

СЗ44.1м

Б-934



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

---

М.М. Бутслов, В.И. Комаров, О.В. Савченко, Л.М. Сороко

1618

ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ КАМЕРА  
СО СЦИНТИЛЛЯТОРОМ,  
НАБРАННЫМ ИЗ ПЛАСТМАССОВЫХ НИТЕЙ

ТФЭ, 1965, №3, с. 84-87.

М.М. Бутслов, В.И. Комаров, О.В. Савченко, Л.М. Сороко

1818

С344.1 2

Б-934

2396/3 чг.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ КАМЕРА  
СО СЦИНТИЛЛЯТОРОМ,  
НАБРАННЫМ ИЗ ПЛАСТМАССОВЫХ НИТЕЙ

Направлено в ПТЭ



Дубна 1964

Люминесцентная камера была впервые предложена и создана Е.К. Завойским и сотрудниками в 1955 г.<sup>/1/</sup>. В последующее время этот прибор непрерывно совершенствовался как в Советском Союзе<sup>/2-4/</sup>, так и в других странах<sup>/5/</sup>, и в настоящее время определено два типа люминесцентных камер, в одном из которых используется однородный сцинтиллятор  $\text{NaI}(\text{Tl})$  или  $\text{CsI}(\text{Tl})$ , в другом - сцинтиллятор, набранный из пластмассовых нитей<sup>/6,7/</sup>.

При использовании сцинтиллятора из нитей значительно увеличивается количество света, попадающего на первый фотокатод усилителя яркости, просто решается проблема с глубиной резкости во всем рабочем объеме сцинтиллятора, и становится возможным использовать в качестве основы сцинтиллятора вещества, содержащие водород.

В первом варианте люминесцентной камеры со сцинтиллятором, набранным из нитей<sup>/4/</sup>, наличие оптической связи между экраном первого преобразователя и фотокатодом усилителя яркости приводило к значительной потере светового излучения, в результате чего общее количество светящихся точек по всей длине трека было приблизительно в 7 раз меньше, чем среднее число сцинтиллирующих нитей на пути прошедшей через объем сцинтиллятора заряженной частицы.

В настоящей работе с помощью другого типа усилителя яркости и путем улучшения оптической связи с первым преобразователем удалось примерно на порядок увеличить количество светящихся точек на длине трека и получить четкие изображения треков космических частиц с минимальной ионизацией.

Общая схема люминесцентной камеры (ЛК) показана на рис. 1. Основными элементами установки являются: сцинтиллятор из пластмассовых нитей (СН), однокамерный электронно-оптический преобразователь (ОП) с рабочим диаметром фотокатода 150 мм, объектив (О) для передачи изображения с экрана однокамерного преобразователя на вход усилителя яркости, многокаскадный электронно-оптический преобразователь (ЭОП), фотоаппарат (ФА) для регистрации событий, система питания и управления всей установкой (СУ), (СС), позволяющая выделять и фотографировать интересные события.

Сцинтиллятор камеры имел размеры  $15 \times 15 \times 20 \text{ см}^3$  и был набран примерно из 15000 нитей, уложенных слоями, отделенными друг от друга листами тонкой черной

бумаги. Помимо этого, верхние и нижние слои камеры чередовались со слоями свинца толщиной 0,1 мм и 1 мм. Сцинтиллирующие нити диаметром около 1 мм вытягивались из расплава блочного полимеризата, приготовленного на основе полистирола с добавкой 2% терфенила и 0,02% P<sub>10</sub>P<sub>10</sub><sup>6/</sup>. Торцы нитей вплотную примыкали к наружной поверхности фотокатода, имевшего сферическую форму с радиусом кривизны 120 мм и толщиной стекла 1 мм. Перенос изображения с экрана однокамерного преобразователя на вход усилителя яркости осуществлялся с помощью оптической системы, состоящей из рентгеновского объектива и одиночной линзы, помещенной вблизи фотокатода многокаскадного усилителя света. При выбранном коэффициенте увеличения переносимого изображения, равном 3:4, относительное отверстие всей оптической системы, измеренное экспериментально, равнялось  $\approx 1:0,8$ , а коэффициент прозрачности в области длин волн, соответствующей спектру высвечивания люминофора однокамерного преобразователя, составлял  $\approx 0,7$ . В этом случае на вход усилителя яркости передавалось до 6,5% общего количества света, испускаемого люминофором однокамерного преобразователя (в предположении, что распределение излучения подчиняется закону Ламберта).

Система управления ЛК состояла из двух сцинтилляционных счетчиков ( $C_1$  и  $C_2$ ), включенных в схему совпадений и располагаемых сверху и снизу сцинтиллятора из нитей. В нормальном режиме ожидания событий однокамерный преобразователь запитывался постоянным напряжением, и изображения всех треков заряженных частиц, пересекающих рабочий объем сцинтиллятора ЛК, передавались на вход усилителя яркости. Второй и последний каскады усилителя яркости работали в режиме электронно-оптического затвора. Если через сцинтилляционные счетчики и чувствительный объем сцинтиллятора проходила заряженная частица, то усиленный импульс совпадений запускал две схемы управления.

В первой схеме управления формировался прямоугольный импульс с передним фронтом  $\approx 1$  мксек, длительностью  $\approx 60$  мксек и амплитудой 7 кв. Этот импульс открывал первый электронно-оптический затвор, и изображение интересующего события пропусклось на последующие каскады усилителя яркости. Так как время высвечивания люминофора однокамерного преобразователя составляет около 1 мксек, а время высвечивания первого экрана усилителя яркости составляет несколько десятков микросекунд, то для достижения оптимального коэффициента усиления света первая схема управления выдавала импульс, задержанный на 4 мксек.

Общая схема этого генератора импульсов изображена на рис. 2. Задержанный на 4 мксек импульс со схемы совпадений запускал блокинг-генератор, собранный на лампах  $L_1$  и  $L_2$ . Возникающий в анодной цепи блокинг-генератора импульс длительностью 2 мксек и амплитудой около 300 в передавался через трансформатор на сетку тиратрона  $L_3$ . В катодной цепи тиратрона формировался импульс положительной полярности, который преобразовывался генераторной лампой  $L_4$  в мощный, прямоугольный импульс

отрицательной полярности, используемый для отпирания первого электронно-оптического затвора. При таком способе управления усилителем яркости удалось свести к минимуму темновой фон первого и второго фотокатодов ЭОПа.

Для избежания вуалирования фотопленки при регистрации редких событий из-за слабого свечения последнего экрана, которое обусловлено темновым фоном третьего и последующего фотокатодов ЭОПа, импульсно запитывался и последний каскад усилителя яркости. Общая схема генератора импульсов для управления последним каскадом показана на рис. 3. Импульс со схемы совпадений преобразовывался в два последовательных импульса, разделенных интервалом времени 0,1 сек. Первый импульс запускал тиратрон  $L_1$ . В результате происходила перезарядка емкостей  $C_0$  и  $C_1$ , и возникающий в катодной цепи тиратрона положительный импульс подавался через разделительную емкость  $C_2$  на последний каскад усилителя яркости. Второй импульс запускал тиратрон  $L_2$ , в результате чего формировался задний фронт импульса, и последний каскад запирался снова. Описанная схема позволяла плавно менять амплитуду импульса до 12 кв.

С помощью этого варианта люминесцентной камеры было получено несколько сот фотографий треков частиц космического излучения. Некоторые из них приведены на рис. 4. Обработка полученной серии фотографий показала, что среднее число фотоэлектронов на всю длину трека частицы равняется примерно 100, т.е. в этом случае при числе нитей на всей длине траектории частицы в среднем около 100 каждая световая точка соответствует свечению отдельной нити. Это число светящихся точек примерно на порядок больше, чем в первом варианте ЛК<sup>4/</sup>, где использовался многокаскадный усилитель яркости с электронно-оптическим затвором в первом каскаде. Количественно это согласуется со следующим расчетом.

Космическая частица с минимальной ионизирующей способностью теряет в среднем в одной нити диаметром 1 мм количество энергии, равное  $2 \times 0,08 = 0,16$  Мэв, где 2-потеря энергии в Мэв на единицу длины, а 0,08 - средний путь частицы в нити. Так как конверсионная эффективность пластического сцинтиллятора составляет примерно 1%, то среднее количество фотонов, возникающих в отдельной нити, будет равняться  $1,6 \cdot 10^3 / \epsilon = 530$  фотонов, где  $\epsilon = 3$  эв есть энергия одного фотона. Часть из этих фотонов, равная  $1/2 (1 - 1/n) = 0,18$ , где  $n = 1,57$  - показатель преломления полистирола, испускается в одном направлении и за счет полного внутреннего отражения передается в сторону фотокатода. С учетом поглощения света в нити (коэффициент пропускания для этого случая равнялся  $\approx 0,75$ ) торца нити достигает  $530 \cdot 0,18 \cdot 0,75 = 70$  фотонов, которые при эффективности фотокатода 10% приводят к появлению 7 фотоэлектронов.

Так как эффективность экрана однокамерного преобразователя равняется приблизительно  $0,006^{1/8}$ , то при напряжении 12 кв количество фотонов, испущенных с



этого экрана и соответствующих свечению одной нити перед фотокатодом, будет равняться  $7:1,2 \cdot 10^4 \cdot 0,006/3 = 170$  фотонов. Оптическая система переноса изображения с экрана однокамерного преобразователя на вход многокаскадного усилителя яркости позволяет использовать только 6,5% общего светового излучения, возникающего в экране. В результате этого на фотокатод первого каскада усилителя яркости от изображения отдельной нити передается только  $170 \cdot 0,065 = 11$  фотонов, которые при эффективности фотокатода 10% вызывают появление в среднем только одного фотоэлектрона. Это и означает, что в описанном варианте ЛК возможно регистрировать световую точку в среднем от каждой нити, через которую прошла заряженная частица с минимальной ионизацией.

Поглощение света в пластмассовых нитях определялось экспериментально путем счета световых точек на длине трека частиц для двух положений сцинтилляционных счетчиков  $C_1$  и  $C_2$  относительно сцинтиллятора ЛК, соответствующих среднему увеличению пути прохождения света 10 см. Было найдено, что интенсивность света падает в  $e = 2,7$  раз на длине в 23 см. Это означает, что практически можно собирать сцинтиллятор из нитей, имеющих длину до 20 см.

Следует отметить, что в описанном варианте ЛК разрешающее время определяется временем высвечивания первого экрана многокаскадного усилителя яркости и составляет несколько десятков микросекунд. Это примерно на порядок больше, чем в первом варианте ЛК<sup>/4/</sup>, и поэтому описанный вариант может быть использован для наблюдения последовательности событий в интервале времени порядка 10 мксек или на пучках частиц пониженной интенсивности, где средний интервал времени между последовательно проходящими частицами больше, чем время высвечивания первого экрана усилителя яркости.

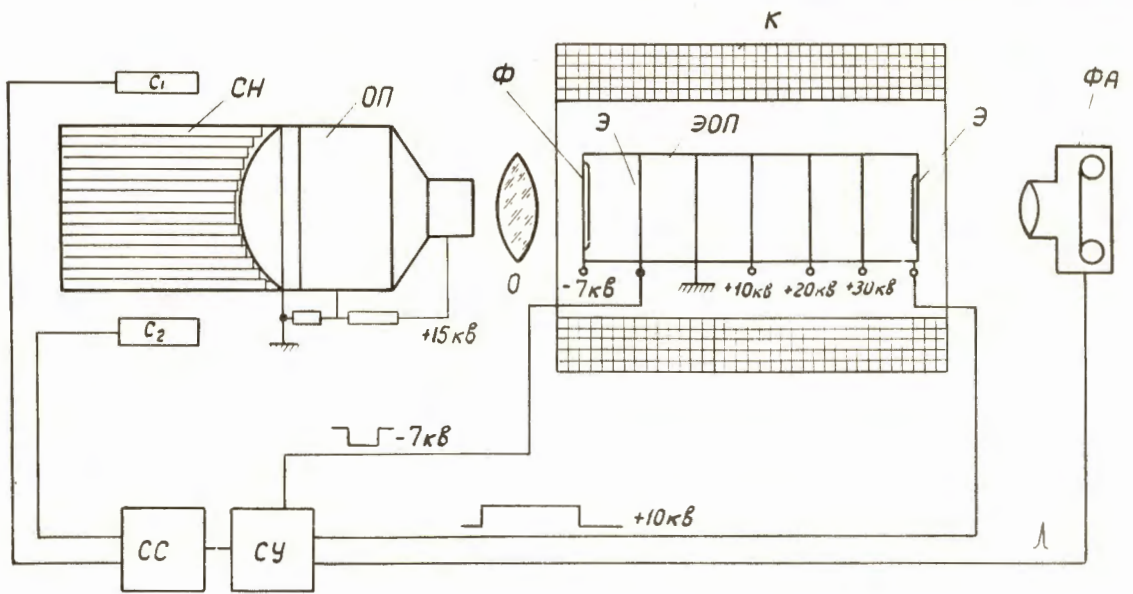
В последнее время в физике частиц высоких энергий широкое распространение получили искровые камеры. Сейчас трудно указать какую-либо физическую задачу для ЛК, которую нельзя было бы проще решить с помощью искровых камер, тем не менее в тех задачах, где требуется точно знать траектории частиц независимо от их направления, пробег частицы или ионизирующую способность, ЛК может быть использована с большим успехом<sup>/9,10/</sup>.

В настоящее время наметилось много путей конструирования более совершенных и простых усилителей яркости<sup>/5,11-13/</sup>. Осуществление таких систем позволит значительно упростить конструкцию ЛК и использовать ее столь же широко, как искровые камеры и сцинтилляционные счетчики.

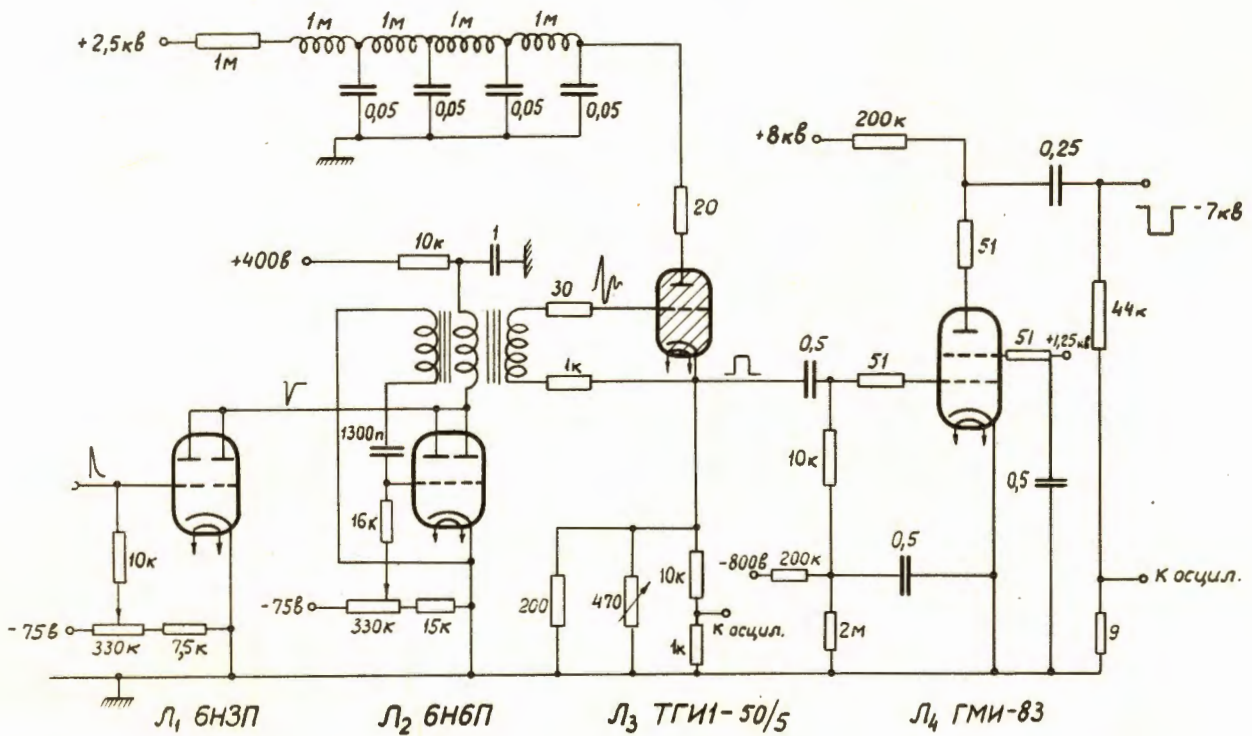
Л и т е р а т у р а

1. Е.К. Завойский, Г.Е. Смолкин, А.Г. Плахов, М.М. Бутслов. ДАН СССР, 100, № 2, 241 (1955).
2. Е.К. Завойский, М.М. Бутслов, А.Г. Плахов, Г.Е. Смолкин. Атомная энергия, 1, № 4, 34 (1956).
3. Б.А. Демидов, С.Д. Фанченко. ЖЭТФ, 39, 64 (1960).
4. Ю.К. Акимов, М.М. Бутслов, О.В. Савченко, Л.М. Сороко. Атомная энергия, 12, № 5, 413 (1962).
5. Advances in Electronics and Electron Physics. Volume 16 ( 1962).
6. О.В. Савченко. ПТЭ, № 4, 142 (1959).
7. G.T.Reynolds, P.E.Condon. Rev. Scient. Instr., 28, 1098 (1957).
8. A.E.Anderson, IRE. Trans. Nucl. Sci., 7, N2 -3, p. 133 (1960).
9. C.C.Peck, L.M.Jones, and M.L.Perl. Phys. Rev., 126, 1836 (1962).
10. G.T.Reynolds, D.B.Scarl, R.A.Swanson, J.R.Waters and R.A.Zdanis. Phys. Rev., 129, 1790 (1963).
11. Nucl. Instr, and Methods, 20, 221 (1963).
12. G.W.Goodrich, and W.C.Wiley. Rev. Scien. Instr., 33, 761 (1962).
13. Г. Петер, А.Ф. Писарев, К.М. Фальбрух. ПТЭ, 4, 128 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 марта 1964 г.

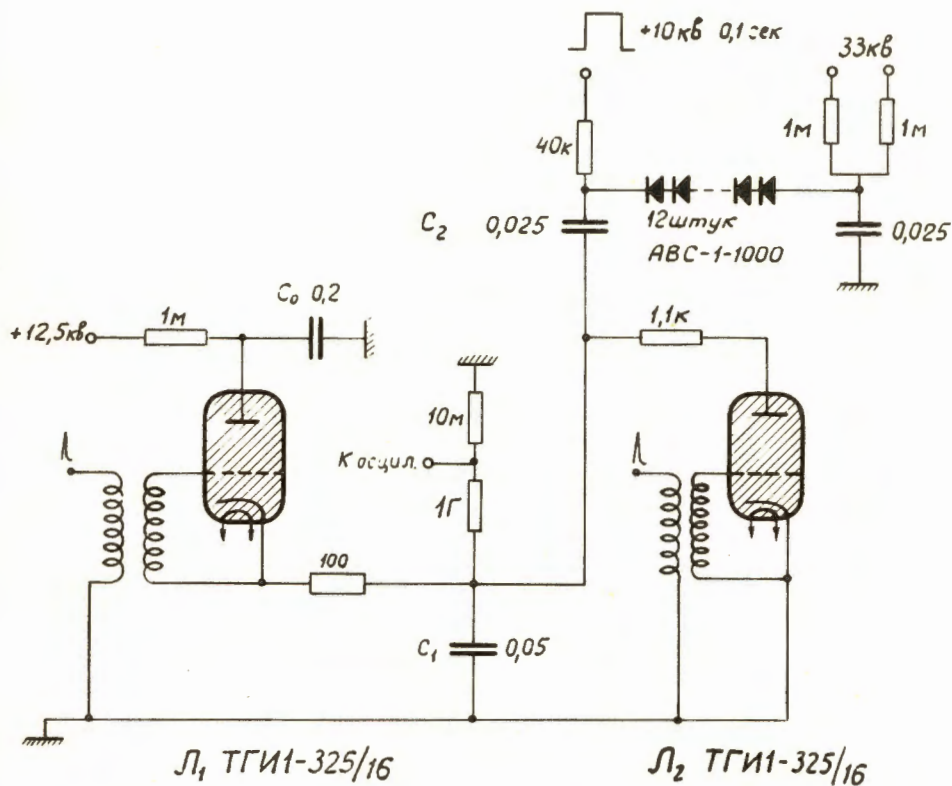


Р и с. 1. Общая схема люминесцентной камеры.



Р и с. 2. Схема генератора высоковольтных импульсов первого электронно-оптического затвора.





Р и с. 3. Схема генератора высоковольтных импульсов последнего каскада электронно-оптического преобразователя.



Р и с. 4. Фотографии треков космических частиц .