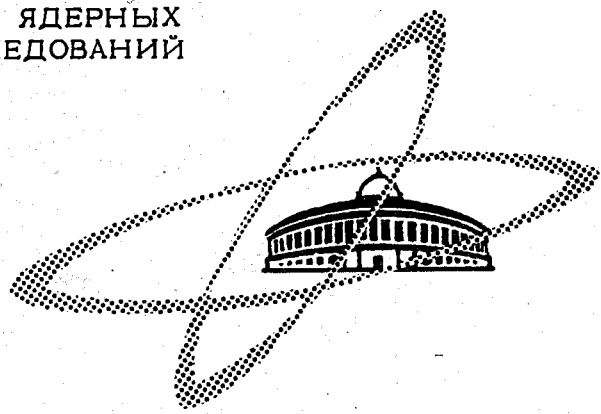
23/X-69

И-498

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P7 - 4688



В.И.Илющенко, Е.Д.Донец, В.А.Альперт

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТАНОВКИ ЭКСПЕРИМЕНТА
ПО ИЗМЕНЕНИЮ СКОРОСТИ
РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

1969

P7 - 4688

В.И.Илющенко, Е.Д.Донец, В.А.Альперт

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТАНОВКИ ЭКСПЕРИМЕНТА
ПО ИЗМЕНЕНИЮ СКОРОСТИ
РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Направлено в ЯФ

8010/2 мр

Объединенный институт
ядерных исследований
Библиотека

В в е д е н и е

С момента открытия явления радиоактивного распада атомных ядер вплоть до 1947 года предполагалось, что вероятность радиоактивных превращений λ является постоянной величиной и не зависит от изменения внешних физических и химических условий^{/1/}. Однако в 1947 году Э.Сегре^{/2/} и независимо от него Р.Додель^{/3/} предложили для изменения периода полураспада относительно электронного захвата использовать ионизацию атома ${}^7\text{Be}$ в различных химических соединениях. Аналогичный метод в работе^{/3/} предлагалось использовать также и для изменения вероятности конвертированных изомерных γ -переходов $\lambda = \lambda_{\gamma}(1 + \alpha)$, где λ_{γ} - вероятность радиационного перехода, λ - коэффициент внутренней конверсии γ -лучей.

В дальнейшем было показано, что многократная ионизация радиоактивных атомов вплоть до К-оболочки включительно обеспечивает возможность экспериментального обнаружения нового вида β -распада - рождения β -электронов в состоянии дискретного спектра^{/4/}. Этот процесс является обратным по отношению к электронному захвату и заключается в том, что возникающий при β -распаде электрон захватывается на одно из вакантных состояний в электронной оболочке распадающегося атома.

Результаты более детальных теоретических и экспериментальных исследований влияния электронной оболочки на скорость α - , β - и γ -распадов отражены в обзорах ^{5,6/}.

Во всех случаях исследованные радиоактивные вещества брались в твердой или жидкой фазах, что обеспечивало практически неограниченное время измерений. Наблюдаемое изменение скорости радиоактивного распада $\Delta \lambda$ было обусловлено не только изменением степени ионизации, но также и другими эффектами, в частности, агрегатным состоянием, особенностями кристаллической структуры и т.п.

На основании измеренных значений $\Delta \lambda$ были получены качественные оценки знака и величины изменения плотности атомных электронов вблизи соответствующих ядер. Число экспериментальных работ в этой области постоянно увеличивается, и в последнее время измерения $\Delta \lambda$ выполнены для следующих ядер: ¹³¹J ^{7/}, ⁶⁴Cu ^{8/}, ⁸⁹Zr ^{9/}, ⁹⁰Nb ^{10/}, ¹¹⁹Sn ^{11/}, ¹²⁵Te ^{12/} и ²³⁵U ^{13,14/}. Максимальная величина $\Delta \lambda / \lambda \approx (3-4)\%$.

Дальнейшее расширение диапазона изменения $\Delta \lambda$ и связанное с ним увеличение объема ядерно-спектроскопической информации зависит от возможности реализации следующих двух процессов: многократной ионизации атомов вплоть до K-оболочки включительно и удержания образующихся многозарядных ионов в области расположения детекторов радиоактивных излучений, сопровождающих распад исследуемых ядер.

Методы ионизации и удержания ионов

Ранее известные методы получения многозарядных ионов с помощью искрового разряда, высоковольтного дугового разряда и мощного лазерного луча имеют принципиальные ограничения по величине предельной зарядности и времени удержания ионов. Во всех случаях образующиеся в разряде

ионы находятся в плотной плазме, где предельная зарядность ограничивается процессами рекомбинации. Время удержания ионов в разряде составляет всего несколько мксек. Предельный заряд равен для ионов вольфрама +12, ионов углерода, азота и кислорода - +4, +5, +6 соответственно. Однако в последнее время интенсивно разрабатываются более эффективные методы ионизации, в частности, с применением мощного магнитосфокусированного пучка электронов, который проходит через откачанное до сверхвысокого вакуума пространство дрейфа /15/. На разработанной авторами установке ИЭЛ /16/ при давлении 2×10^{-8} торр, энергии электронов $E_e = 2,3$ кэВ и произведении плотности тока электронного пучка на время ионизации $j \tau = 2 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$, были получены ионы C^{+6} , N^{+7} , O^{+8} и Au^{+19} . При дальнейшем усовершенствовании ионный источник такого типа позволит получать ионы вплоть до голых ядер среднего веса.

Ионизация вплоть до К-оболочки включительно, как это имеет место в ИЭЛ, должна привести к изменению в широком диапазоне величины $\Delta\lambda/\lambda \leq 100\%$, т.е. в пределе можно ожидать полного подавления электронного захвата и внутренней конверсии γ -лучей.

Для наблюдений возникающих после ионизации физических явлений требуются эффективные методы удержания образующихся многозарядных ионов.

В качестве электростатической ионной ловушки можно применить ИЭЛ /15,16/, где в радиальном направлении ионы удерживаются потенциалом объемного заряда электронного пучка, а в аксиальном - внешними электрическими потенциалами. Время удержания составляет сейчас десятки мксек, а может быть доведено до нескольких сек. Концентрация ионов, удерживаемых в ИЭЛ, равна $10^{10} - 10^{13}$ ион/см³.

Для удержания ионов можно, по-видимому, применить также и магнитную ловушку, где удержание пучка электронов осуществлялось

с помощью двух магнитных пробок /17/. В ловушке этого типа при инжекции электронного пучка с энергией $E_e = 35$ кэВ и током $I = 0,1$ а в объеме с давлением $\geq 7 \cdot 10^{-10}$ торр для пробочного отношения $\leq 4,5$ и максимального магнитного поля 1500 гс, время удержания электронов составляло ≤ 410 сек.

Наконец, в качестве ионной ловушки можно применить систему, рассмотренную в работе /18/, где для удержания ионов с определенным отношением массы к заряду применяется комбинация из постоянного и переменного электрических полей с квадрупольной геометрией. Экспериментально найдено, что при давлении в системе около 1×10^{-10} торр одиночные ионы могут удерживаться в течение нескольких суток.

Схема эксперимента по исследованию влияния электронной оболочки на скорость радиоактивного распада

Как показано выше, в установке типа ИЭЛ одновременно реализуются функции ионизации и удержания исследуемых радиоактивных атомов.

Инжекция нейтральных атомов радиоактивного вещества в ионный источник производится в форме газа или паров металла. Остаток вещества в инжекторе является сильным источником радиоактивного фона, вследствие чего между инжектором и ионной ловушкой необходимо помещать экран. Но так как длина электронного пучка и в ИЭЛ равна 10–100 см, эффективное экранирование получается при размещении детектора для измерения скорости радиоактивного распада и инжектора рабочего вещества в противоположных концах ИЭЛ.

В процессе измерения радиоактивного излучения производится регистрация зарядовых спектров с помощью масс-спектрометра. Сравнительная интенсивность излучения, сопровождающего распад исследуемых

ядер, для ионов с разными зарядностями, можно определить не только $\Delta\lambda / \lambda$, но и отношения K/β^+ , коэффициенты внутренней конверсии a_K, a_L, \dots , их отношения и другие величины.

В качестве первых объектов исследования можно использовать ${}^7\text{Be}$ и ${}^{235\text{m}}\text{U}$.

${}^7\text{Be}$ испытывает электронный захват с $T_{1/2} = 53$ дня, который сопровождается испусканием γ -лучей с энергией 0,47 Мэв. Потенциалы ионизации бериллия равны 9,3; 18,2; 153,8 и 217,7 эв, соответственно.

${}^{135\text{m}}\text{U}$ является γ -изомером с $T_{1/2} = 26$ мин. Энергия перехода < 70 эв, поэтому внутренняя конверсия имеет место только на внешних P- и Q-оболочках. Потенциал ионизации, например, U^{+7} , равен 104 эв.

Расчёты показывают, что в ИЭЛ при $I/\lambda \leq 10^6$ сек можно наблюдать $\geq 10^4$ актов распада за один цикл измерения.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Р.А.Эрамжяна и Ю.А.Музычку за ценные дискуссии по затронутым в статье вопросам.

Л и т е р а т у р а

1. М.Кюри. Радиоактивность. ГИТТЛ, Москва, 1947 г.
2. E.Segree. Phys. Rev., 71, 274 (1947).

3. P. Daudel. *Rev. Sci.*, 85, 162 (1947).
4. P. Daudel, M. Jean, M. Lecoïn. *J. Phys., et Rad.*, 8, 238 (1947).
5. S. De Benedetti, F. de S. Barros, G. R. Hoy. *Ann. Rev. Nucl. Sci.*, 16, 31 (1966).
6. С. В. Стародубцев. Полное собрание научных трудов, 1. Изд-во "ФАН", Ташкент, 1969.
7. P. Kemeny. *Rev. Roum. Phys.*, 13, 485 (1968).
8. P. Kemeny. *Rev. Roum. Phys.*, 13, 901 (1968).
9. P. Huber, S. Gagneaux, H. Humberger. *Phys. Lett.*, 27B, 86 (1968).
10. W. Weirauch et al. *Z. Phys.*, 209, 289 (1968).
11. J. P. Bocquet et al. *Phys. Rev. Lett.*, 17, 809 (1966).
12. A. C. Malliaris, K. T. Bainbridge. *Phys. Rev.*, 149, 958 (1966).
13. N. Mevergnies. *Phys. Lett.*, 26B, 615 (1968).
14. S. Shimizu, H. Mazaki. *Phys. Rev.*, 148, 1161 (1966).
15. Е. Д. Донец, В. И. Илющенко, В. А. Альперт. Препринт ОИЯИ Р7-4124, Дубна 1968.
16. Е. Д. Донец, В. И. Илющенко, В. А. Альперт. Препринт ОИЯИ Р7-4469, Дубна, 1969.
17. А. Н. Дубинина, Л. Я. Трайнин, Б. В. Чириков. *ЖЭТФ*, 49, 373 (1965).
18. А. Н. Дубинина, Л. С. Красицкая. *Письма ЖЭТФ*, 5, 230, 1967.
19. P. H. Dawson, N. R. Whetten. *Vacuum Sci. and Technol.*, 5, 11 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел
27 августа 1969 года.