

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

18-85-579

Фам Нгок Чыонг, Г.М.Тер-Акопян, Фам Ван Ан,  
М.П.Иванов,

ПРИМЕНЕНИЕ ИСТОЧНИКА  $\alpha$ -ЧАСТИЦ  $^{210}\text{Po}$   
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ  
ЛЕГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОБРАЗЦАХ  
(АЛЮМИНИЙ, ФТОР, АЗОТ)

Направлено в журнал "Атомная энергия"

1985

## Введение

В работе /1/ была описана методика определения бериллия, основанная на регистрации совпадений  $\gamma$ -квантов ( $E = 4439$  кэВ) и нейтронов, испускаемых в реакции  ${}^9\text{Be}(\alpha, n)$ . Применение тонкого радиоактивного препарата  ${}^{210}\text{Po}$  в качестве источника  $\alpha$ -частиц с интенсивностью  $3 \cdot 10^8 \text{с}^{-1}$  в телесном угле  $2\pi$  позволило достигнуть чувствительности определения бериллия на уровне  $0,1$  мкг при анализе тонких, чистых препаратов (например, аэрозольных фильтров) или  $10^{-2}$  весовых % при анализе образцов сложного состава (геологических проб, минеральных фракций, продуктов химической переработки и др.)

Энергия  $\alpha$ -частиц  ${}^{210}\text{Po}$  достаточна для протекания реакции ( $\alpha, n$ ) на атомных ядрах многих легких элементов. Большой выход нейтронов под действием  $\alpha$ -частиц  ${}^{210}\text{Po}$  наблюдается кроме бериллия также для лития, бора, фтора, натрия, магния, алюминия /2/. Однако регистрация нейтронов без выделения их совпадений с характеристическими  $\gamma$ -квантами дает лишь ограниченные возможности для определения указанных элементов. Высокая чувствительность и избирательность анализа достигается при регистрации совпадений нейтронов с  $\gamma$ -квантами, испускаемыми из возбужденных состояний ядра, образующегося в результате реакции ( $\alpha, n$ ). Попытка наблюдения таких совпадений для В, F, Mg, Al, с применением сцинтилляторов из германата висмута (БГО), имеющих высокую эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией  $E_\gamma \geq 2$  МэВ, не дала положительного результата /1/. В области  $E_\gamma \geq 2$  МэВ не удалось выявить  $\gamma$ -линий, совпадающих с нейтронами.

Целью настоящей работы было изучение менее энергичной области спектра  $\gamma$ -излучения с применением германиевого детектора, имеющего высокое разрешение по сравнению со сцинтилляционным спектрометром. Изучение этой области спектра  $\gamma$ -излучения, возникающего под действием  $\alpha$ -частиц  ${}^{210}\text{Po}$ , представляло интерес для идентификации легких элементов не только по  $\gamma$ -квантам реакции ( $\alpha, n\gamma$ ), но и по характеристическим  $\gamma$ -квантам, испускаемым в результате других ядерных реакций.

## 1. Методика эксперимента

Нами использовался источник  ${}^{210}\text{Po}$  с начальной интенсивностью  $5,9 \cdot 10^8 \text{с}^{-1}$  в телесном угле  $2\pi$  стерadians. Препарат  ${}^{210}\text{Po}$  был нанесен на подложку из нержавеющей стали толщиной 4 мм в виде пятна диаметром 7 мм. Активный слой был покрыт слоем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  толщиной 270 мкг  $\times \text{см}^{-2}$  для предотвращения  $\alpha$ -активного загрязнения образцов и стенок камеры. Исследуемый образец помещался вместе с источником внутри камеры из нержавеющей стали. Расстояние между источником и образцом не превышало 1 мм, расстояние от слоя образца, облучаемого  $\alpha$ -частицами, до стенки камеры -  $0,2-0,5$  мм, толщина стенки - 1,0 мм. Воздух из камеры не откачивался, однако в некоторых случаях была предусмотрена возможность заполнения камеры другим газом.

Для регистрации  $\gamma$ -квантов применялись Ge(Li)-детекторы: одиночный детектор объемом  $43 \text{см}^3$  (разрешение 5 кэВ для  $\gamma$ -линии 1173 кэВ  ${}^{60}\text{Co}$ ) или два детектора объемом по  $28 \text{см}^3$  (разрешение 3,5 кэВ), удаленные друг от друга на расстояние 2 см. Применялся также детектор из ультрачистого Ge (толщина - 0,7 см, объем -  $2,1 \text{см}^3$ , разрешение 0,50 кэВ для  $\gamma$ -линии 84,17 кэВ  ${}^{231}\text{Th}$ ). Сбор и обработка данных осуществлялись при помощи электронной системы, включающей микропроцессор МИКАМ. Эта система подробно описана в работе /3/.

## 2. Гамма-кванты, испускаемые при взаимодействии $\alpha$ -частиц ${}^{210}\text{Po}$ с ядрами алюминия и фтора.

В таблице I приведены данные о спектрах  $\gamma$ -излучения, зарегистрированных в трех измерениях, в которых  $\alpha$ -частицами  ${}^{210}\text{Po}$  облучались толстые образцы нержавеющей стали,  $\text{PbF}_2$  и  $\text{Al}$ . Указано время измерения, энергия наблюдавшихся максимумов  $\gamma$ -спектра, число зарегистрированных импульсов и число  $\gamma$ -квантов, испускаемых в единицу времени, рассчитанное с учетом эффективности регистрации и приведенное к интенсивности  $\alpha$ -источника  ${}^{210}\text{Po}$   $3 \cdot 10^8 \text{с}^{-1}$  на телесный угол  $2\pi$  стерadians.

Результат опыта с образцом нержавеющей стали дает представление, в основном, о  $\gamma$ -квантах, испускаемых при взаимодействии  $\alpha$ -частиц с ядрами алюминия в защитной пленке  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , закрывающей препарат  ${}^{210}\text{Po}$ . Гамма-кванты с энергией 709 и 1454 кэВ испускаются из возбужденных состояний ядра  ${}^{30}\text{P}$ , образующегося в реакции  ${}^{27}\text{Al}(\alpha, n){}^{30}\text{P}$ . Этот вывод согласуется с данными работы /4/, авторы которой наблюдали  $\gamma$ -кванты с энергией 0,71, 1,45 и 1,97 МэВ при взаимодействии с  $\text{Al}$  пучка  $\alpha$ -частиц с энергией 5,9 МэВ.

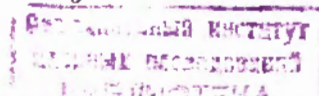


Таблица I

Данные об основных линиях  $\gamma$ -спектров, зарегистрированных при облучении  $\alpha$ -частичами полониевого источника мишенью из нержавеющей стали, алюминия и  $PbF_2$ . Интенсивность источника  $3 \cdot 10^8$   $\alpha$ -част. на 2 л. стерациан, энергия  $E_\alpha \leq 5$  МэВ. Ge(Li) детектор объемом 43 см<sup>3</sup>.

Энергия $\gamma$ -линии (кэВ) $\gamma$	Нержавеющая сталь		Алюминий		$PbF_2$	
	Число импульсов за 20 мин. $\left(\frac{\gamma \cdot \text{кэВ}}{10^6 \alpha \cdot \text{част.}}\right)$	Выход $\gamma$ -кв. на 4 л. стерациан. $\frac{2}{\text{за 20 мин.}}$	Число импульсов сов за 20 мин. $\frac{2}{\text{за 20 мин.}}$	Выход $\gamma$ -кв. на 4 л. стерациан. $\frac{2}{\text{за 20 мин.}}$	Число импульсов за 30 мин. $\left(\frac{\gamma \cdot \text{кэВ}}{10^6 \alpha \cdot \text{част.}}\right)$	Выход $\gamma$ -кв. на 4 л. стерациан. $\frac{2}{\text{за 30 мин.}}$
109,89					3273 $\pm$ 94 <sup>3</sup>	0,110 $\pm$ 0,003
197,15					2853 $\pm$ 77 <sup>3</sup>	0,410 $\pm$ 0,011
511,0	5056 $\pm$ 228	0,70 $\pm$ 0,04	6363 $\pm$ 306	0,89 $\pm$ 0,04	6842 $\pm$ 385	0,63 $\pm$ 0,04
709,0	307 $\pm$ 77	0,07 $\pm$ 0,02			671 $\pm$ 152	0,10 $\pm$ 0,02
803,1	176443 $\pm$ 439	44,6 $\pm$ 0,1	176122 $\pm$ 442	44,5 $\pm$ 0,1	261495 $\pm$ 536	44,0 $\pm$ 0,1
870,8	553 $\pm$ 40	0,14 $\pm$ 0,01	505 $\pm$ 39	0,09 $\pm$ 0,01	681 $\pm$ 62	0,13 $\pm$ 0,01
890,9					389 $\pm$ 39	0,050 $\pm$ 0,006
1262,7	550 $\pm$ 44	0,25 $\pm$ 0,02	633 $\pm$ 44	0,29 $\pm$ 0,02	407 $\pm$ 43	0,13 $\pm$ 0,01
1274,6					2378 $\pm$ 60	0,79 $\pm$ 0,02
1454,0	125 $\pm$ 32	0,06 $\pm$ 0,02	138 $\pm$ 26	0,07 $\pm$ 0,01	143 $\pm$ 25	0,05 $\pm$ 0,01
2235,5	1332 $\pm$ 42	1,16 $\pm$ 0,03	1668 $\pm$ 50	1,45 $\pm$ 0,04	2141 $\pm$ 64	1,23 $\pm$ 0,04
3498,2	129 $\pm$ 14	0,18 $\pm$ 0,02	124 $\pm$ 24	0,17 $\pm$ 0,03	136 $\pm$ 20	0,13 $\pm$ 0,02

1) Кроме линий, указанных в таблице, наблюдались также линии КХ-излучения свинца, испускаемые при  $\alpha$ -распаде  $^{210}Po$ .

2) Указаны только статистические ошибки, выход  $\gamma$ -квантов рассчитан без учета поправки на поглощение  $\gamma$ -квантов в конструкционных материалах.

3) Данные, полученные при измерениях с детектором из сверхчистого германия.

Использовавшийся в наших экспериментах источник  $^{210}Po$  с мишенью из нержавеющей стали испускал нейтроны, полный поток которых составлял  $\sim 160 \text{ с}^{-1} / I$ . Сопоставляя с этой величиной данные о интенсивности  $\gamma$ -квантов с энергией 709 и 1454 кэВ, можно заключить, что 30% величины потока нейтронов связано с реакцией  $^{27}Al(\alpha, n)^{30}P$ , в которой заселяются уровни  $^{30}P$  с энергией возбуждения 709 и 1454 кэВ. Полный поток нейтронов ( $\sim 160 \text{ с}^{-1}$ ) можно объяснить реакцией  $^{27}Al(\alpha, n)^{30}P$ , если предположить, что уровни 709 и 1454 кэВ заселяются с примерно одинаковой вероятностью ( $\sim 15\%$ ) и, кроме того, с вероятностью 70% в результате эмиссии нейтрона ядро  $^{30}P$  образуется в основном состоянии.

Линии  $\gamma$ -квантов с энергией 1263, 2236, 3498 кэВ (см. табл. I) испускаются из возбужденных состояний ядра  $^{30}Si$ , образующегося в реакции  $^{27}Al(\alpha, p)^{30}Si$ . Наиболее интенсивной является линия 2236 кэВ, соответствующая  $\gamma$ -переходам с первого возбужденного уровня  $^{30}Si$  (можно пренебречь небольшим вкладом, который дает в величину интенсивности этой линии  $\beta^+$ -переход ядра  $^{30}P$ , образующегося в реакции  $^{27}Al(\alpha, n)^{30}P$ ).

Как видно из табл. I, при замене мишени из нержавеющей стали на алюминий скорость счета  $\gamma$ -квантов, испускаемых в результате реакций  $^{27}Al(\alpha, n)$  и  $^{27}Al(\alpha, p)$ , не увеличивалась. Слабо возрастал при такой замене и поток нейтронов  $1/I$ . Следовательно, поперечное сечение указанных реакций имеет относительно небольшую величину при энергии  $\alpha$ -частиц  $E \leq 5$  МэВ в то время, как в диапазоне энергий 5,0–5,3 МэВ средняя величина поперечного сечения составляет  $\sim 130$  миллибарн для реакции  $^{27}Al(\alpha, n)$  и  $\sim 350$  миллибарн для каналов реакции  $^{27}Al(\alpha, p)$ , приводящих к образованию  $^{30}Si$  в первом возбужденном состоянии.

Реакции  $^{27}Al(\alpha, p)$  и  $^{27}Al(\alpha, n)$ , протекающие на  $\alpha$ -частичах  $^{210}Po$ , могут применяться для количественного определения содержания алюминия в тонких поверхностных слоях образцов. На основании наших данных можно оценить чувствительность такого анализа для случая  $\gamma$ -линии 2236 кэВ:  $\geq 10$  мкг Al или  $\geq 5\%$  по весу образца. Примерно такая же чувствительность может быть достигнута при регистрации совпадений нейтронов и  $\gamma$ -квантов с энергией 709 и 1454 кэВ. В этом случае скорость счета полезных событий будет меньше, чем при регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией 2236 кэВ, однако будет существенно легче выделять сигнал от Al на фоне реакций, которые могут протекать на ядрах других элементов, входящих в состав исследуемых образцов.

В спектре  $\gamma$ -излучения, возникающего под действием  $\alpha$ -частиц  $^{210}Po$ , для толстого образца  $PbF_2$  наблюдались линии, харак-

терные для реакций с ядрами  $^{19}\text{F}$  (см. табл. I). Линия 89I кэВ обусловлена  $\gamma$ -переходом в возбужденном ядре  $^{22}\text{Na}$ , которое образуется в реакции  $^{19}\text{F}(\alpha, n)^{22}\text{Na}$ . Реакцией  $^{19}\text{F}(\alpha, p)^{22}\text{Ne}$  и  $\gamma$ -переходом с первого возбужденного уровня ядра  $^{22}\text{Ne}$  объясняется появление линии 1275 кэВ. Обе эти линии могут быть использованы для количественного определения фтора в различных образцах, причем в случае  $\gamma$ -квантов с энергией 89I кэВ избирательность анализа может быть усилена регистрацией совпадений с нейтронами.

Для корректной оценки концентрационной чувствительности анализа необходимо проведение измерений с несколькими образцами, имеющими различное содержание фтора. Оценка минимального веса фтора, который может быть определен этим способом, требует также учета энергетической зависимости поперечных сечений ядерных реакций. Грубая оценка дает следующие величины: 0,2–1,0% и 10–15 мкг соответственно для минимальной концентрации и веса фтора.

На рис. I показан спектр  $\gamma$ -излучения, полученный с помощью детектора из ультрачистого германия при взаимодействии  $\alpha$ -частиц  $^{210}\text{Po}$  с  $\text{PbF}_2$ . В этом спектре хорошо видны две линии 109,85 и 197,05 кэВ, которые объясняются переходами двух возбужденных уровней ядра  $^{19}\text{F}$ . Эти уровни заселяются с относительно большой вероятностью в результате кулоновского возбуждения. Средняя величина поперечного сечения реакции при  $E_\alpha \leq 5$  МэВ составляет 3–5 миллибарн для переходов на каждый из указанных уровней. Предел чувствительности метода анализа фтора, основанного на регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией 109,85 и 197,05 кэВ, по нашим оценкам составляет 1–3%.

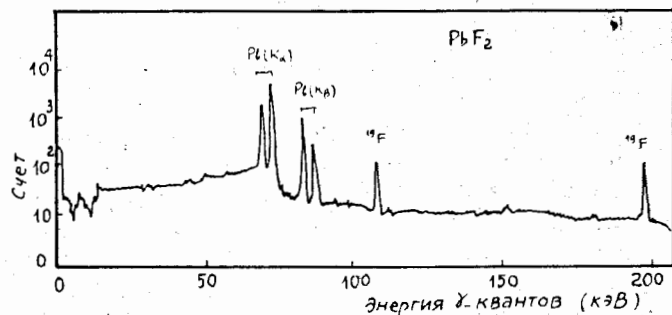


Рис. I. Спектр  $\gamma$ -излучения, полученный при облучении  $\alpha$ -частицами  $^{210}\text{Po}$  толстого образца  $\text{PbF}_2$ . Детектор из сверхчистого германия 2,1 см<sup>3</sup>. Видны две линии (109,9 кэВ и 197,2 кэВ) кулоновского возбуждения ядер фтора.

### 3. Методика определения азота по $\gamma$ -квантам с энергией 87I кэВ, испускаемым в реакции $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$

Линия в спектрах  $\gamma$ -излучения с энергией 87I кэВ, которая наблюдалась во всех измерениях (см. табл. I), появлялась в результате реакции  $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$  и отвечала переходу с первого возбужденного уровня в основное состояние ядра  $^{17}\text{O}$ . Реакция  $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$  является одной из первых наблюдавшихся ядерных реакций. Это эндоэнергетическая реакция с  $Q = -1,19$  МэВ. Она изучалась в нескольких работах [5,6] на пучках ускорителей в диапазоне  $8 < E_\alpha < 33,3$  МэВ. По данным [7–9] можно предположить, что в диапазоне энергий  $E_\alpha = 2,7$ – $4,7$  МэВ поперечное сечение этой реакции имеет резонансы при энергиях  $E_\alpha = 2,9, 3,1, 3,7, 4,0$  и  $4,1$  МэВ. Среднее значение поперечного сечения в этом диапазоне энергий  $\bar{\sigma} \approx 50$  миллибарн, причем при энергии  $E_\alpha = 4,7$  МэВ величина поперечного сечения близка к среднему значению в указанном диапазоне. При энергии  $\alpha$ -частиц  $E_\alpha \leq 5$  МэВ ядро  $^{17}\text{O}$  может быть образовано только в основном или в первом возбужденном состоянии (87I кэВ). По оценкам [6] вероятность заселения уровня 87I кэВ составляет в среднем  $\sim 10\%$  при энергии  $E_\alpha = 2,7$ – $3,9$  МэВ и возрастает по мере роста  $E_\alpha$ .

Цель наших экспериментов заключалась в определении чувствительности и точности метода анализа продовольственных продуктов на содержание азота белка, основанного на регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией 87I кэВ, испускаемых под действием  $\alpha$ -частиц  $^{210}\text{Po}$ . В связи с этим в одинаковых условиях регистрации определялась скорость счета  $\gamma$ -квантов для различных стандартных образцов, для которых содержание азота было заранее известно. Были выбраны образцы, близкие по структуре и химическому составу к зерну: стандартный образец порошка картофеля и пленка чистого нитрата целлюлозы ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_9\text{N}_2$ ) с концентрацией азота ( $1,37 \pm 0,01$ )% и 11,11% соответственно. Для получения промежуточных точек были приготовлены образцы, представлявшие чистую муку высшего сорта и смесь порошка нитрата целлюлозы и этой муки в пропорциях 1:6, 1:3, 1:2. Все образцы приготавливались для измерений в виде прессованных таблеток диаметром 10 мм, толщиной 1–1,5 мм. Зазор воздуха между исследуемой таблеткой и  $\alpha$ -источником  $^{210}\text{Po}$  составлял  $\sim 0,5$  мм. Для определения вклада в счет  $\gamma$ -линии 87I кэВ от азота, содержавшегося в этом слое, проводилось измерение  $\gamma$ -спектра с образцом меди. Все измерения проводились с двумя детекторами объемом по 28 см<sup>3</sup>, для чего камера с источником  $^{210}\text{Po}$  и исследуемым образцом помещалась в 20 мм зазоре между этими детекторами.

Содержание азота в муке определялось из результатов измерений всех перечисленных образцов по методу наименьших квадратов. Оно

Таблица 2

Данные определения азота по линии  $\gamma$ -излучения 87I кэВ  
(реакция  $^{14}\text{N}(\alpha, n)^{17}\text{O}$ )

№ пп	Образец	Время измерения (мин)	Содержание азота (%)	Число импульсов $\gamma$ -линии 87I кэВ	Число импульсов за 30 мин <sup>4)</sup>
1.	Медь I)	180	0	2325	388±19
2.	Стандартный образец картофеля	60	1,37	888	444±28
3.	Нитрат целлюлозы	30	11,1	707	707±50
4.	Мука высшего сорта	150	2,05 <sup>3)</sup>	2285	457±24
5.	Смесь муки и нитрата целлюлозы $\frac{1}{2} : \frac{1}{2}$ )	30	6,58 <sup>3)</sup>	618	618±48
6.	$\frac{2}{3} : \frac{1}{3}$ - " -	30	5,07 <sup>3)</sup>	529	529±48
7.	$\frac{5}{6} : \frac{1}{6}$ - " -	30	3,57 <sup>3)</sup>	478	478±47

1) Измерение проводилось для определения фона, вызванного реакцией  $^{14}\text{N}(\alpha, n)^{17}\text{O}$  на азоте, содержащемся в слое воздуха, заключенном между источником  $^{210}\text{Po}$  и образцом.

2) Указаны весовые доли муки и нитрата целлюлозы.

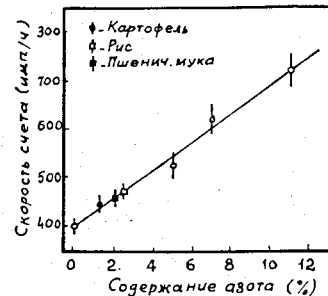
3) Данные, полученные из результатов наших измерений.

4) Указаны только статистические ошибки.

составило  $2,05 \pm 0,3\%$ . Данные всех измерений представлены в таблице 2, их результаты показаны на рис.2. На этом рисунке показан также результат определения содержания азота в рисе.

Как видно из данных табл.2 и рис.2, при длительных измерениях с  $\alpha$ -источником  $^{210}\text{Po}$  можно достигнуть достаточно высокой точности определения азота в зерне. Однако время измерения может быть сильно уменьшено при условии замены воздуха, находящегося в зазоре

рис.2. Экспериментальная зависимость скорости счета  $\gamma$ -линии 87I кэВ от концентрации азота в различных образцах (см.таблицу 2). На рисунке показан результат определения концентрации азота в образцах риса и пшеничной муки.



между  $\alpha$ -источником  $^{210}\text{Po}$  и изучаемым образцом, на какой-либо газ, не содержащий азота. В самом деле, наличие балластного слоя воздуха приводит к тому, что скорость счета  $\gamma$ -квантов для образца муки составляет всего  $\sim 20\%$  от фона, вызванного реакцией  $^{14}\text{N}(\alpha, n)$  на азоте, содержащемся в этом слое. Это вносит большую статистическую ошибку и случайные ошибки, обусловленные недостаточной воспроизводимостью расстояния между  $\alpha$ -источником и образцом.

Поэтому мы провели измерения выхода  $\gamma$ -квантов с энергией 87I кэВ при различных концентрациях азота в газе, заполнявшем камеру с источником  $^{210}\text{Po}$ . В этих измерениях камера заполнялась смесью воздуха и метана в различных пропорциях. Давление газа в камере равнялось 5–6 атм. При этом  $\alpha$ -частицы полностью тормозились в газе.

Результаты измерений выхода  $\gamma$ -квантов в зависимости от концентрации азота в газовой смеси приведены на рис.3. Видно, что при замене воздуха в камере на чистый метан можно уменьшить фон  $\gamma$ -линии

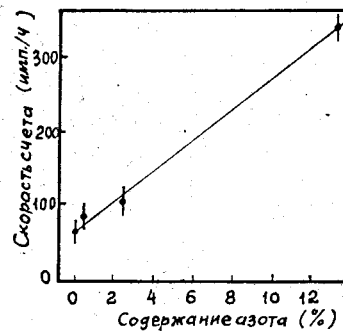


Рис.3. Зависимость скорости счета  $\gamma$ -линии 87I кэВ от концентрации азота в смеси воздуха и метана.

87I кэВ более, чем в 10 раз, по сравнению с тем фоном, который дан на рис.2 и в табл.2. Поэтому можно заключить, что при изучении образцов зерна с применением  $\alpha$ -источника  $^{210}\text{Po}$  с интенсивностью  $5 \cdot 10^8 \text{с}^{-1}$  в телесном угле  $2\pi$  стерадиан точность определения азота 10% будет достигаться в измерениях продолжительностью  $\sim 10$  мин.

Ранее уже разрабатывались ядерно-физические методы определения содержания азота в зерне на основе реакций

$^{14}\text{N}(n, 2n)^{13}\text{N}$  на нейтронном генераторе  $^{10}\text{B}, ^{11}\text{B}$  и  $^{14}\text{N}(\gamma, n)^{13}\text{N}$

на микротроне /12/. В этих работах была достигнута высокая скорость проведения анализов при высокой точности определения содержания азота. По сравнению с указанными методами определение азота с помощью реакции  $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$  имеет преимущества ввиду относительной доступности  $\alpha$ -источников  $^{210}\text{Po}$ . Метод анализа с помощью реакции  $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$  может быть также реализован на пучках ускорителей заряженных частиц, с помощью которых можно существенно увеличить его точность и производительность. Отметим также, что преимуществом этого метода определения азота является относительно высокая избирательность идентификации реакции  $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$  по  $\gamma$ -линии 871 кэВ. В самом деле, избирательность методов анализа, основанных на наблюдении аннигиляционного  $\gamma$ -излучения от  $\beta^+$ -распада  $^{13}\text{N}$ , оказывается не всегда удовлетворительной, так как источником фона для такого излучения могут служить  $^{18}\text{F}$  и  $^{30}\text{P}$ , которые образуются в реакциях  $(n, 2n)$  и  $(\gamma, n)$  на ядрах фтора и фосфора, содержащихся в пищевых продуктах.

Авторы выражают глубокую благодарность Г.Н.Флерову, который указал на практическое значение ядерно-физических методов определения азота и стимулировал проведение этой работы своим постоянным вниманием и полезными советами. Авторы благодарны В.Е.Жучко за полезные обсуждения и помощь, оказанную при проведении работы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Фам Нгок Чыонг, Тер-Акопьян Г.М., Кабаченко А.П., ОИЯИ Р15-85-411, Дубна, 1985.
2. Физика ядерных реакторов. Ред. И.А.Стенбок, пер. с английского, М., Атомиздат, 1964.
3. Белов А.Г. и др. ОИЯИ И8-80-841, Дубна, 1980.
4. Radford D.C., Poletti A.R., Nucl.Phys., V.A275, 1977, p.144.
5. Kasy E., Miller P.D., Kisser J.R., Phys.Rev., v.112, 1958, p. 547-552.
6. Herring D.P. et al., Phys.Rev., v.112, 1958, p.1210-1216.
7. Schier W.A., Beber J.D., Phys.Rev., v.181, 1969, p.1371-1379.
8. Зеленская Н.С. и др. Ядерная физика, т.II, 1970, с.722.
9. Rose F.A., Nucl.Phys., v.A124, 1969, p.305-319.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 июля 1985 года

Фам Нгок Чыонг и др.

18-85-579

Применение источника  $\alpha$ -частиц  $^{210}\text{Po}$  для определения содержания легких элементов в образцах /алюминий, фтор, азот/

Исследованы спектры  $\gamma$ -излучения, возникающего в реакциях  $\alpha$ -частиц источника  $^{210}\text{Po}$  с ядрами легких элементов (Al, F, N). Даны оценки чувствительности методов обнаружения алюминия по  $\gamma$ -линиям реакций  $^{27}\text{Al}(\alpha, n)^{30}\text{P}$  и  $^{27}\text{Al}(\alpha, p)^{30}\text{Si} \geq 10$  мкг по весу или  $\geq 5\%$  по концентрации и фтора - по реакции  $^{19}\text{F}(\alpha, p)^{22}\text{Ne} \geq 10-15$  мкг по весу или 0,2-1,0% по концентрации. Проведены эксперименты с целью разработки методики определения азота в пищевых продуктах по  $\gamma$ -линии 871 кэВ, возникающей в результате реакции  $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$ . Показано, что интенсивности  $\alpha$ -источника  $^{210}\text{Po} 5 \cdot 10^8 \text{ c}^{-1}$  в телесном угле  $2\pi$  10%-ная точность измерения концентрации азота может быть достигнута в измерении продолжительностью 10 мин при величине концентрации 2%.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Pham Ngoc Chuong et al.

18-85-579

Application of  $^{210}\text{Po}$   $\alpha$ -Particle Source to Determine Light Elements in Samples (Al, F, N)

The spectra of  $\gamma$ -rays emitted in the reaction of  $^{210}\text{Po}$   $\alpha$ -particles with Al, F, N nuclei were studied. The sensitivity of  $\geq 10$  ug in absolute mass value or 5% in concentration was evaluated for aluminum analysis by the use of gamma lines from the  $^{27}\text{Al}(\alpha, n)^{30}\text{P}$  and  $^{27}\text{Al}(\alpha, p)^{30}\text{Si}$  reactions. The limits of sensitivity for fluorine analysis by the use of gamma lines from the  $^{19}\text{F}(\alpha, p)^{22}\text{Ne}$  reaction are  $\geq 10-15$  ug in absolute mass value or 0.2-1.0% in concentration. The experiments were performed aimed at development of the method of nitrogen concentration determination in food samples by detecting of 871 keV  $\gamma$ -rays emitted in  $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$  reaction. It was shown that, by the use of  $5 \cdot 10^8$   $\alpha$ -part./ $2\pi$  sr  $^{210}\text{Po}$  source, 10% accuracy of the result can be obtained in 10 min. measurement for 2% value of the nitrogen concentration.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985