

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.



13 - 4349

И.И.Земскова, Л.Я.Жильцова, Е.Н.Матвеева,  
В.Г.Тыминский

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
РЯДА РАСТВОРИТЕЛЕЙ  
ДЛЯ ЖИДКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

1969

13 - 4349

И.И.Земскова, Л.Я.Жильцова, Е.Н.Матвеева,  
В.Г.Тыминский

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
РЯДА РАСТВОРИТЕЛЕЙ  
ДЛЯ ЖИДКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

Направлено в ПТЭ

Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ

## 1. В в е д е н и е

В настоящее время жидкие сцинтилляторы находят широкое применение во многих областях науки и техники, поэтому изучение новых растворителей и их свойств представляет определенный интерес.

В данной работе описываются сцинтилляционные свойства ряда машиностроительных масел, привлечших внимание своей экономичностью, возможностью их использования без дополнительной очистки, взрывобезопасностью и другими свойствами.

Кроме того, исследовалась возможность увеличения эффективности жидких сцинтилляторов (ЖС) с помощью ультразвука, и гашения металлами их светового выхода, позволяющего по его уменьшению судить о наличии механических примесей в растворителе.

## 2. О возможности приготовления жидких сцинтилляторов на основе машиностроительных масел

При исследовании свойств машиностроительных масел была обнаружена способность их служить растворителем для приготовления жидких сцинтилляторов /1/.

Применяемые в настоящее время растворители для жидких сцинтилляторов являются ароматическими соединениями. Минеральные масла, являясь продуктами переработки нефти, состоят из различных соединений углеводородов, в том числе и ароматических. Масляные дистилляты, из которых путем очистки получают масла, содержат парафиновые (метановые), нафтеновые, ароматические углеводороды, смолистые вещества

и др. В результате очистки в маслах остаются три группы углеводородов: нафтеновые, ароматические, парафиновые. Нафтеновые углеводороды, состоящие как из нафтеновых колец, так и из колец с боковыми парафиновыми цепями, составляют более 50% состава масла. Ароматические углеводороды, в зависимости от типа масел, могут составить от 15 до 40%. Парафиновая группа обычно удаляется из масла.

Примерный химический состав масел приведен в таблице 1.

Таблица 1

Наименование групп углеводородов	Машинное масло, %	веретенное масло, %
Парафино-нафтеновые углеводороды	53,26	52,85
Легкая ароматическая фракция	8,03	12,5
Средняя ароматическая фракция	18,08	16,95
Тяжелая ароматическая фракция	17,75	14,37

Как видно из приведенной таблицы, существуют определенные физико-химические предпосылки для проверки машинных масел на возможность приготовления из них жидких сцинтилляторов: родственный химический состав, наличие бензольных колец, возможность растворить в них люминесцирующие добавки и т.д. Можно предположить, что минеральные масла, содержащие в достаточном количестве ароматические углеводороды, могут служить основой для приготовления жидких сцинтилляторов.

Нами были проведены исследования сцинтилляционных свойств некоторых минеральных масел при добавлении в них активаторов. Помимо минеральных масел, были оценены сцинтилляционные свойства кремний-органических жидкостей, которые также применяются в качестве смазочных масел.

Были изучены свойства следующих масел: вазелинового (ГОСТ 1840-51); масла для высоковакуумных насосов ВМ-1, ВМ-2 (ГОСТ 4 4904-56); масла МГЕ-10 (ГОСТ 6794-53); машинного масла (ВТУ 549-55); веретенного масла АУ (ГОСТ 1642-50); силиконовой жидкости №5 (МХП 2416-54) и др. Все они находят широкое применение в промышленности и в то же время обладают рядом свойств, необходимых для сцинтилляторов: относительно прозрачны, содержат незначительное количество гасящих примесей, растворяют люминесцирующие добавки.

Исследуемый жидкий сцинтиллятор - масло помещали в стеклянный цилиндрический стакан диаметром 40 мм и высотой 60 мм. Для уменьшения поглощения света стенки стакана покрывались алюминиевой фольгой. Измерения проводились с использованием  $\gamma$ -источника  $Co^{60}$ . Для каждого образца жидкого сцинтиллятора измерялась амплитуда импульсов в интервале напряжений на фотоумножителе ФЭУ-36 от 1200 до 1800 в (через каждые 100 в). Результатом считалось среднее значение амплитуд, полученных при указанных напряжениях на ФЭУ. Все измерения амплитуд импульсов исследуемых сцинтилляторов приведены в относительных единицах от импульса монокристалла стибьбена, амплитуда импульса которого при данном ФЭУ принята за 1.

Оптимальные концентрации сцинтилляционных добавок для жидких сцинтилляторов на основе различных масел приведены в таблице 2. Из анализа данных этой таблицы следует, что силиконовые жидкости, машинное и вазелиновые масла, масла ВМ-1 и ВМ-14 дают амплитуды импульсов, вполне сопоставимые с амплитудами импульсов от одного из наиболее эффективных жидких сцинтилляторов на основе толуола. Необходимо отметить, что все используемые люминесцирующие добавки удовлетворительно растворялись в маслах. При этом добавка 50-100 г нафталина на 1 литр растворителя приводит в ряде случаев к положительному эффекту. Например, введение нафталина в силиконовую жидкость позволяет повысить амплитуду импульса в 2 раза. Использование в качестве активаторов  $\alpha$ НРО или ТФП вместо РРО практически не меняет наблюдаемой картины.

Таблица 2

Сравнительные величины относительной амплитуды импульсов (ОАИ) масел при оптимальных концентрациях сцинтилляционных добавок

№№ пп	Растворители	Активаторы на 1 литр растворителя	ОАИ
1.	Толуол (для сравнения)	4г PPO, 0,05г POPOP	0,60
2.	Масло ВМ-14	4г PPO, 0,05г POPOP, 100 г нафталина	0,58
3.	Силиконовая жидкость №5,3	4г PPO, 0,1г POPOP, 100 г нафталина	0,55
4.	Вазелиновое масло (медицин.)	4г PPO, 0,05г POPOP, 100 г нафталина	0,54
5.	Машинное масло	4г PPO, 0,05г POPOP, 50 г нафталина	0,40
6.	Масло АУ	4г PPO, 0,1г POPOP,	0,30
7.	Масло МГЕ-10	3г PPO, 0,1г POPOP	0,10
8.	Касторовое масло	4г PPO, 0,1г POPOP	0,10

Полученные жидкие сцинтилляторы имеют ряд преимуществ: относительно мало токсичны, взрывобезопасны, экономичны, допускают возможность применения измерительной кюветы из органического стекла и применяются без дополнительной очистки растворителя. В результате выполненных исследований показана возможность приготовления жидких сцинтилляторов с использованием в качестве растворителя различных промышленных масел. Сцинтилляционная эффективность таких сцинтилляторов составляет до 60% от амплитуды монокристалла стибена, т.е. вполне сопоставима с эффективностью сцинтилляторов, выпускаемых промышленностью.

## 3. О механическом гашении светового выхода

## жидких сцинтилляторов

Способность масел служить растворителями для приготовления жидких сцинтилляторов может быть использована также для оценки их антиокислительных свойств и контроля степени чистоты масла от механических примесей.

Известно, что даже очень малые концентрации ряда веществ, например, металлов, способны поглощать энергию, которая возникает в сцинтиллирующих веществах или растворах под действием ядерных излучений или ультрафиолетового света. Явление тушения характеризуется снижением светового выхода и уменьшением интенсивности свечения.

Виды тушения могут быть различны по своей природе и могут носить химический, либо механический характер. В случае химического тушения происходит взаимодействие тушителя со сцинтиллирующими веществами с образованием новых нелюминесцирующих веществ. Механическое тушение может быть результатом поглощения световых вспышек окрашенными веществами или взвешенными частицами. Эффект тушения зависит от свойств растворителя и от вида тушителя, и носит избирательный характер.

При количественном рассмотрении тушения посторонними примесями была установлена зависимость между концентрацией тушителя и интенсивностью счета сцинтиллятора <sup>1/2</sup>. Если  $N$  - число отсчетов за определенное время, а  $C$  - концентрация тушащего вещества, то полулогарифмическая зависимость  $N$  от  $C$  выразится прямой линией (рис.1). Из соотношения  $N = N_0 e^{-qC}$ , где  $q$  - постоянная тушения,  $N_0$  - число отсчетов без тушащего вещества, можно определить

$$C = C_{1/2} \frac{\ln \frac{N_0}{N}}{0,693}$$

где  $C_{1/2}$  - концентрация тушащего вещества, при котором эффективность счета уменьшается до половины первоначальной величины. Величина  $C$  может быть получена экспериментально для каждого из веществ, являющегося гасителем (рис. 1,2) и, определяя в любой момент интенсивность счета  $N$ , при постоянном для сцинтиллятора значении  $N_0$ , можно оценить концентрацию примесей в данное время.

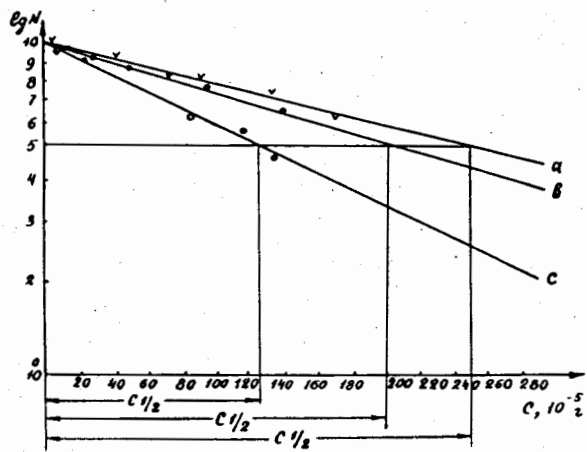


Рис. 1. Зависимость интенсивности счета толуола от концентрации гасителя: а) крупный порошок железа, в) средний порошок железа, с) мелкий порошок железа.

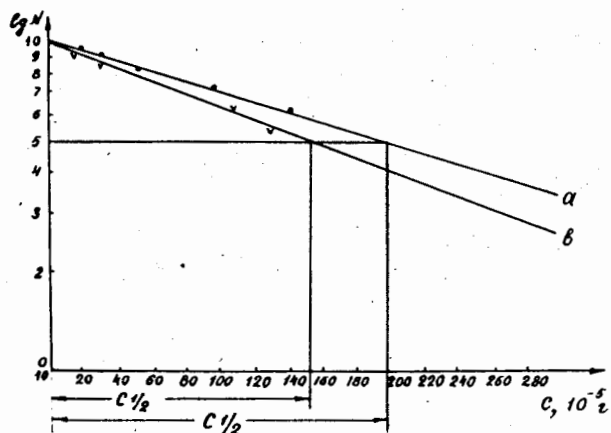


Рис. 2. Зависимость интенсивности счета толуола от типа гасителя: а) средний порошок железа, в) порошок меди.

Поскольку металлы являются эффективными тушителями, рассеивающими и поглощающими свечение сцинтилляторов, то, измеряя световой выход жидких сцинтилляторов, можно по уменьшению эффективности счета судить о наличии примесей в растворителе (сцинтилляторе).

Для выяснения интенсивности тушения были проведены исследования на толуоле с использованием в качестве гасителя мелкодисперсных порошков железа и меди.

Изучение гашения производилось на сцинтилляционном радиометре (типа Альфа-1 с ФЭУ-49). Жидкий сцинтиллятор наливался в стеклянную кювету объемом  $230 \text{ см}^3$ . Предварительно была выяснена зависимость скорости счета от объема жидкого сцинтиллятора (рис. 3) и установлен оптимальный объем сцинтилляционного толуола  $250 \text{ см}^3$ . Для уменьшения рассеивания света и увеличения эффективности счета измерительная кювета была покрыта эмалью, позволяющей увеличить скорость счета на 80%.

В исследуемый сцинтиллятор периодически вводилось определенное количество металла и измерялась интенсивность счета. Все измерения проведены в одинаковых геометрических условиях.

Из рис. 1 видно, что введение в сцинтиллятор одинаковых концентраций железа при разной крупности частиц, приводит к различной зависимости интенсивности счета от концентрации гасителя. При этом лучшими гасящими свойствами обладал наиболее мелкодисперсный порошок ( $C_{1/2} = 1,25$ ). В таблице 3 приведены постоянные тушения и концентрации железа и меди, вызывающие уменьшение сцинтилляций вдвое. Из этой таблицы видно, что наблюдается определенная зависимость в активности гашения сцинтиллятора от размера частиц.

Интенсивность гашения зависит не только от размера частиц, но и от материала. Медь оказалась более интенсивным гасителем сцинтилляций, хотя при небольших количествах гасителя (до  $50 \cdot 10^{-5} \text{ г}$ ) различия в интенсивности гашения железа и меди составили менее 10% (рис. 1,2).

Использование различных источников ионизирующего излучения не показало каких-либо различий в характере гашения.

Из изложенного видно, что, сопоставляя интенсивность счета чистого стандартного сцинтиллятора с интенсивностью счета загрязненного,



можно с высокой точностью оценивать количество находящихся в нем гасителей ( $\approx 10^{-5}$  г).

Таблица 3

Постоянные тушения и концентрации железа и меди, вдвое уменьшающие сцинтилляции

№№	Материал	$d_{\mu\kappa}$	$C_{1/2}$	$\eta$	
1	Железо	крупное	$0,5 \pm 0,7$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	277
2		среднее	$0,2 \pm 0,4$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	348
3		мелкое	$0,05 \pm 0,15$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	554
4	медь	$0,15 \pm 0,25$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	461	

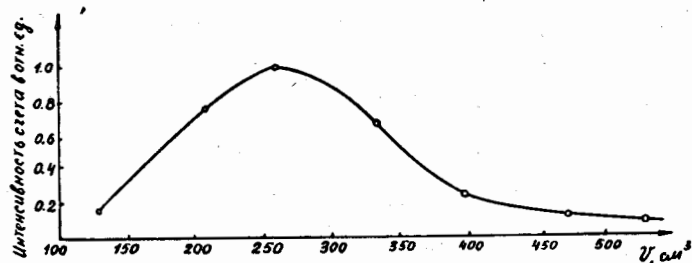


Рис. 3. Выбор оптимального объема сцинтиллятора.

Кроме того, изучая кривые гашения, можно определять оптимальное количество радиоактивного образца, обладающего тушащими свойствами, которое следует вводить в объем жидкого сцинтиллятора.

Таким образом, выполненные исследования показали, что световой выход жидких сцинтилляторов весьма чувствителен к механическим примесям (металлам). Зависимость светового выхода жидких сцинтилляторов от наличия механических гасителей имеет полулогарифмический характер. Степень гашения зависит от количества и размера частиц, при этом интенсивность гашения сцинтилляций при одинаковых концентрациях гасителя увеличивается по мере уменьшения размеров частиц. Интенсивность гашения медью выше, чем у железа, хотя при малых количествах примесей эти различия составляют менее 10%. По величине тушения сцинтиллятора представляется возможным с высокой точностью оценивать количество гасителей (примесей) в объеме жидкого сцинтиллятора ( $\approx 10^{-5}$  г).

#### 4. Об увеличении эффективности жидких сцинтилляторов с помощью ультразвука

Как известно <sup>/3/</sup>, звуковое поле умеренной интенсивности может породить в жидкости явление кавитации, при котором излучается слабый свет, визуально наблюдаемый в темноте, так называемая звуколюминесценция. Спектр люминесценции непрерывен и простирается примерно от 7300 Å до области ультрафиолетового излучения.

В описываемых ниже экспериментах авторы применили ультразвуковое поле, которое само по себе не приводит к люминесценции сцинтиллятора. В качестве источника ультразвуковых волн был использован импульсный излучатель К50ф2 (рис. 4). Цилиндр набирался из пластин толщиной 0,1 мм, склеенных под вакуумом эпоксидной смолой. Высота цилиндра — 40 мм, внутренний диаметр — 50 мм, внешний — 70 мм. Преобразователь возбуждался от генератора электрических импульсов (рис. 4б) с помощью разрядов конденсатора  $C_2$  емкостью 0,5 мкф через разрядник ИСК-25. Напряжение заряда конденсатора — 1200 в. При таком возбуждении магнитостриктор совершал импульсные колебания с собственной частотой

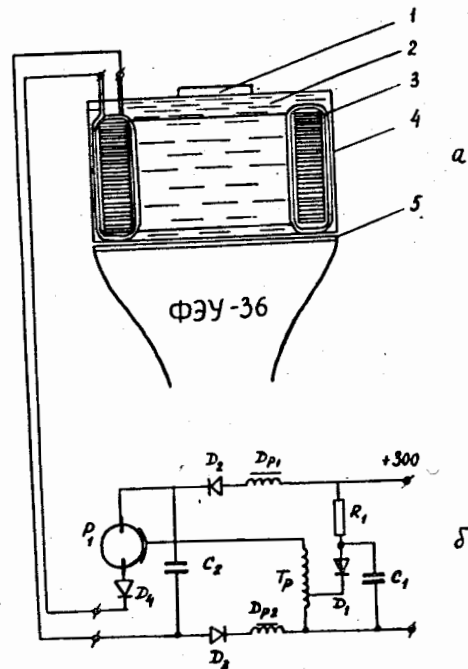


Рис. 4. Схема аппаратуры, использованной для наблюдений эффекта увеличения светового выхода сцинтиллятора под действием ультразвука: а) кювета с жидким сцинтиллятором. 1 - источник  $\gamma$ -излучения ( $Co^{60}$ ); 2 - сцинтиллирующая жидкость; 3 - магнетострикционный излучатель; 4 - кювета; 5 - фотокаод ФЭУ-36, б) электрический генератор для возбуждения магнетостриктора  $R = 390 \text{ к}$ ,  $C_1 = 0,025 \text{ мкф}$ ,  $D_1 - D 227.U (165\text{в})$ ,  $D_2 - D_{p_2} (L = 1 \text{ мГн} = 50 \text{ ом})$ ,  $D_3 - D_4 226$ ,  $C_2 = 0,5 \times 1200 \text{ в}$ ,  $P_1 = \text{ИСК-25}$ .

30 кгц и максимальной амплитудой смещения внутренней поверхности около 2,5 микрона. Интенсивность ультразвука в импульсе вблизи поверхности излучателя для воды составляет  $10 \text{ вт/см}^2$  <sup>4/</sup>. Принимая для цилиндрических излучателей коэффициент концентрации  $5-10$  <sup>4/</sup>, можно считать, что интенсивность ультразвука в импульсе в области вблизи оси цилиндра составляет  $50-100 \text{ вт/см}^2$ . Однако, так как частота посылок импульсов составляла 100 гц (скважность 0,01), средняя интенсивность ультразвука, с которой облучалась исследуемая жидкость, имела величину примерно  $0,5-1 \text{ вт/см}^2$ . Излучатель ультразвука помещался в стеклянный цилиндр диаметром 75 мм и высотой 60 мм, объем которого заполнялся исследуемым сцинтиллятором (рис. 4). Оптический контакт между контейнером со сцинтиллятором и фотокаодом фотоумножителя ФЭУ-36 создавался с помощью вазелинового масла. Предварительно было установлено, что ультразвуковое поле данной интенсивности не приводит к изменению работы ФЭУ. Все измерения проводились в идентичных условиях с использованием  $\gamma$ -источника  $Co^{60}$ .

Исследованию были подвергнуты несколько жидкостей, для каждой из которых измерялись амплитуды импульсов в интервале напряжений на фотоумножителе от 1200 до 1800 в (через 100 в). Среднее значение амплитуд, полученных при указанных напряжениях на фотоумножителе, сравнивалось с амплитудами импульсов от монокристалла стибена. Ошибка не превышала  $\pm 10\%$ . Результаты измерения приведены в таблице 4.

Таблица 4

Увеличение ОАИ от жидких сцинтилляторов при облучении жидкости ультразвуком х)

№№	Растворитель	Объем жидкости	ОАИ	Увеличение ОАИ <sub>ж</sub> при облучении ультразвуком
1	2	3	4	5
1	Толуол	50 см <sup>3</sup>	0,60	1,25
2	Ксилол	50 см <sup>3</sup>	0,70	1,25
3	Фенилциклогексан	50 см <sup>3</sup>	0,85	1,33
4	Вазелиновое масло	50 см <sup>3</sup>	0,58	2,00



1	2	3	4	5
5	Полиэтилсилоксановая жидкость №5 ТУ 2416-54	50 см <sup>3</sup>	0,55	3,0-4,0
6.	Стильбен	-	1,00	-

х) люминесцирующие добавки вводились в соответствии с данными табл.2.

Как видно, ультразвуковое поле, которое само по себе не вызывает заметного свечения, при облучении жидкости  $\gamma$  - квантами  $Co^{60}$  приводит к увеличению амплитуды импульсов. Причем для толуола, ксилола и фенилциклогексана увеличение амплитуды импульсов незначительно (в 1,25-1,33 раза), тогда как для силиконовой жидкости (полиэтилсилоксановая жидкость №5 ТУ 2416-54) амплитуда импульсов увеличивалась в 3-4 раза.

Помимо  $\gamma$ -излучения, представляет интерес выяснение аналогичного эффекта при регистрации  $\alpha$ -частиц. Для этого действию ультразвука был подвергнут жидкий диоксидный сцинтиллятор, регистрирующий  $\alpha$ -излучение U-233. При действии ультразвука эффективность сцинтиллятора увеличивалась на 60%.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что ультразвуковое поле повышает световой выход жидких сцинтилляторов и может быть использовано в сцинтилляционных счетчиках при регистрации частиц низких энергий.

В дальнейших исследованиях представляет интерес выяснение механизма действия ультразвука на различные сцинтилляторы и связь со свойствами используемых жидкостей.

#### Л и т е р а т у р а

1. И.И. Земскова, Л.Я. Жильцова, В.Г. Тыминский. ПТЭ, №5, 75, 1968.
2. Э. Шрам, Р. Ломбер "Органические сцинтилляционные детекторы". Атомиздат, Москва, 1967.

3. А. Берман. Ультразвук и его применение в науке и технике, 1956 г.
4. Методы и приборы ультразвуковых исследований. Под редакцией Меезона. Изд. Мир, 1967 г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 марта 1969 года.