

$R_2 = 1590$  см и  $R_3 = 1300$  см соответственно, что позволяет проводить исследования как на прямом, так и на отклоненных пучках.

При работе с неполяризованными ионами на рабочей мишени магнитного спектрографа с широкой дорожкой [6] ( $\alpha_2 = 85^\circ$ ) получен ток 0,9 мка при диафрагме диаметром 3 мм, а на рабочей мишени выхода ( $\alpha_3 = 120^\circ$ ) — ток 0,5 мка при диафрагме диаметром 1 мм [7].

Для стабилизации ускоряющего напряжения используется коронирующий триод с датчиком от щелевого прибора. Коронирующий одногильчатый триод проверен в работе при измерениях ширины ядерных резонансов в реакциях  $Al^{27}(p, \gamma)Si^{28}$  и  $Ne^{22}(p, \gamma)Na^{23}$  [8]. В измерениях обеспечивается моноэнергетичность ускоренных ионов до значения 0,05%. Определение энергии ускоренных ионов в отклоненных пучках производится с помощью ядерного магнитного резонанса. Ошибка в определении энергии ускоренных ионов  $\pm 0,1\%$ .

Выполненные исследования на перезарядном ускорителе по изучению поляризации дейтоного пучка по угловому распределению протонов из реакции  $He^3(\alpha, p)He^4$  [9] показывают хорошую стабильность поляризации ускоренного пучка, что позволяет проводить исследования ядерных взаимодействий, зависящих от спиновых состояний.

Авторы выражают благодарность А. П. Ключареву за постоянный интерес и обсуждение предварительных результатов работы.

Поступило в Редакцию 23/VIII 1968 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. К. Вальтер и др. Электростатические генераторы. Сб. ст. под редакцией А. К. Вальтера. М., Атомиздат, 1959, стр. 193.
2. Я. М. Фогель, А. Г. Коваль, А. Д. Тимофеев. ЖТФ, XXIX, 1381 (1959).
3. Р. П. Слабоспичкий и др. «Изв. АН СССР. Сер. физ.» 32, 134 (198).
4. И. Я. Малахов, А. С. Дейнеко, Г. Б. Андреев. «Приборы и техн. эксперим.», 3, 218 (1966).
5. P. Erdt, C. Van Der Zeun. Nucl. Phys. 34, № 1, 115 (1962).
6. А. К. Вальтер и др. «Приборы и техн. эксперим.», 4, 216 (1968).
7. Л. И. Пивовар, Ю. З. Левченко. ЖЭТФ, 52, 42 (1967).
8. Г. Б. Андреев и др. «Изв. АН СССР. Сер. физ.», XXX, № 8, 1396 (1966).
9. Р. П. Слабоспичкий и др. «Ядерная физика», 6, 992 (1967).

## Применение нейтронного активационного анализа

### для определения содержания флюорита в рудничных вагонетках

В. И. ПРОКОПЧИК, А. П. БУШКОВ, К. Г. БЕРНАДСКИЙ

УДК 543.53:539.172.4

В настоящее время в практике геологоразведочных работ и при эксплуатации месторождений большое значение приобретает нейтронный активационный метод определения флюорита ( $CaF_2$ ) в рудах, основанный на регистрации жесткого  $\gamma$ -излучения (энергия  $\gamma$ -квантов 6,43 и 7,11 Мэв) короткоживущего радиоактивного изотопа  $N^{16}$  ( $T_{1/2} = 7,5$  сек), образующегося в результате ядерной реакции  $F^{19}(n, \alpha)N^{16}$  на быстрых нейтронах Po — Be-источника [1—3].

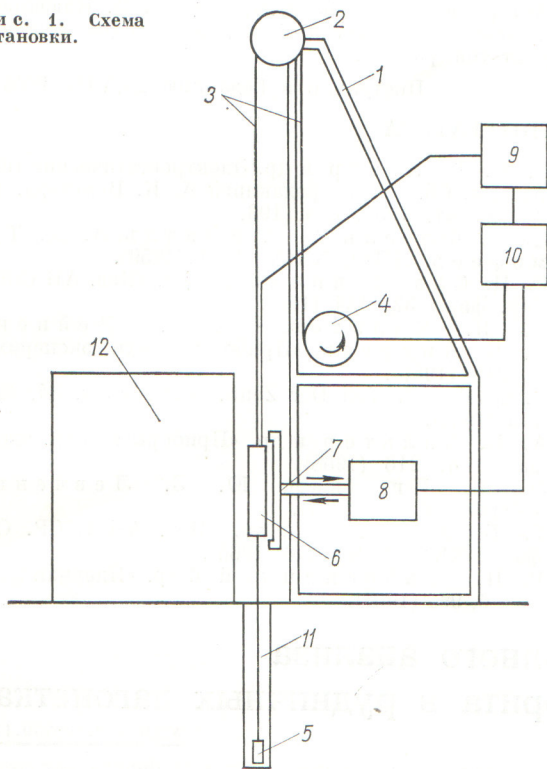
Для определения содержания флюорита в рудах в естественном залегании проводится активационный каротаж скважин и освоение открытых выработок; кроме того, в лабораторных условиях анализируются пробы руд и продуктов обогащения. Однако иногда возникает необходимость экспрессного определения содержания флюорита в руде, находящейся в больших емкостях, например в вагонетках. Для решения этой задачи была разработана установка, схема которой представлена на рис. 1.

Установка состоит из металлической стойки 1 с блоком 2, через который проходит стальной трос 3. Один конец троса укреплен на барабане 4, приводимом в движение электродвигателем, на втором конце троса закреплен источник нейтронов 5 и детектор излучения 6 (расстояние между ними — 2 м). На этой же стойке помещается толкатель 7, управляемый электромагнитом 8. В комплект установки входят также блоки регистрирующей аппаратуры 9 и блок автоматического управления работой 10. Установка работает следующим образом. В исходном положении источник нейтронов находится в металлической трубе 11, закопанной в грунт и заполненной водой для защиты от излучения. В момент, когда вагонетка с рудой 12 останавливается возле установки, включается электродвигатель и трос, накручиваясь на бара-

бан, поднимает источник до уровня центра вагонетки. Затем толкатель прижимает источник к стенке вагонетки и в течение заданного времени (60 сек) происходит активация руды. После окончания активации толкатель отходит, включается электродвигатель, который, вращаясь в обратную сторону, быстро (примерно за 2 сек) опускает источник в трубу с водой. На место источника помещается детектор излучения, который тем же толкателем прижимается к стенке вагонетки. В этот момент начинается регистрация  $\gamma$ -излучения наведенной активности. После окончания измерения (время измерения также 60 сек) толкатель отходит и установка возвращается в исходное состояние.

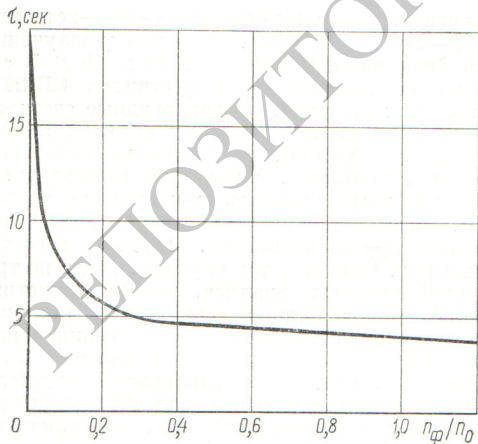
Для активации используется Po — Be-источник мощностью  $1-2 \cdot 10^7$  нейтр/сек. Детектор  $\gamma$ -излучения выполнен в виде кассеты размером  $30 \times 19 \times 5$  см, состоящей из 17 газоразрядных счетчиков СИ-22Г, размещенных в два ряда. Газоразрядные счетчики по некоторым показателям уступают сцинтилляционным с кристаллом NaI(Tl). Сцинтилляционные счетчики позволяют, например, с помощью амплитудного дискриминатора регистрировать  $\gamma$ -излучение только изотопа  $N^{16}$ , избегаясь при этом от помех, создаваемых активацией других элементов, входящих в состав флюоритовых руд. Однако в тех случаях, когда не требуется высокой точности анализа, вполне допустимо использование газоразрядных счетчиков, так как различие в периодах полураспада образующихся изотопов позволяет уменьшить мешающее действие большинства элементов. Так, результаты опытов свидетельствуют о том, что в этом случае вклад активации других элементов не превышает величины, эквивалентной содержанию 3—5% флюорита. Применение газоразрядных счетчиков оправдывается также большой простотой и надежностью регистрирующей аппаратуры.

Р и с. 1. Схема установки.



Экспериментальные работы проводились на моделях. Для анализа использовалась однородная, измельченная до 30 мм руда, содержащая 46%  $\text{CaF}_2$ . В результате измерений в точке на уровне среднего слоя руды, которой заполнен стальной ящик, имеющий толщину стенки 10 мм и размеры  $1,5 \times 1,5 \times 1$  м, получена чувствительность экспресс-анализа, равная 2 *млн*/30 *сек* на 1%  $\text{CaF}_2$  при мощности источника  $10^6$  *нейтр*/сек. Величина фона эквивалентна  $\sim 30\%$   $\text{CaF}_2$ .

Оценка представительности экспресс-анализа руд в вагонетках, т. е. определение объема руды, обуслов-



Р и с. 2. Зависимость оптимального значения постоянной времени от величины отношения  $n_\phi/n_0$ .

ливающего 90—95% регистрируемого эффекта, проведена по результатам опытов с набором моделей. С этой целью различные по объему емкости с рудой помещались в ящик вблизи места обробования, остальное пространство ящика заполнялось кварцевым песком. При выбранной геометрии измерений результаты анализа соответствуют содержанию флюорита в объеме  $\sim 0,015 \text{ м}^3$ , в котором содержится 25—30 кг руды.

Опыты на однородных дробленых рудах свидетельствуют о хорошей воспроизводимости результатов анализов. Погрешности анализов неоднородной и недробленой руды (крупность кусков до 150 мм) несколько больше, однако даже в этом случае величина относительной среднеквадратичной погрешности единичного анализа составляет примерно  $\pm 15\%$ .

Следует отметить, что при проведении экспресс-анализов руд в производственных условиях регистрация показаний удобнее производить с помощью линейного интенсификатора с последующей записью результатов на ленте самопишущего прибора.

Для определения содержания флюорита используется максимальная величина выходного сигнала. Значение фона принимается равным величине сигнала по истечении 40—60 *сек* после начала измерения, так как к этому времени остается менее 2% начальной активности  $\text{N}^{16}$ . Значение относительной погрешности измерения выходного сигнала в этом случае определяется следующим выражением:

$$\delta = \frac{1 + \lambda\tau}{e^{-\lambda t} (1 - e^{-t(\lambda + \frac{1}{\tau})}) \sqrt{n_0\tau}} \times \sqrt{\frac{e^{-\lambda t}}{2 + \lambda\tau} (1 - e^{-t(\lambda + \frac{2}{\tau})}) + \frac{n_\phi}{n_0}}$$

где  $\lambda$  — постоянная распада;  $n_0$  — скорость счета в момент  $t = 0$ ;  $n_\phi$  — скорость счета фона.

Анализ этого выражения позволяет определить оптимальное значение постоянной времени  $\tau$  (при котором результаты измерений имеют минимальную погрешность) в зависимости от величины  $n_\phi/n_0$  (рис. 2). Поскольку обычно при определении содержания флюорита в вагонетках  $\frac{n_\phi}{n_0} < 0,6$ , то величина постоянной

времени регистрирующей аппаратуры должна быть не менее 5 *сек*.

В настоящее время установка для экспресс-анализа руд в вагонетках используется на одном из месторождений флюорита. Несмотря на то что анализу подвергается примерно 2% от общей массы руды, находящейся в вагонетке, экспресс-анализ обеспечивает определение содержания флюорита с достаточной точностью.

По данным экспресс-анализа руд в вагонетках, отсортировывается примерно 20—25% руды с содержанием флюорита ниже кондиционного. Относительная среднеквадратичная погрешность определения содержания флюорита, вычисленная при сопоставлении результатов экспресс-анализов руд с данными переработки на обогатительной фабрике, составляет за год величину 3,6% при отклонениях в отдельные месяцы до 7%.

Авторы благодарят В. Л. Шашкина за руководство работой, В. З. Петриенко, проводившего работы в производственных условиях, а также В. В. Ползунова за помощь при проведении опытных работ.

Поступило в Редакцию 23/VIII 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Бушков, В. И. Прокопчик. «Атомная энергия», 21, 215 (1966).
2. В. И. Прокопчик, Т. И. Субботина. Там же, стр. 415.
3. А. И. Котова, И. И. Широкий. В сб. «Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья». Вып. 2 (4). Чита, 1967, стр. 322.

## Стабилизация амплитуд радиальных бетатронных колебаний при прохождении через резонанс $Q_r = 2/3$ в синхротроне

О. Ф. КУЛИКОВ, Ю. Н. МЕТАЛЬНИКОВ, К. Н. ШОРИН

УДК 621.384.01

В ускорителях и накопителях со слабой фокусирующей раскочкой радиальных бетатронных колебаний при резонансе  $Q_r = 2/3$  может вызвать ряд нежелательных явлений (изменение формы сечения пучка, потери интенсивности и др. [1]). Первичная причина увеличения амплитуд колебаний при этом резонансе [2, 3] — присутствие в управляющем магнитном поле вторых (азимутальных) гармоник величин  $H_z, n, n' = \frac{dn(r, \theta)}{dr}$ , причем вторая гармоника величины  $n'$  является доминирующим компонентом фактора раскочки. Характер связи между отдельными компонентами возмущения [3] позволяет, искусственно вводя в магнитное поле вторую гармонику только величины  $dn/dr$  (с соответствующими амплитудой и фазой), свести к нулю весь фактор раскочки и обеспечить прохождение через резонанс без увеличения амплитуд радиальных колебаний.

Возможности подобной методики были экспериментально исследованы на синхротроне-рейстрекке Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР с максимальной энергией 680 Мэв. Для создания в управляющем магнитном поле соответствующего возмущения была использована имеющаяся в ускорителе полюсная обмотка коррекции зависимости  $n(r)$  в начале цикла ускорения. Радиальное распределение поля  $\Delta H_z$ , создаваемого обмоткой, оказалось близким к требуемому параболическому. Нужная азимутальная зависимость вносимого искажения была обеспечена чередованием направления токов в витках соседних квадрантов. Для компенсации фактора раскочки в обмотку подавались импульсы тока  $I_H$ , синхронизованные с моментом искусственно вызываемого прохождения через резонанс  $Q_r = 2/3$  [4].

Была исследована зависимость потерь интенсивности при резонансе от величины и знака тока  $I_H$  (в процессе синхронного ускорения). Одновременно проводилась киносъемка поперечного сечения ускоряемого пучка.

В естественных условиях работы ускорителя (т. е. без внесения дополнительного поля  $\Delta H_z$ ) потери интенсивности  $J_e$  в сумме для двух последовательных проходов через резонанс составили  $\sim 27\%$  (рис. 1). Форма сечения при прохождении через резонанс в этом режиме значительно искажается (рис. 2, а). При величине тока  $I_H = +2,0 a$  (далее это значение тока обозначено  $I_K$ ) потери имеют близкий к нулю ( $< 0,4\%$ ) минимум (см. рис. 1), соответствующая кинограмма (см. рис. 2, б) показывает отсутствие заметной раскочки радиальных колебаний, что свидетельствует о практически полной компенсации второй гармоники величины  $n'$ , присутствующей в магнитном поле ускорителя. В то же время при больших значениях тока  $I_H$  любого знака потери могли быть доведены до 100% (см. рис. 1 и 2, в). На рис. 3 приведены результаты

фотометрического анализа кинограмм сечения пучка при разных (в пределах кривой рис. 1) токах  $I_H$ . Видно, что максимальные амплитуды  $a_0$  колебаний

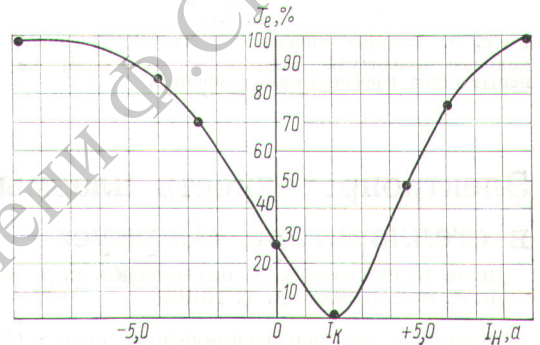


Рис. 1. Влияние поля  $\Delta H_z$  на потери интенсивности при резонансе.

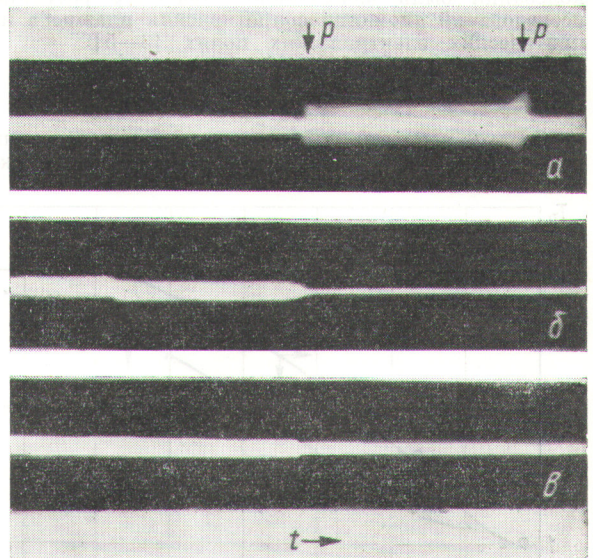


Рис. 2. Кинограммы радиального размера пучка (снято без кадрирующей призмы в кинокамере):

а — при прохождении через резонанс (отмечено буквой  $p$ ) в естественных условиях; б — при токе  $|I_H| > |I_K|$ ; в — при токе  $I_H = I_K$  (стабилизация). Период следования меток времени 2 мсек.