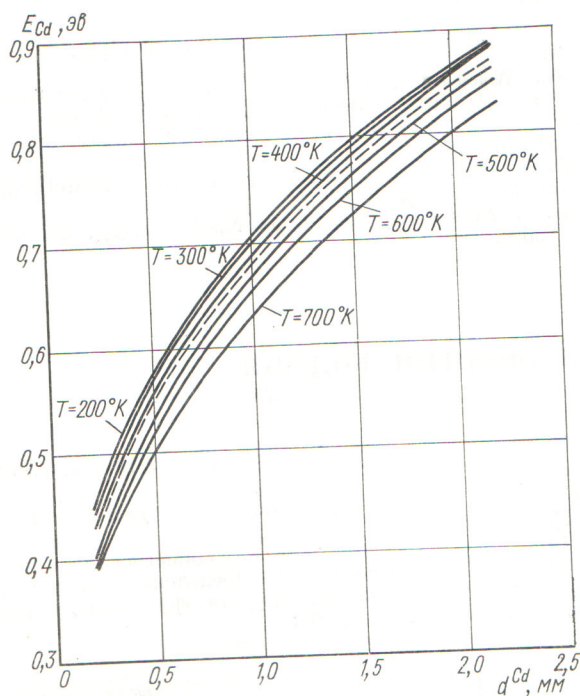




Зависимость E_{Cd} от d_{Cd} для тонкого d_{Cd}/v -детектора при различных температурах нейтронов в бериллии (—) и D_2O (---).

с образцом, заключенным в кадмиевый чехол, поэтому уменьшение температуры нейтронов с 300 до 200° К слабо сказывается на E_{Cd} .

Кривые $E_{Cd} = f(d_{Cd})$ при 100 и 200° К почти полностью совпадают. Отличие (~ 1%) заметно лишь при

$d_{Cd} < 0,5$ мм и обусловлено пропусканием нейтронов с энергией, меньшей энергии кадмиевого резонанса.

Следует отметить, что отличие в значениях E_{Cd} для спектров нейтронов с температурами 200 и 700° К при $d_{Cd} = 0,5$ мм составляет ~ 15%, поэтому при активационных измерениях этот эффект желательно учитывать. Следует также учитывать, что если $\Phi(E)$ описывается соотношением (1) с $T > 750$ ° К, то представление спектра потока нейтронов, прошедшего через кадмиевый чехол, в виде спектра $\sim 1/E$ с резким падением до 0 при $E = E_{Cd}$ не имеет достаточных оснований, так как в этом случае должно быть заметным пропускание кадмием нейтронов из максвелловской части спектра.

Влияние вещества замедлителя, т. е. особенностей переходной части спектра нейтронов, на E_{Cd} иллюстрируется приведенной на рисунке для сравнения зависимостью $E_{Cd} = f(d_{Cd})_{T=300^\circ K}$, рассчитанной по функции переходной области для тяжелой воды [1]. Общий вид зависимости $E_{Cd} = f(d_{Cd})_{T=300^\circ K}$ для D_2O и бериллия совпадает достаточно хорошо. Отличие объясняется разницей в функциях $\Delta(E/kT)$, использованных для расчета E_{Cd} .

Поступило в Редакцию 5/VII 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Беккурц, К. Виртц. Нейтронная физика. М., Атомиздат, 1968.
2. C. Westcott. Effective Cross Sections for Well-Moderated Thermal Reactor Spectra. AECL-4101 (1960).
3. В. Н. Богомолов, Л. А. Чернов. «Атомная энергия», 30, 543 (1971).
4. M. Coats. Neutron Time of Flight Methods. Brussels, Euratom, 1961.
5. H. Brown, T. Connolly. Nucl. Sci. Engng 24, 6 (1966).
6. Бюллетень информационного центра по ядерным данным. Вып. III (приложение). М., Атомиздат, 1967.

Литиевые сцинтиллирующие стекла для регистрации нейтронов

Н. Ф. ОРЛОВ, Н. З. АНДРЕЕВА, В. Ф. ГЕРАСИМОВ, В. С. ЗЕНКЕВИЧ, С. С. МОСКАЛЕВ

УДК 539.1.074.83

В нейтронной спектрометрии по методу времени пролета используются литиевые сцинтиллирующие стекла [1, 2].

С 1960 г. в Государственном оптическом институте были начаты работы по обработке промышленной технологии варки сцинтиллирующих стекол с литием. В настоящей работе изложены результаты исследования характеристик таких стекол.

Для идеального сцинтиллятора, процессы в котором носят чисто статистический характер, и идеального ФЭУ с большим коэффициентом умножения относительная квадратичная дисперсия амплитуды импульсов на выходе ФЭУ определяется соотношением [3] $\Delta^2 = \frac{M}{A_0}$,

где A_0 — средняя амплитуда; M — средний коэффициент умножения. В реальном случае систематические флуктуации, вызванные неоднородностью поглощения света в кристалле, неравномерным распределением активатора вдоль треков частиц, неравномерной чувстви-

тельностью фотокатода и т. п., приводят к отклонению от этой закономерности. Величину этого отклонения можно использовать для оценки качества сцинтиллятора (или сцинтиллятора и ФЭУ). Для этого значения A_0 (или Δ) определяются из измерений амплитудных распределений импульсов сцинтилляционного детектора при регистрации исследуемыми образцами стекол тепловых нейтронов в стандартной геометрии.

Для уменьшения времени установления стабильного режима ФЭУ и получения устойчиво воспроизводимых результатов в момент включения ФЭУ на него временно подавалось напряжение, превышающее рабочее на 1—1,5 кВ. В этих условиях разброс амплитуд импульсов при многократных включениях не превышал ~ 3%.

Амплитудные спектры измерялись с помощью ФЭУ-49. Образцы стекол помещались в контейнеры из тефлона, который являлся отражателем света. Применение тефлона уменьшает амплитуду сигнала по сравнению с окисью магния не более чем на 10%

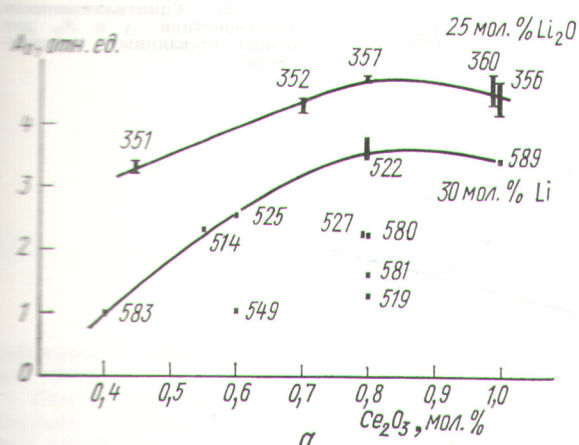
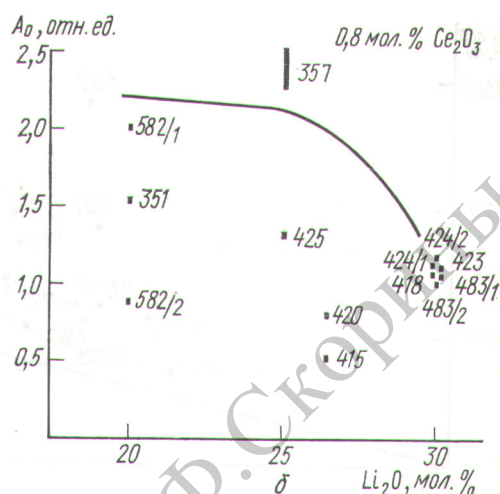


Рис. 1. Зависимость средней амплитуды сцинтилляций при излучении нейтрона в стекле от концентрации церия (α) и лития (β).

Были исследованы конверсионная эффективность сцинтилляторов и их прозрачность к собственному излучению. Наиболее важной компонентой стекла, влияющей на его сцинтилляционные характеристики, является церий. На рис. 1, а показана зависимость величины амплитуды A_0 от содержания церия в стекле (плавные кривые проведены по лучшим образцам с данной концентрацией Li_2O ; цифрами обозначены номера образцов стекла). Оптимальная концентрация Ce_2O_3 при данной технологии варки составляет $\sim 0,8$ мол.%. Стекла с не полностью восстановленным до трехвалентного состояния церием, а также перевосстановленные стекла окрашены и обладают плохим пропусканием.

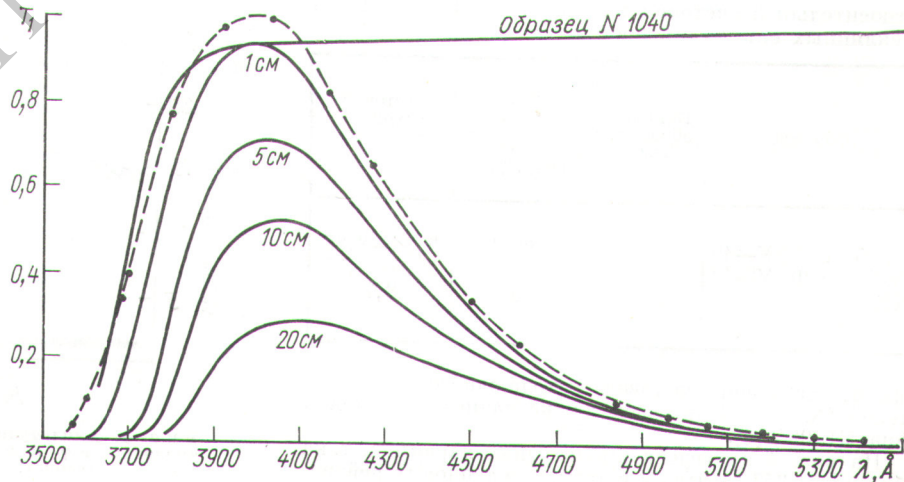
Экспериментальные результаты измерения прозрачности стекла подтверждают, что четырехвалентный церий (Ce^{4+}) в сильной степени способен выполнять функцию тушащей примеси подобно ионам железа. Помимо этого, он оказывает неблагоприятное влияние на люминесценцию трехвалентного церия своим интенсивным поглощением в ультрафиолетовой области спектра.



Важной характеристикой сцинтиллирующих стекол является также содержание лития. Изменение концентрации окиси лития в пределах 10—30 мол.%, слабо влияет на сцинтилляционные характеристики стекла (рис. 1, б). Некоторое ухудшение сцинтилляционных характеристик стекол, содержащих 30 мол.% и более, характеризует не влияние этого окисла, а свидетельствуют прежде всего о недостаточности восстановления церия. (Трудность перевода церия в трехвалентную форму возрастает с увеличением щелочности стекла — содержания Li_2O и MgO .) Разной степенью восстановления церия обусловлен и разброс характеристик стекол с одинаковым содержанием Li_2O и Ce_2O_3 . Влияние других компонент на сцинтилляционные свойства стекол менее существенно.

Прозрачность стекол к собственному излучению можно рассчитать по кривым спектрального пропускания и эмиссионного спектра. На рис. 2 приведена кривая зависимости от длины волны коэффициента спектрального пропускания T_1 (с учетом потерь на отражение от граней образца) образца № 1040 и трансформации спектра излучения в стекле для толщин сцин-

Рис. 2. Эмиссионный спектр, измеренный образцами сцинтиллирующего стекла различной толщины, и пропускание образца № 1040 толщиной 1 см.



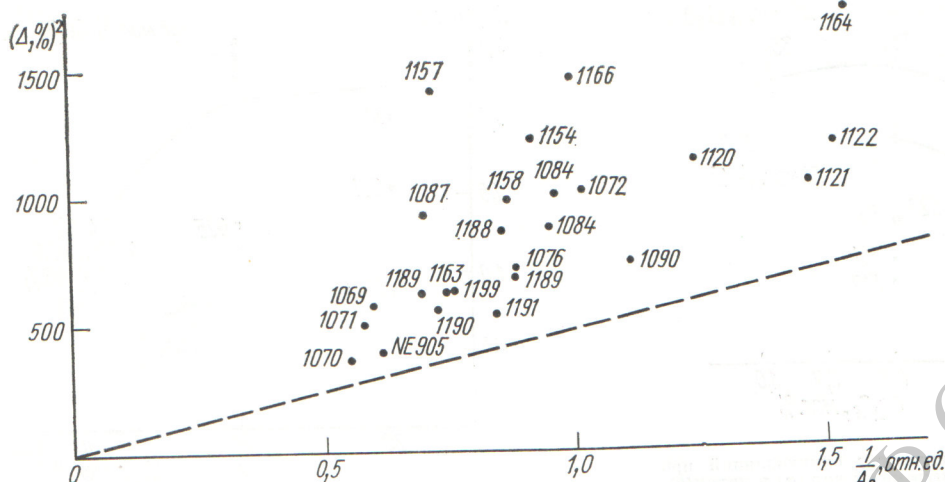


Рис. 3. Сцинтилляционные характеристики Δ и A_0 для группы стеклянных сцинтилляторов.

тиллятора 1, 5, 10 и 20 см. Пунктиром нанесен спектр люминесценции поверхностного слоя сцинтиллятора. Из сравнения площадей, лежащих под отдельными кривыми, можно подсчитать, что потеря света люминесценции для этих толщин составляет примерно 11, 29, 52 и 71% соответственно, а длина поглощения (ослабление в e раз) 15–17 см.

На рис. 3 приведены результаты исследования сцинтилляционных характеристик A_0 и Δ для группы стеклянных сцинтилляторов с Li^6 диаметром 70 мм и толщиной 10 мм. Прямая, проходящая через начало координат, получена с полупроводниковым генератором света. Неравномерность чувствительности фотокатода в данных измерениях была оценена $\sim 10\%$. Весь остальной разброс характеристик образцов связан с неконтролируемыми вариациями условий их варки. Лучшие по своим сцинтилляционным характеристикам и прозрачности образцы могут вполне конкурировать с аналогичными зарубежными стеклами [2, 4].

Показателем качества сцинтиллятора является относительный световой выход. В табл. 1 приведены значе-

нов и γ -источником Co^{60} (RC выходной цепи ФЭУ ~ 3 мксек). Состав шихты, из которой сварено стекло: Li_2O 28 мол.%, Li^6 5,9 вес.%, MgO 20 мол.%, SiO_2 55 мол.%, Ce_2O_3 0,8 мол.%. Положение нейтронного пика, выраженное в эквивалентной энергии электронов, для лучших стекол равно 1,55 Мэв и, по-видимому, слабо зависит от качества стекла.

Чувствительность к γ -квантам является одним из существенных недостатков стеклянных сцинтилляторов. Для оценки чувствительности производился счет γ -квантов в амплитудном «окне» дифференциального дискриминатора, вырезавшем $\sim 70\%$ интенсивности нейтронной линии. В табл. 2 приведены результаты этих измерений.

Другим источником фона служит собственный фон стекла, связанный с радиоактивными загрязнениями, в основном торием [2]. Интенсивность фоновых импульсов, зарегистрированных стеклом, в состав которого входит коммерческий церий, равна $11 \cdot 10^{-3}$ имп/сек·г (образец № 1068). Очистка церия снижает фон в два раза (образец № 1017). (Для стекла типа NE-905 фон в тех же условиях равен $5 \cdot 10^{-3}$ имп/сек·г.) Величина

Относительный световой выход
стеклянных сцинтилляторов

Таблица 1

Образец	Толщина образца, мм	Световой выход по отношению к антрацену, %	Световой выход по отношению к NaI(Tl), %
№ 357 с ФЭУ-49	5	15,9–16	7,35–8,85
№ 357 с ФЭУ-43	5	15,7–17	7,75–8,35
NE-905	10	20	8,7

ния относительного светового выхода одного из лучших стекол (№ 357). Приведены также данные для стекла типа NE-905 [4].

На рис. 4 приведена амплитудная характеристика образца № 357, снятая с источником тепловых нейтро-

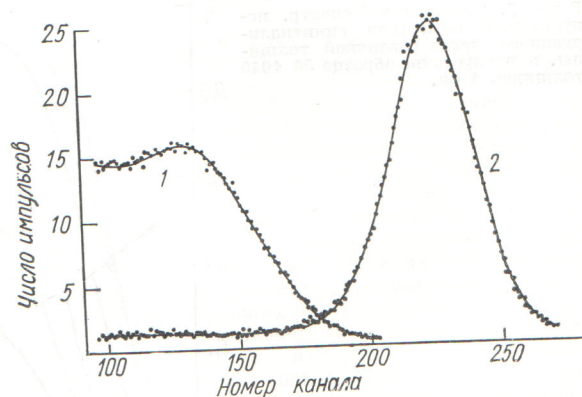


Рис. 4. Амплитудная характеристика образца сцинтиллятора с γ - и нейтронным источником (кривые 1 и 2 соответственно).

Относительная γ -чувствительность стеклянных сцинтилляторов Таблица 2

Источник	E_{γ} , Мэв	Расчетная эффективность регистрации стеклом, %	Доля импульсов, зарегистриро- ванных в «окне» (% от общего числа импульсов)	Примечание
Co ⁶⁰	1,17 1,33	5	0,1—0,2	Образец диаметром 35 мм, высотой 5 мм
Po—Be	4,4	3	6	Образец диаметром 70 мм, высотой 12 мм

собственного фона стекла получена в толстой свинцовой защите, которая исключает внешнее облучение.

При исследовании вопроса об эффективности регистрации нейтронов стеклами, содержащими естественный литий, было обнаружено сильное колебание содержания изотопа Li⁶ в коммерческом сырье. После введения поправки на фактическое содержание Li⁶ (по данным масс-спектрометрического анализа) различия в относительной эффективности практически исчезли.

Расчетная эффективность регистрации нейтронов стеклом указанного выше состава с обогащением по Li⁶ 90% при толщине 1 см составляет 20% для нормально падающего пучка нейтронов с энергией 100 эв. Фактическое содержание в стекле Li⁶ (количество его может несколько меняться в процессе варки), полученное из измерений ослабления пучка нейтронов образцом стеклянного сцинтиллятора в области энергий 0,01—10 эв, в пределах 6—7% совпало с его содержанием в шихте [5].

В некоторых случаях возникает необходимость использовать литневые стекла, обедненные Li⁶ (например, для измерения фона γ -квантов). Исследование таких стекол по общей методике с источником α -частиц

или γ -квантов Co⁶⁰ показало, что их свойства аналогичны упомянутым ранее образцам.

Авторы выражают свою признательность И. К. Адьясевич за работу с Li⁶, Н. С. Щеткиной, проводившей анализ образцов, а также И. Н. Пивсаеву, А. Б. Бирюкову и В. С. Загорнову за помощь в проведении измерений.

Поступило в Редакцию 9/XI 1970 г.
В окончательной редакции 12/XI 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. К. Войтовецкий, Н. С. Толмачева, М. Н. Арсаев. «Атомная энергия», 6, 321 (1959).
2. L. Bollinger, G. Thomas, R. Ginter. Nucl. Instrum. and Methods, 17, 97 (1962).
3. E. Breitenberger. Progr. Nucl. Phys., 4, 56 (1955).
4. Nuclear Enterprises (G. B.) Ltd Catalogue, September (1963).
5. В. Ф. Герасимов и др. Доклад на Совещании по нейтронной физике, Киев (май 1970).

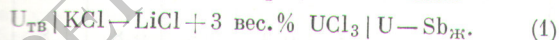
Термодинамические свойства сплавов уран—сурьма

В. М. СЕРЕГИН, А. М. ПОЯРКОВ, В. А. ЛЕБЕДЕВ, И. Ф. НИЧКОВ, С. П. РАСПОПИН

УДК 669.755'822

В системе уран—сурьма существуют прочные металлические соединения, устойчивые до температур, превышающих температуру плавления урана [1]. Методом электродвижущих сил изучены термодинамические свойства жидких растворов и соединения USB₂, а также уточнены пределы растворимости урана в жидкой сурьме. Литературные сведения об этих данных [1, 2] противоречивы.

В интервале 630—850°С измеряли э. д. с. гальванических элементов концентрационного типа:



Устройство ячейки, методика проведения эксперимента и обработки опытных данных аналогичны применявшимся ранее [3].

В табл. 1 представлены результаты шести независимых опытов, в которых измеряли э. д. с. между ураном и его двухфазными (L + USB₂) сплавами. Данные, полученные при температурах ниже 770°С, пересчитаны с учетом выбора в качестве стандартного состояния γ -урана.

Равновесные значения э. д. с. не зависели от содержания урана в сплавах (6—13,5 вес. %), в пределах $\pm 0,5$ мВ воспроизводились при снижении и повышении температуры и в координатах э. д. с.— $T^\circ K$ удовлетворительно укладывались на прямую линию. Уравнение прямой найдено обработкой данных 12 независимых опытов с помощью метода наименьших квадратов:

$$E = 0,820 - 0,226 \cdot 10^{-3} T \pm 0,003 \text{ в.} \quad (2)$$

Прямолинейный характер температурной зависимости э. д. с. можно рассматривать как свидетельство того, что в изученном интервале температур в равновесии с насыщенными растворами находится соединение постоянного состава, согласно данным работы [1] — USB₂. На основе уравнения (2) были рассчитаны термодинамические характеристики урана в этом соединении. Расчет выполнен для 1000°К. Полагали, что валентность ионов урана в расплаве солей равна 3 [4]. За стандартное состояние принят γ -уран. Получены следующие значения парциальных величин: