

Радиационный выход ионов  $Mn^{3+}$  (по рис. 2)

$C_{Mn}$ , мол. %	Диапазон доз, Мр	$G_I$ , ион/100 эв	Диапазон доз, Мр	$G_{II}$ , ион/100 эв
0,2	0—10	1,03	25—100	0
0,4	0—15	0,74	25—100	0,08
0,8	0—30	0,75	35—100	0,098
2,00	0—30	0,67	35—100	0,08

нижает радиационный выход  $Mn^{3+}$ . Описанные эффекты проявляются при анализе изменений интенсивности спектра оптического и парамагнитного поглощений марганца в зависимости от его содержания в стеклах.

Данные по радиационному выходу ионов  $Mn^{3+}$ , полученные из рис. 2, приведены в таблице, где  $G_I$  и  $G_{II}$  — радиационные выходы  $Mn^{3+}$  для концентраций активатора 0,2; 0,4; 0,8; 2,0 мол. % в указанных диапазонах доз. Эти данные могут быть использованы при расчете зависимости  $S = f(D)$  по формуле Смакулы [5].

Таким образом, исследования показали, что ответственным за образование в фосфатном стекле ПНП

с  $\lambda_m = 560$  нм являются ионы  $Mn^{3+}$ , причем интенсивность этой ПНП максимальна при исходной концентрации марганца  $\sim 0,8$  мол. %. Такая концентрация марганца обеспечивает полное подавление нестабильной ПНП основы, что улучшает дозиметрические характеристики стекла относительно сохраняемости информации во времени и при работе с повышенными температурами. Кроме того, как видно из рис. 1, эта концентрация обеспечивает ненасыщаемость характеристики  $S = f(D)$  в широком диапазоне доз ( $\sim 200$  Мр).

Поступило в Редакцию 29/VI 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Бюргановская и др. Действие излучений на неорганические стекла, М., Атомиздат, 1968.
2. В. М. Трофимов, Н. Ф. Орлов, Н. З. Андреева. «Атомная энергия», 27, 155 (1969).
3. Д. М. Юдин. «Физика твердого тела», 7, 1733 (1965).
4. Г. О. Карапетян, А. И. Шерстюк, Д. М. Юдин. «Оптика и спектр», 23, 44 (1967).
5. L. Sprun y. *Person Dosimetry Radiat. Accidents Proc. Sympos (Vienna, 1965)*. Vienna, 1965, p. 131—147.

Сравнительные характеристики комбинированных и дисперсных воздухоэквивалентных сцинтилляторов

М. И. АРСАЕВ, В. А. КРАСНИКОВ, Б. Г. МАРГУЛИС

УДК 535.373.1:539.1.083:537.531:539.122

Основой наиболее распространенных способов получения воздухоэквивалентных сцинтилляторов является введение в сцинтиллятор с  $Z_{эфф} < Z_{эфф}$  воздуха компенсатора, имеющего больший, чем у воздуха, эффективный атомный номер [1—3]. Компенсатор может вводиться в основной сцинтиллятор в виде металлоорганических химических соединений, образовывать раствор с основным сцинтиллятором или быть диспергированным в виде мелких гранул в нем. Этот тип воздухоэквивалентных сцинтилляторов в дальнейшем будем называть дисперсными сцинтилляторами. Если компенсатор является сцинтиллирующим соединением, то можно создать другой тип воздухоэквивалентного сцинтиллятора — комбинированный сцинтиллятор, у которого сверху (по отношению к падающему потоку  $\gamma$ -квантов) расположен компенсатор, а снизу — основной сцинтиллятор [4].

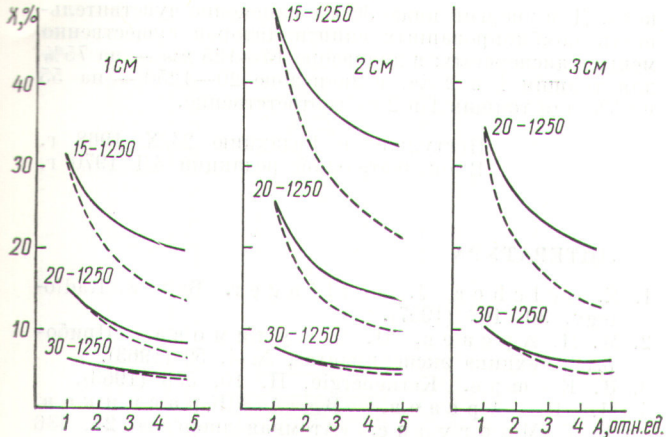
Достоинство дисперсных сцинтилляторов — однородность их состава и, как следствие, хорошая изотропность. Однако введение компенсатора приводит к ухудшению оптических свойств детектора, что снижает его чувствительность и увеличивает зависимость чувствительности от энергии излучения за счет изменения коэффициента сбора света из детектора, обусловленного неодинаковым распределением по высоте сцинтиллятора удельного поглощения энергии для мягкого и жесткого излучений.

Комбинированные сцинтилляторы имеют принципиальное преимущество перед дисперсными, заключающееся в том, что при прочих равных условиях зависимость чувствительности от энергии у этих сцинтилляторов меньше, чем у дисперсных. Это обусловлено тем, что энергетически выгоднее, если  $\gamma$ -излучение сразу поглощается в вещества с большим  $Z$  (компенсаторе),

а затем происходит поглощение ослабленного потока в основном сцинтилляторе по сравнению со случаем, когда поток  $\gamma$ -излучения поглощается в дисперсном сцинтилляторе. Поэтому для компенсации изменения чувствительности с энергией излучения основного сцинтиллятора требуется меньшее количество компенсатора, снижается фактор ослабления потока  $\gamma$ -излучения по толщине сцинтиллятора, что и приводит к улучшению этого параметра детектора. Комбинированные сцинтилляторы имеют также лучшую чувствительность, потому что компенсатор не вводится в основной сцинтиллятор и тем самым не ухудшает его прозрачности. К недостаткам комбинированных сцинтилляторов следует отнести анизотропию их свойств по отношению к направлению потока  $\gamma$ -квантов.

Для количественных оценок параметров комбинированных и дисперсных сцинтилляторов были рассчитаны минимально возможные значения изменения чувствительности от энергии излучения для заданных толщин указанных сцинтилляторов и проведена их экспериментальная проверка, причем в качестве основного сцинтиллятора была взята сцинтиллирующая пластмасса с  $Z = 5,6$ , а в качестве компенсатора —  $ZnS(Ag)$  с  $Z = 27$ . Количественные изменения чувствительности были рассчитаны на основании данных работ [4, 5], где получены выражения для относительных эффективностей  $\eta(E)$  комбинированного и дисперсного сцинтилляторов и показано, что при прочих равных условиях изменения чувствительности от энергии излучений дисперсных сцинтилляторов зависят от отношения конверсионных эффективностей компенсатора

и основного сцинтиллятора  $A = \frac{G_{РОМ}}{G_{ОСН}}$ , а комбинирован-



Р и с. 1. Зависимость изменения чувствительности с энергией излучения  $\chi$  от величины  $A$  для трех толщин сцинтилляторов: — — — дисперсный сцинтиллятор; — — — комбинированный сцинтиллятор.

ных сцинтилляторов — от отношения  $A = \frac{G_{\text{ком}} \cdot K_{\text{ком}}}{G_{\text{осн}} \cdot K_{\text{осн}}}$ ,

где  $K_{\text{ком}}$  и  $K_{\text{осн}}$  — коэффициенты, определяющие долю дошедшей до фотокатода ФЭУ световой энергии, образованной соответственно в компенсаторе и основе.

На рис. 1 представлены оптимальные значения изменения чувствительности, определенные как  $\chi = \frac{\eta_{\text{макс}} - \eta_{\text{мин}}}{\eta_{\text{макс}} + \eta_{\text{мин}}} \cdot 100\%$  (рассчитаны для частного

случая: не учитывается зависимость  $G_{\text{ком}}$  и  $G_{\text{осн}}$  от энергии и обмен энергий между компенсатором и основой за счет вылета вторичных электронов из них) в зависимости от величины  $A$ . Как видно из рисунка, для комбинированных сцинтилляторов изменение чувствительности значительно меньше, чем для дисперс-

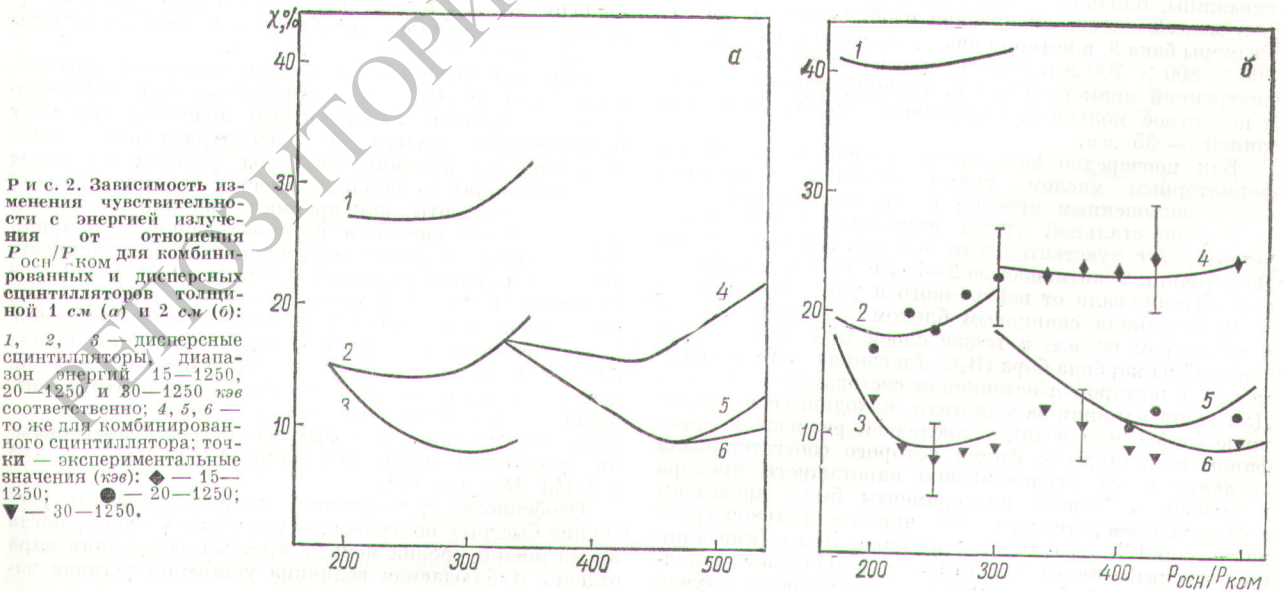
ных, причем величина выигрыша существенно зависит от диапазона регистрируемых энергий  $\gamma$ -квантов, величины  $A$  (для достаточно малых  $A$ ) и слабее зависит от толщины сцинтиллятора. Поэтому для получения минимальной величины изменения чувствительности комбинированных и дисперсных сцинтилляторов необходимо использовать оптимальные значения величины  $A$  для каждого типа сцинтиллятора, которые могут существенно различаться при одних и тех же компенсаторах и основах за счет различия оптических характеристик сцинтилляторов и принципа их построения.

В работе [6] было показано, что для дисперсных сцинтилляторов при использовании  $\text{ZnS(Ag)}$  в качестве компенсатора и сцинтиллирующей полистирольной пластмассы в качестве основы наилучшие результаты по этому параметру детектора получаются для  $\text{ZnS(Ag)}$  марки К-430, для которой  $\frac{G_{\text{ком}}}{G_{\text{осн}}} = 3$ . Люминофор  $\text{ZnS(Ag)}$  марки ФС-4, хотя и обладает световым выходом, на 35% большим, чем у К-430, дает такие же результаты из-за малой величины гранул люминофора, вследствие чего наблюдаются большие потери энергии за счет вылета вторичных электронов из гранул. Однако чувствительность такого детектора меньше, чем детектора на К-430, из-за худших оптических характеристик.

Для комбинированного детектора выгоднее использовать люминофор ФС-4, так как размер гранул в данном случае не имеет значения. Численное значение коэффициента  $A$  для комбинированных сцинтилляторов было получено экспериментально по отношению «практических выходов» (тока сцинтилляционного счетчика к поглощенной энергии) для компенсатора  $\text{ZnS(Ag)}$  марки ФС-4 и сцинтиллирующей пластмассы.

В таблице представлены значения коэффициента  $A$  и технического светового выхода для комбинированных сцинтилляторов толщиной 1 и 2 см, при этом значения светового выхода даны относительно светового выхода оптимального дисперсного сцинтиллятора таких же толщин.

Для этих сцинтилляторов на рис. 2 представлена зависимость рассчитанных величин изменения чувст-



Р и с. 2. Зависимость изменения чувствительности с энергией излучения от отношения  $P_{\text{осн}}/P_{\text{ком}}$  для комбинированных и дисперсных сцинтилляторов толщиной 1 см (а) и 2 см (б): 1, 2, 3 — дисперсные сцинтилляторы, диапазон энергий 15—1250, 20—1250 и 30—1250 кэВ соответственно; 4, 5, 6 — то же для комбинированного сцинтиллятора; точки — экспериментальные значения (кэВ):  $\bullet$  — 15—1250;  $\circ$  — 20—1250;  $\blacktriangledown$  — 30—1250.

**Значения величины  $A$  и относительного светового выхода**

Тип сцинтиллятора	Коэффициент $A$		Относительный световой выход	
	1 см	2 см	1 см	2 см
Комбинированный Дисперсный	5,0	4,75	1,2	1,25
	3,0	3,0	1,0	1,0

вительности от отношения веса основы к весу компенсатора  $P_{осн}/P_{ком}$  (при расчете учитывались зависимость  $G_{ком}$  и  $G_{осн}$  от энергии и обмен энергией между компенсатором и основой). Видно, что расчетные и экспериментальные значения изменения чувствительности для дисперсных и комбинированных сцинтилляторов хорошо согласуются.

В заключение необходимо отметить, что для воздушно-эквивалентных сцинтилляторов, как комбинированных, так и дисперсных, в которых в качестве компенсатора используется  $ZnS(Ag)$ , а основы — сцинтиллирующая пластмасса на основе полистирола, изменение чувствительности для энергий выше 30 *кэв* практически одина-

ково. Для энергий ниже 30 *кэв* изменение чувствительности комбинированных сцинтилляторов существенно меньше дисперсных: в диапазоне 14—125 *кэв* — на 75% для толщин 1 и 2 см, в диапазоне 20—1250 — на 55 и 65% для толщин 1 и 2 см соответственно.

Поступило в Редакцию 24/X 1968 г.  
В окончательной редакции 4/I 1970 г.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. E. Belcher, J. Geilinger. Brit. J. Radiology, 30, 103 (1957).
2. М. И. Арсаев, Н. Е. Сулимова. «Приборы и техника эксперимента», № 4, 59 (1963).
3. R. Kempe. Kernenergie, H. 10, 553 (1963).
4. М. И. Арсаев, В. А. Красников, Б. Г. Маргулис. «Атомная энергия», 27, 336 (1969).
5. М. И. Арсаев. В сб. «Ядерное приборостроение», № 8, М., Атомиздат, 1968.
6. М. И. Арсаев, В. А. Красников, Б. Г. Каргулис. Монокристаллы, сцинтилляторы и органические люминофоры. Вып. 5, ч. 2, Харьков, 1970, стр. 112.

**Исследование возможностей каротажа нефтяных скважин с использованием Ge(Li)-гамма-детектора и Po — Ве-источника нейтронов**

Л. И. ГОВОР, А. М. ДЕМИДОВ, В. А. ИВАНОВ

УДК 550.835:553.9

В настоящей работе описываются возможности проведения нейтронорадиационного каротажа нефтяных геологических скважин Ge(Li) — гамма-детектором и Po — Ве-нейтронным источником.

Исследования проводились с моделью нефтяной скважины, близкой к реальным условиям. Используемая модель пласта схематично изображена на рис. 1. Размеры бака 9, в котором она размещалась, составляли 800 × 800 × 700 мм. Стальная обсадная труба 4 имела внутренний диаметр 150 мм, толщину стенок 10 мм, а цементное кольцо 7, окружающее трубу, было толщиной ~ 35 мм.

Бак поочередно заполняли пресной водой, трансформаторным маслом, сухим песком 8 (пористость 40%), насыщенным пресной водой или маслом.

Внутри стальной трубы размещали Ge(Li)-гамма-детектор 1 с чувствительным объемом 2,5 см<sup>3</sup> и Po — Ве-источник 5 активностью 2—3 · 10<sup>7</sup> нейтр/сек. Детектор окрашивали от нейтронного и  $\gamma$ -излучения Po — Ве-источника свинцовым блоком 2 длиной 150 мм и диаметром 60 мм, а также слоем Li<sup>6</sup>F в 4 мм или защитой из карбида бора (B<sub>4</sub>C) 3 и свинца 2. Расстояние между детектором и источником составляло ~ 200 мм. Для учета влияния замедлителя, находящегося в скважине (нефть или вода), в последней размещали парафиневый цилиндр 6, форма которого соответствовала эксцентричному расположению каротажного прибора в скважине. Первые эксперименты были проведены с размещением детектора и источника в стальной трубе диаметром 125 мм и толщиной стенок 10 мм (имитация стенок скважинного прибора). В дальнейшем дополнительная труба была удалена и исследовали случай

использования алюминиевых сплавов или циркония для оболочки скважинного снаряда.

Электронная аппаратура состояла из предусилителя, основного усилителя с дискриминатором и 110-канального амплитудного анализатора и обеспечивала в течение эксперимента разрешение 9—18 *кэв* в области энергий  $E_{\gamma} = 1,8 \div 8$  Мэв. Определение энергий  $\gamma$ -линий производилось генератором точной амплитуды с погрешностью менее  $\pm 5 \div 7$  *кэв*.

Определение нефте- и водонасыщенности пластов, пористости породы и установление водо-нефтяного контакта связаны с элементарным анализом основных составляющих пласта. В рассматриваемом случае песчаника это кремний, кислород, углерод и водород (в известняках — кальций вместо кремния) [1—3].

Такие элементы, как кремний, кальций и водород, хорошо обнаруживаются по  $\gamma$ -излучению радиационного захвата тепловых нейтронов [1]. Характерными линиями для них являются 4,936 Мэв Si<sup>29</sup>, 6,420 Мэв Ca<sup>41</sup> и 2,223 Мэв D<sup>2</sup>. В то же время кислород и углерод имеют очень малые сечения захвата тепловых нейтронов и практически не обнаруживаются. Однако у кислорода (O<sup>16</sup>) и углерода (C<sup>12</sup>) первые возбужденные уровни лежат очень высоко, что создает благоприятные возможности для их обнаружения по  $\gamma$ -излучению от неупругого рассеяния быстрых нейтронов. Характерными  $\gamma$ -линиями здесь являются 6,131 Мэв для O<sup>16</sup> и 4,443 Мэв для C<sup>12</sup>.

Особенность  $\gamma$ -излучения, сопровождающего рассеяние быстрых нейтронов, — уширение  $\gamma$ -линий, когда время жизни уровня меньше времени замедления ядра отдачи. Наблюдаемая величина уширения  $\gamma$ -линии за-