

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



12/01-74

H-782

13 - 7861

А.А.Ноздрин, Г.А.Шелков

2343/2-74

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ  
НА СЦИНТИЛЛЯЦИИ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ  
В ЖИДКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРАХ  
ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

**1974**

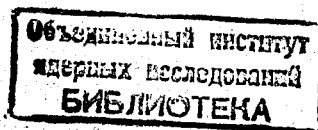
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 7861

А.А.Ноздрин, Г.А.Шелков

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ  
НА СЦИНТИЛЛЯЦИИ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ  
В ЖИДКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРАХ  
ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

*Направлено в ПТЭ*



## Введение

К настоящему времени наиболее подробно изучено влияние электрического поля на сцинтилляционные свойства неорганических сцинтилляторов /1,2,3,4/.

В работе /1/ было замечено, что под действием постоянного электрического поля амплитуда отдельных сцинтилляций, возбуждаемых в щелочно-галлоидных кристаллах мягким  $\gamma$ -излучением  $E_\gamma \sim 1$  МэВ, уменьшается. Так, при напряжении 50 кВ/см амплитуда сцинтилляций уменьшалась вдвое для кристалла CsJ(Tl). Нам известна только одна работа /5/, в которой изучалось влияние электрического поля на отдельные сцинтилляции, возбуждаемые в органическом сцинтилляторе ионизирующим излучением. В ней сообщалось, что постоянное электрическое поле напряженностью до 100 кВ/см не влияет на интенсивность световых вспышек в жидких сцинтилляторах /ЖС/ при облучении их  $\gamma$ -лучами  $^{60}\text{Co}$ , но при быстром изменении величины поля наблюдается уменьшение амплитуды световых вспышек, а при перепаде напряженности поля 70-80 кВ/см происходило полное тушение сцинтилляций. Тушение наблюдалось приблизительно в течение секунды, затем картина восстанавливалась. В работе, однако, не указаны характеристики изменения поля, а также не предпринята попытка объяснить обнаруженный эффект.

Следует особо отметить исследовавшееся многими авторами явление свечения жидких диэлектриков и, в частности, сцинтилляционных растворов в постоянном электрическом поле /электролюминесценция/. Авторами /6/ исследовалось большое количество жидкостей и не было найдено такого органического жидкого диэлектрика, в ко-

тором световые импульсы /электровспышки/ не появлялись бы. Они детально исследовали электровспышки в стандартном ЖС на основе толуола. При данной геометрии опыта пороговая напряженность поля, начиная с которой появлялись электровспышки, составляла 25 кВ/см. Дальнейшее увеличение напряженности поля приводило к примерно экспоненциальному возрастанию скорости генерации вспышек, а величина их амплитуды при этом возрастала сублинейно. Авторы <sup>16/</sup> считают, что электровспышки образуются при развитии электронных лавин, возникающих как результат эмиссии электронов в газовые микрополости, образующиеся вблизи микроострий на поверхности катода в сильном электрическом поле.

В данной работе изучалось влияние постоянного и импульсного электрических полей напряженностью до 50 и 80 кВ/см, соответственно, на амплитуду сцинтилляций, возбуждаемых  $\alpha$ - и  $\gamma$ -излучением, в стандартном ЖС на основе толуола.

### 1. Конструкция высоковольтной камеры

Основной частью экспериментальной установки является высоковольтная камера. В работе использовались два варианта камер. Эскиз камеры первого типа приведен на рис. 1.

Камера представляла из себя стакан, стенками которого служила металлическая труба с резьбой, в которую ввинчивался латунный цилиндр с закрепленным на нем высоковольтным разъемом. На разъеме крепился электрод из нержавеющей стали, латуни или дюралюминия. Дно стакана находилось в электрическом контакте с трубой и служило вторым /заземленным/ электродом. Зазор между электродами определялся толщиной фторопластовой прокладки и мог устанавливаться равным 1, 2 или 3 мм. Диаметр цилиндрического рабочего объема с ЖС, который просматривался снизу фотоумножителем ФЭУ-30, был равен 45 мм. В работе использовались камеры с двумя разными конструкциями нижнего электрода. В первой конструкции электрод представлял со-

бой приклеенный к трубе стеклянный диск с напыленным в вакууме полупрозрачным слоем титана. В другой конструкции /которая показана на рис. 1/ нижним электродом служил припаянный к трубе латунный диск толщиной 2 мм с отверстиями диаметром 3 мм. Вся рабочая поверхность электродов была тщательно отполирована. Камера помещалась в стакан с прозрачным стеклянным дном, который заполнялся ЖС.

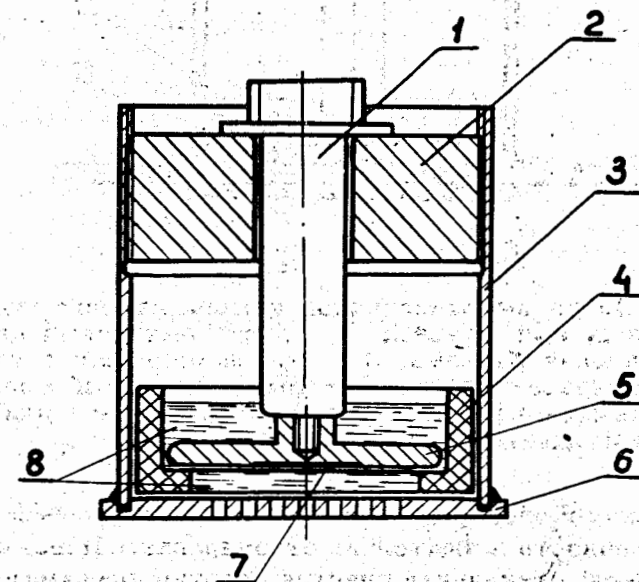


Рис. 1. Эскиз высоковольтной камеры первого типа: 1 - высоковольтный разъем; 2 - латунный цилиндр с резьбой для крепления разъема; 3 - латунная труба; 4 - фторопластовая прокладка; 5 - высоковольтный электрод; 6 - земляной электрод; 7 - альфа-источник  $^{239}\text{Pu}$ ; 8 - жидкий сцинтиллятор.

Эскиз камеры второго типа приведен на рис. 2. Это - металлический стакан с вклеенной в него стеклянной пластиной размерами 140 x 60 x 5 мм. В центре пластины имелось сквозное отверстие диаметром 40 мм, которое и определяло рабочий объем камеры. Все поверхности стеклянной пластины

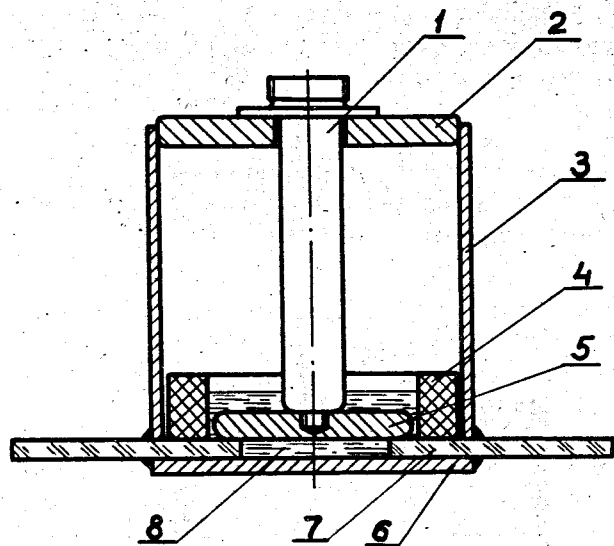


Рис. 2. Эскиз высоковольтной камеры второго типа: 1 - высоковольтный разъем; 2 - дюралюминиевый цилиндр для крепления разьема; 3 - дюралюминиевая труба; 4 - фторопластовое кольцо; 5 - высоковольтный электрод; 6 - заземленный электрод; 7 - стеклянная пластина; 8 - жидкий сцинтиллятор.

так же, как и электродов, были изготовлены по высокому классу точности и тщательно отполированы. Перед склейкой камеры стеклянная пластина плотно прижималась ко дну стакана /заземленному электроду/, причем между ними предварительно был помещен слой чистого вакуумного масла для исключения попадания пузырьков воздуха в зазор. Назначение остальных элементов понятно из рисунка. В камере этого типа межэлектродный промежуток определялся толщиной стеклянной пластины и составлял 5 мм. Рабочий объем камеры просматривался двумя фотоумножителями, фотокатоды которых находились в оптическом контакте со стеклянной пластиной.

Камеры обоих типов заполнялись ЖС до полного погружения в жидкость верхнего электрода.

Измерения в камере 1 типа производились с использованием альфа-источника  $^{239}\text{Pu}$ , вмонтированного

в верхний электрод, а в камере 2 типа с гамма-источником  $^{60}\text{Co}$ , находившимся вне камеры. Работа с альфа-источником в камере 2 типа оказалась невозможной вследствие недостаточного светосбора.

## 2. Измерения в постоянных полях

Блок-схема экспериментальной установки для изучения влияния постоянного электрического поля на сцинтилляции в ЖС приведена на рис. 3. В опытах на камере, просматриваемой одним ФЭУ, блок-схема электроники была аналогична приведенной на рисунке, но без схемы совпадений и других блоков, относящихся ко второму ФЭУ. К верхнему электроду камеры подключался выход высоковольтного выпрямителя ВС-20-10, позволяющего получать напряжение до 25 кВ. Для контроля стабильности работы установки непосредственно перед фотокатодами ФЭУ располагались импульсные источники /ИИС/ - электролюминесцентные диоды, которые запитывались от генератора наносекундных импульсов.

На рис. 4 приведено типичное амплитудное распределение сигналов с ФЭУ, полученное в данных измерениях. На фоне шумов отчетливо виден пик от  $\alpha$ -частиц, а также два пика от ИИС. На основании этих данных вычислялись центры тяжести всех пиков. Статистическая ошибка определения положения центров тяжести не превышала 0,5%. На рис. 5 приведен график зависимости положения центра тяжести указанных пиков от напряженности постоянного электрического поля в рабочем объеме камеры. Полученные данные говорят о том, что амплитуда сцинтилляций, вызванных в ЖС  $\alpha$ -частицами с энергией 5 МэВ, в пределах  $\pm 1,5\%$  не зависит от величины электрического поля напряженностью до 45 кВ/см.

При дальнейшем увеличении поля в ЖС возникало большое число посторонних импульсов - электровспышек, амплитуды и длительности которых были сравнимы с амплитудами и длительностями  $\alpha$ -сцинтилляций. Как показали наблюдения на осциллографе, электровспышки возникали сериями длительностью порядка секунды. При из-

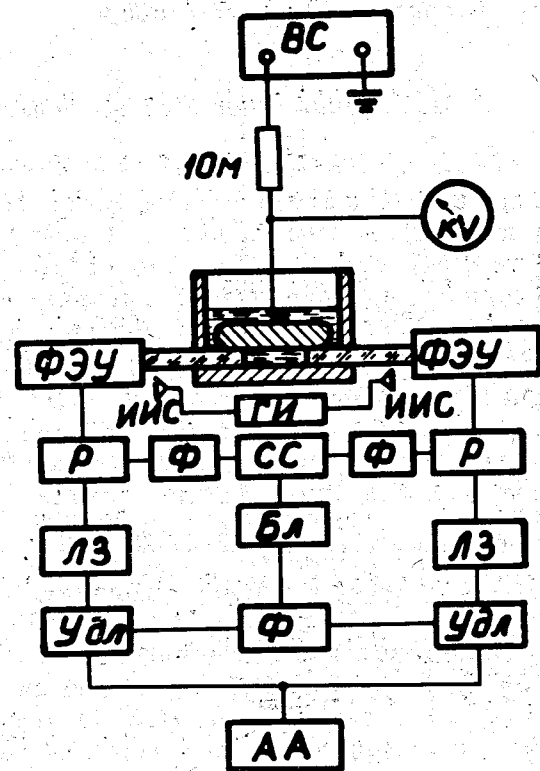


Рис. 3. Блок-схема установки для измерений в постоянном электрическом поле: ВС - высоковольтный стабилизированный выпрямитель; kV - электростатический киловольтметр; ИИС - импульсный источник света; ГИ - генератор наносекундных импульсов; Ф - формирователь импульсов; Р - разветвитель; СС - схема совпадений; Бл - схема блокировки; ЛЗ - линия задержки; Удл - удлинитель импульсов; АА - амплитудный анализатор.

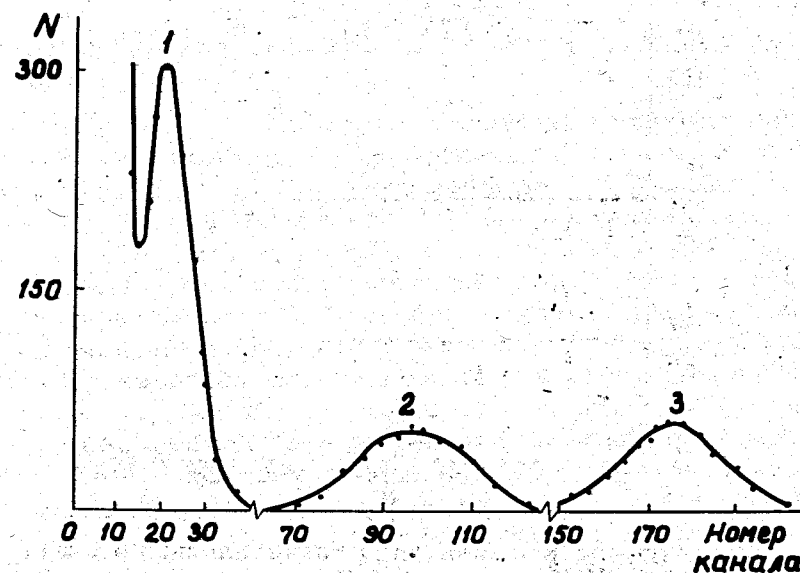


Рис. 4. Амплитудный спектр импульсов с ФЭУ, полученный при измерениях в постоянном электрическом поле: 1 - пик от  $\alpha$ -частиц  $^{239}\text{Pu}$ ; 2,3 - пик от ИИС.

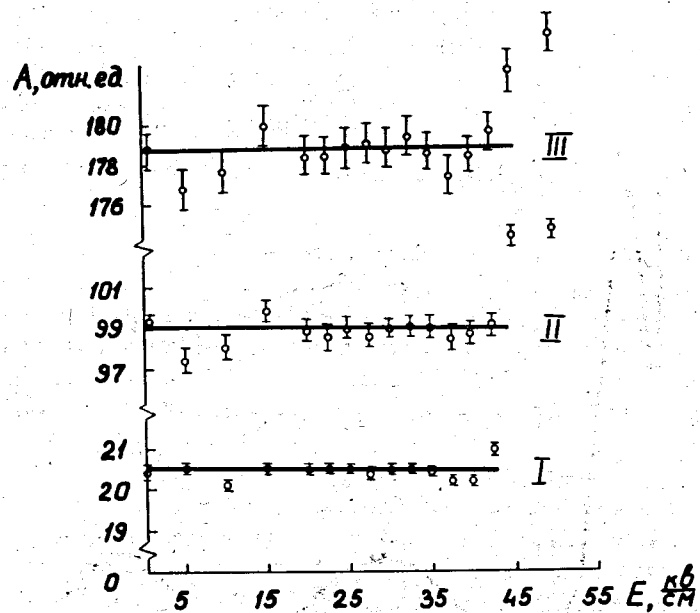


Рис. 5. Зависимость амплитуд  $\alpha$ -сцинтилляций и световых импульсов ИИС от напряженности постоянного электрического поля в рабочем объеме камеры: I - точки для  $\alpha$ -сцинтилляций; II и III - для ИИС.

мерениях наблюдались значительные флуктуации интенсивностей и амплитуд электровспышек, отмеченные ранее в других работах. Возникновение электровспышек не позволило проводить изучение амплитуд  $\alpha$ -сцинтилляций в полях свыше  $45 \text{ кВ/см}$  из-за невозможности выделения  $\alpha$ -пика на фоне этих посторонних импульсов. Следует отметить, что при этом было замечено смещение пиков, соответствующих ИИС в сторону больших амплитуд, что указывает на изменение режима работы ФЭУ, вследствие загрузки его большим количеством световых импульсов [7].

На рис. 6 приведены амплитудные спектры сигналов с ФЭУ, полученные при облучении камеры 2 типа  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$ . Распределение 1 было получено при отсутствии электрического поля, распределение 2 - в поле напряженностью  $50 \text{ кВ/см}$ , спектр 3 аналогичен спектру 2, но получен без  $\gamma$ -источника. Как видно из рисунка, распределение 2 соответствует сумме распределения 1 и распределения 3 /электровспышек/. Электровспышки в ЖС появились при напряженности электрического поля  $\geq 25 \text{ кВ/см}$ . На основании полученных данных можно утверждать, что амплитуда сцинтилляций, возбуждаемых в ЖС  $\gamma$ -квантами от источника  $^{60}\text{Co}$ , не зависит от величины постоянного электрического поля напряженностью до  $50 \text{ кВ/см}$ , действующего на сцинтиллятор.

Чтобы убедиться в том, что ФЭУ надежно заэкранирован от электрического поля рабочего объема камеры, фотокатод ФЭУ закрывался черной бумагой так, чтобы он видел ИИС, но перекрывал весь свет, идущий из рабочего объема камеры. В этом контрольном опыте даже при максимальной величине электрического поля в зазоре камеры /  $50 \text{ кВ/см}$  / не было замечено никаких изменений в амплитудном спектре от ИИС, что говорит о хорошей экранировке ФЭУ. В этих же измерениях не было замечено никаких дополнительных импульсов, кроме импульсов от ИИС, что свидетельствует о соответствии наблюдаемых в случае открытого рабочего объема камеры импульсов световым вспышкам в межэлектродном промежутке.

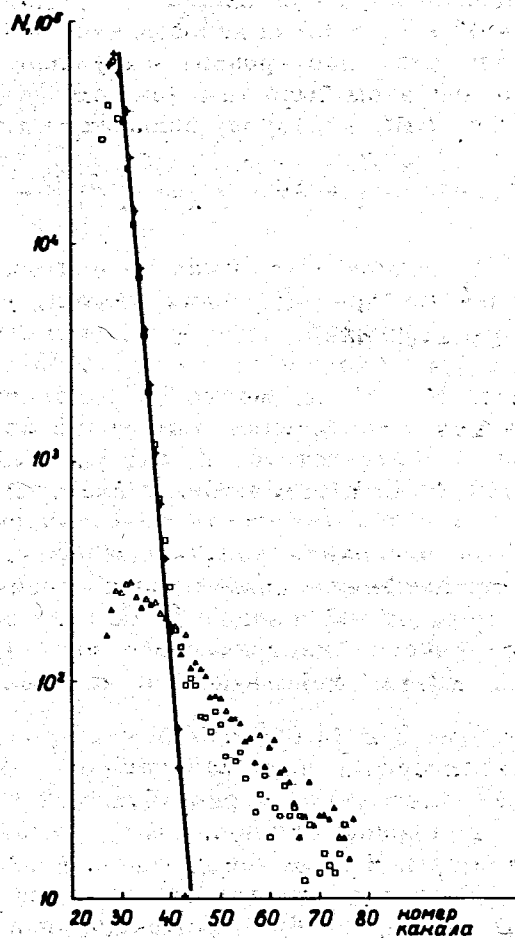


Рис. 6. Амплитудные спектры, полученные при облучении камеры  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$ : + - спектр 1 - электрическое поле отсутствует; □ - спектр 2 - напряженность постоянного электрического поля  $E = 50 \text{ кВ/см}$ ; Δ - спектр 3 - то же, что и 2, но без  $\gamma$ -источника.

В работе <sup>16/</sup> был обнаружен эффект инициирования электровспышек в ЖС  $\gamma$ -квантами. В наших условиях такого эффекта, как видно из рис. 6, не наблюдалось. Аналогичный результат получен при измерениях с  $\alpha$ -источником.

Следует отметить, что при работе с камерой нижний электрод которой представлял собой полупрозрачный слой напыленного на стекло металла, электровспышки появлялись уже при напряженности электрического поля  $\sim 10 \text{ кВ/см}$  /вероятно, это связано с неоднородностью напыленного слоя/. Вследствие этого в измерениях, проводимых с постоянным электрическим полем, камера данного типа не использовалась.

### 3. Изучение влияния импульсного электрического поля

Измерения проводились на установке, позволявшей изучать амплитуды сцинтилляции в различные моменты времени после подачи высоковольтного /ВВ/ импульса. Блок-схема установки показана на рис. 7. Импульс с генератора  $\Gamma_1$  запускал генератор импульса высокого напряжения ГИН и поступал на запуск амплитудного анализатора АА, а также на вход одновибратора О, длительность сигнала с которого определяла временной интервал после подачи ВВ импульса, в течение которого проводились амплитудные измерения. Импульс с выхода О подавался на вход схемы совпадений СС, на другой вход которой поступали сигналы с генератора  $\Gamma_2$ . Сигналы с выхода СС поступали на пересчетный прибор ПП с коэффициентом пересчета 64. Частота генератора  $\Gamma_2$  подбиралась так, чтобы за время длительности импульса с О на выходе ПП появилось примерно 32 импульса, которые через формирователь  $\Phi_2$  поступали на переключение групп памяти анализатора. Таким образом, стартовый импульс в момент времени  $t_0$  устанавливал нулевую группу и запускал амплитудный анализатор, а импульсы с выхода ПП осуществляли переключение групп памяти АА. Общее число групп  $n$  выбиралось рав-



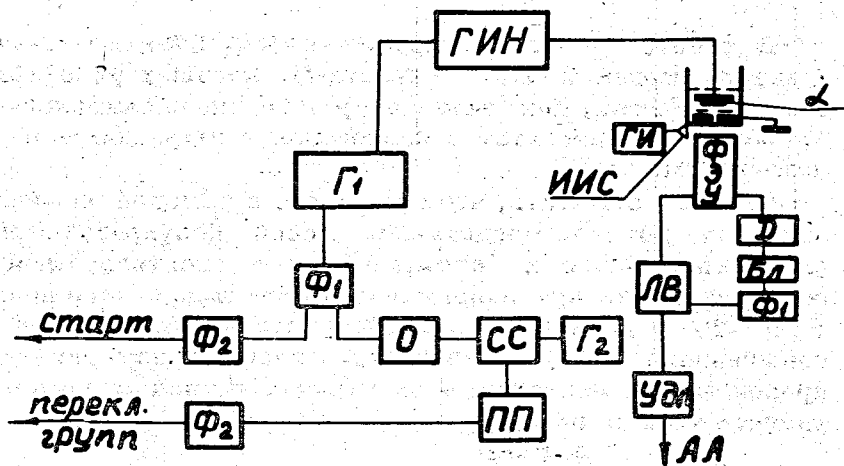


Рис. 7. Блок-схема установки для измерений в импульсных полях: ГИН - генератор импульсов высокого напряжения;  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  - генераторы импульсов;  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  - формирователи; О - одновибратор; СС - схема совпадения; ПП - пересчетный прибор; ЛВ - линейные ворота; Д - дискриминатор; Бл - схема блокировки; Удл. - удлинитель; ГИ - генератор наносекундных импульсов;  $\alpha$  - альфа-источник; ИИС - импульсный источник света.

ным - 32, число каналов в группе - 128. Время, в течение которого происходит набор спектра в одну группу, определяется соотношением  $t = T/n$ , где  $T$  - длительность импульса на выходе одновибратора. Из-за того, что в данной схеме не производится сброса показаний пересчетного прибора после окончания серии импульсов, переключающих группы, происходило смещение момента времени переключения нулевой группы в пределах от 0 до  $t$ . Таким образом, набор в нулевую группу происходил в интервале от 0 до  $t$  после подачи высоковольтного импульса, в первую группу - от 0 до  $2t$ , во вторую - от  $t$  до  $3t$  и т.д., в  $n$ -ю группу - от  $(n-1)t$  до  $(n+1)t$ .

Полученные спектры обрабатывались так же, как и в случае измерений с постоянным электрическим полем.

На рис. 8 приведены зависимости положения центров тяжести пиков от  $\alpha$ -частиц и ИИС от времени, прошедшего после подачи ВВ импульса длительностью 150 нсек, для разных значений амплитуд напряженности импульсного электрического поля. Полный диапазон времени после

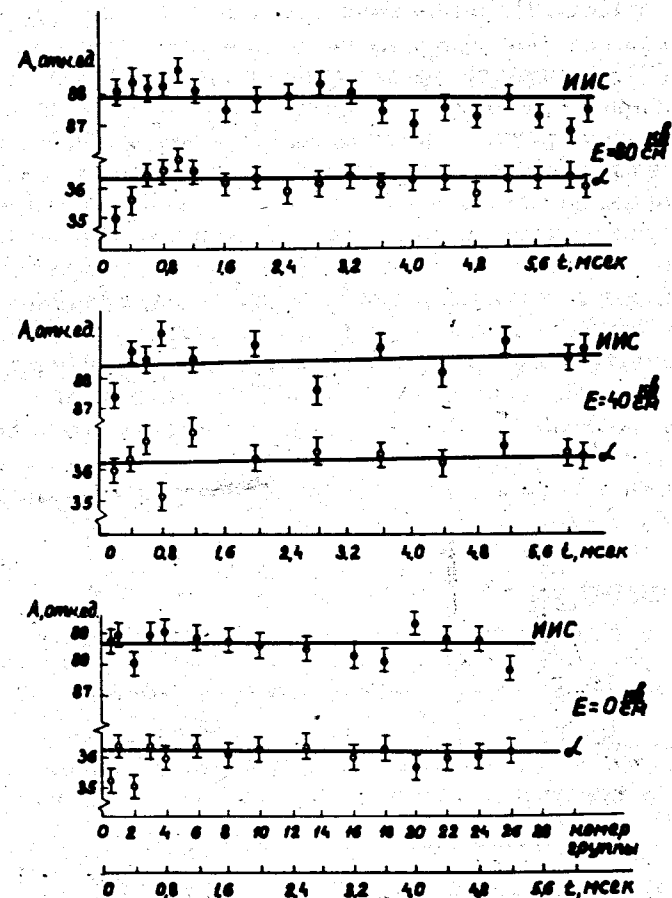


Рис. 8. Зависимости амплитуд  $\alpha$ -сцинтилляций и световых импульсов ИИС от времени, прошедшего с момента подачи высоковольтного импульса, при разных значениях амплитуд напряженности импульсного поля:  $\circ$  - точки, соответствующие  $\alpha$ -частицам;  $\bullet$  - точки для ИИС.

подачи ВВ импульса, в течение которого производились амплитудные измерения  $T = 9$  мсек, время набора в одну группу  $t = 200$  мсек. В нулевой группе /время регистрации от 0 до 200 мсек/ уже при напряженности  $E = 40$  кВ/см не наблюдалось никаких пиков, в то время как в следующей группе /время регистрации от 0 до 400 мсек/ на фоне шумов различаются как  $\alpha$ -пик, так и пик от ИИС. На основании этого можно сделать вывод, что в опытной камере с напыленным электродом в момент подачи ВВ импульса происходит сильная световая вспышка, которая приводит к перегрузкам ФЭУ и выходу его из рабочего режима по питанию, в результате чего он становится фактически нечувствительным к световым импульсам на время  $\sim 100$  мсек<sup>17/</sup>. На рис. 9 приведена полученная из данных рис. 8 зависимость положения центра тяжести  $\alpha$ -пика от амплитуды напряженности импульсного электрического поля в определенные моменты времени после подачи ВВ импульса. На основании полученных данных можно утверждать, что амплитуда сцинтилляций, вызванных в ЖС  $\alpha$ -частицами  $^{239}\text{Pu}$ , спустя 100 мсек после подачи электрического поля не меняется во времени и не зависит от амплитуды напряженности импульсного электрического поля в диапазоне  $0 \div 80$  кВ/см.

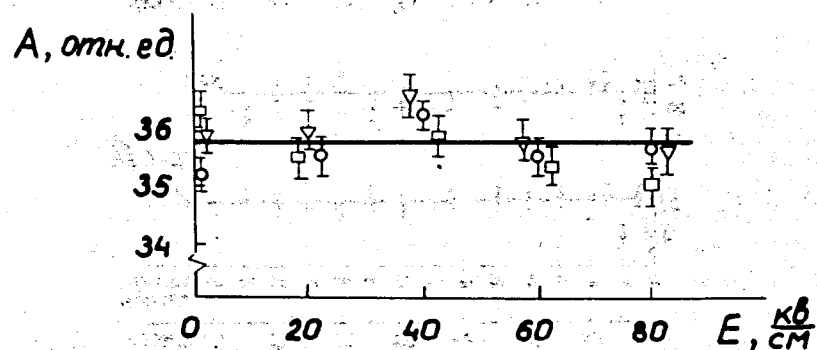


Рис. 9. Зависимость амплитуд  $\alpha$ -сцинтилляций от напряженности импульсного электрического поля при фиксированных моментах времени относительно подачи высоковольтного импульса:  $\square$  - 200 мсек;  $\Delta$  - 400 мсек;  $\Delta$  - 5 мсек.

На камере второго типа было проведено изучение влияния импульсного электрического поля на амплитуду сцинтилляций, вызванных  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$ . Длительность ВВ-импульса - 1,5 мсек. Полный диапазон времени после подачи ВВ импульса, в течение которого производились амплитудные измерения -  $T = 80$  мсек, время набора в одну группу -  $t = 4$  мсек.

На рис. 10 приведены зависимости положения края

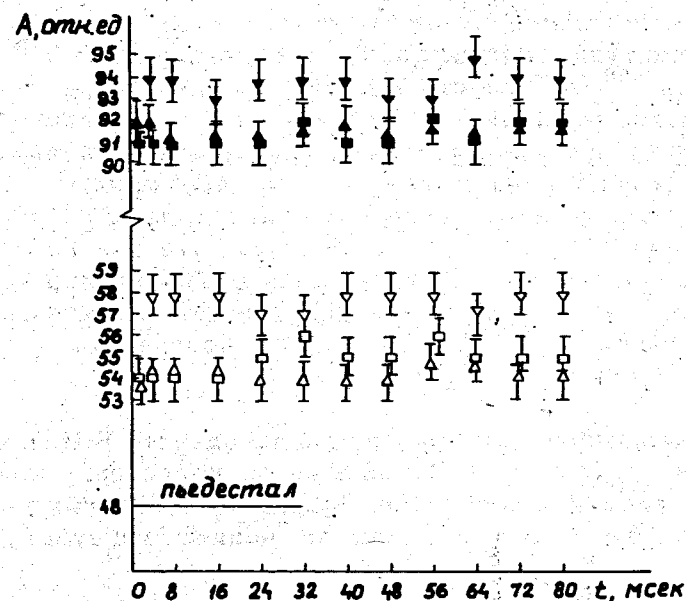


Рис. 10. Зависимости амплитуд  $\gamma$ -сцинтилляций и световых импульсов ИИС от времени, прошедшего с момента подачи высоковольтного импульса, при разных значениях амплитуд напряженности импульсного поля.  $\square$ ,  $\Delta$ ,  $\nabla$  - точки, соответствующие амплитудам  $\gamma$ -сцинтилляций при напряженностях полей 0, 20 и 40 кВ/см, соответственно.  $\blacksquare$ ,  $\blacktriangle$ ,  $\blacktriangledown$  - аналогичные точки, соответствующие ИИС.

спектра от  $\gamma$ -квантов и центра тяжести пика от ИИС от времени, прошедшего после подачи ВВ импульса, для разных значений амплитуд импульсного электрического поля. При напряженностях импульсного поля 30

и 40 кВ/см в нулевых группах /время измерения от 0 до 4 мсек/ также не наблюдалось никаких пиков, что, по-видимому, обусловлено причинами, упомянутыми выше. Как видно из рисунка, при напряженности электрического поля 40 кВ/см произошло некоторое смещение края спектра от  $\gamma$ -квантов в сторону больших амплитуд, при этом, однако, примерно такое же смещение наблюдалось и для центра тяжести контрольного пика от ИИС, что указывает на аппаратный характер данного эффекта. На основании полученных данных можно утверждать, что амплитуда сцинтилляций, возбуждаемых в ЖС  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$ , спустя 2 мсек после подачи электрического поля не меняется во времени и в пределах  $\pm 15\%$  не зависит от амплитуды напряженности импульсного электрического поля в диапазоне  $0 \div 40$  кВ/см.

Полученные нами данные не подтверждают результатов работы <sup>5/</sup>, из которых следует, что при перепаде напряженности электрического поля в 40 кВ/см происходит более, чем трехкратное уменьшение амплитуды  $\gamma$ -сцинтилляций от  $^{60}\text{Co}$  в ЖС на основе толуола на время  $\sim 1$  сек.

В заключение нам приятно поблагодарить В.И.Петрухина за поддержку, С.В.Медведя за подготовку нового режима работы анализатора АИ-4096, З.В.Крумштейна, А.И.Ронжина и Б.Ю.Балдина за ценные консультации.

#### Литература

1. В.А.Григорьев, В.К.Ляпидевский, И.М.Ободовский, В.В.Рыльцев. ПТЭ, 5, 97 /1966/.
2. Б.Т.Федюшин. Оптика и спектроскопия, 13, 558 /1962/.
3. И.И.Ломоносов, Ю.А.Немилов. ФТТ, 2, 1629 /1960/.
4. Я.Н. Захарько, Т.Н.Триска. Укр.физ.журнал, 10, 1123 /1965/.
5. Л.Я.Жильцова, Е.Н.Матвеева, М.Н.Медведев. ПТЭ, 4, 57 /1969/.
6. П.И.Голубничий, В.Д.Гончаров, А.Н.Лукин, Х.В.Пропопов. ДАН СССР, 180, 4, 828 /1968/.

7. М.Ю.Казаринов, Р.Ляйсте, Ю.П.Мерков, В.И.Петрухин, А.И.Ронжин, Н.Н.Хованский, З.Цисек.  
ПТЭ, 1, 87 /1973/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 апреля 1974 года.