

ламп в зависимости от величины рабочих емкостей имеются критические частоты следования вспышек, при которых в лампе можно выделить наибольшую мощность.

#### Литература

1. Импульсные стробоскопические лампы, «Светотехника», 1960, № 9.  
 2. Маршак И. С. и Щукин Л. И., Jourп. SMPTE, 1961, т. 70, № 3.

3. Исаенко В. И. и Травлев Г. Н., ПТЭ, 1961, № 6.  
 4. Ванюков М. П. и Исаенко В. И., «Светотехника», 1960, № 3.  
 5. Ванюков М. П., Исаенко В. И. и Травлев Г. Н., ЖТФ, 1962, т. 32, № 6.  
 6. Ванюков М. П., Исаенко В. И. и Травлев Г. Н., ЖТФ, 1962, т. 32, № 3.  
 7. Früngel F., Thorward W. und Mahnan H., Phys. Verhandlungen, 1957, Bd. 8.

535.89

## РАДИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА С ТРИТИЕВЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

Инженеры И. П. СКЛЯРЕНКО, Ф. Е. КРИГМАН, В. И. ШЕСТЕРНЕНКОВ и А. П. КОЛЕСНИК

Макеевский институт по безопасности работ в горной промышленности

За последнее время в отечественной и зарубежной литературе начали появляться сообщения о новых атомных источниках света, в которых возбуждение люминофора происходит за счет энергии, выделяющейся при радиоактивном распаде атомов [Л. 1—8]. Механизм возбуждения люминофора при этом практически не стлчается от возбуждения, происходящего в процессе радиолюминесценции — свечения люминофора под действием электронной бомбардировки. Другим является только источник бомбардирующих частиц.

Исследования механизма свечения люминофоров и путей увеличения их яркости, проведенные в нашей стране [Л. 10—12] и за рубежом, а также появление в достаточно широком ассортименте сравнительно недорогих радиоактивных изотопов выдвинули задачу практической разработки атомных радиолюминесцентных источников света.

Первоначально атомные источники света начали использоваться в виде твердых светосоставов постоянного действия. Такие светящиеся массы, содержащие люминофор и радиоактивное вещество (обычно радий или мезоторий), применялись для циферблатов часов, шкал приборов и различных надписей. При сравнительно безопасном в смысле внешнего облучения содержании радиоактивного изотопа световая отдача таких источников ничтожно мала. В последнее время возник интерес к светосоставам, не содержащим в себе радиоактивных веществ, а облучаемым извне газообразным радиоактивным источником. Детальные исследования [Л. 2] показали, что использование бета-частиц для возбуждения люминофора имеет ряд существенных преимуществ перед использованием альфа-частиц.

Выгодность использования бета-излучения определяется тем, что при этом практически отпадает проблема старения люминофора и упрощается биологическая защита.

Анализ характеристик различных бета-излучателей с точки зрения возможности использования их в атомных источниках света проводился многими исследователями; основные отобранные ими изотопы представлены в табл. 1. Наиболее подходящими являются два радиоактивных газа: тритий и криптон-85. Оба эти изотопа испускают бета-частицы со сравнительно невысокой энергией, обладают значительным периодом полураспада и низкой токсичностью. Радиоактивность источника, содержащего 1 см<sup>3</sup> трития, составляет 2,58 кюри. При средней энергии бета-частиц, равной 5,7 кэв, средняя мощность, генерируемая источником, равна 87 мквт. Активность 1 см<sup>3</sup> чистого криптона-85 составляет 1,67 кюри, а средняя энергия бета-частиц равна 230 кэв. Следовательно, средняя мощность, генерируемая таким источником, составляет 68 мквт. Вполне естественно, что при столь малой мощности источника световой поток весьма низок. Так, если бы полную мощность этих светильников можно было бы преобразовать в излу-

Таблица 1

Изотоп	Период полураспада, годы	Максимальная энергия бета-частиц, Мэв	Токсичность
Тритий . . . . .	12,3	0,018	Низкая
Прометий-147 . . .	2,7	0,23	Средняя
Криптон-85 . . . .	10,6	0,67	Низкая
Стронций-90 . . . .	27,7	0,54	Высокая
Таллий-204 . . . .	4,3	0,77	Средняя

чение с длиной волны  $5500 \text{ \AA}$ , то лампа, содержащая  $1 \text{ см}^3$  трития, дала бы световой поток  $0,06 \text{ лм}$ , а лампа того же объема, наполненная трехпроцентной криптоновой смесью,  $0,05 \text{ лм}$ . Однако в созданных опытных образцах эти показатели еще не достигнуты.

Простое увеличение объема лампы не может дать большого эффекта, во-первых, вследствие неполного использования активности, во-вторых, из-за быстрого увеличения расхода газа. Так как средняя длина свободного пробега бета-частиц в тритии составляет около  $5 \text{ мм}$ , то применение лампы сферической формы диаметром больше  $10 \text{ мм}$  нецелесообразно, поскольку значительная часть излучения не будет использована. В этом отношении несколько большие возможности предоставляет лампа с криптоновым наполнением вследствие большего свободного пробега бета-частиц в криптоне. Однако увеличение объема и, следовательно, активности криптона вызывает повышение интенсивности сопутствующего гамма-излучения. К этому же результату приведет и заполнение колбы меньших размеров чистым криптоном-85. Лампа с гамма-излучением значительной интенсивности нуждается в биологической защите, которая делает светильник громоздким, тяжелым и малопрактичным. При увеличении радиуса сферической лампы ее объем, а следовательно, и количество радиоактивного газа возрастают в кубической зависимости от радиуса, в то время как увеличение светящей поверхности происходит только в квадратичной зависимости. По-видимому столь незначительные световые потоки вряд ли позволят применить атомные источники света для целей общего освещения.

Вместе с тем яркость атомных источников света вполне достаточна для практического использования их в целях сигнализации. В данной работе ставилась цель получения светосигнальных источников, применимых в условиях угольных шахт. В этой области недостаток в надежных средствах световой сигнализации очень осязателен. Специфические условия шахт требуют большого количества световых указателей и вместе с тем резко ограничивают использование обычной электроосветительной аппаратуры. Применение радиoluminesцентных источников, не требующих питания, взрывобезопасных и способных излучать длительное время, представляется весьма перспективным.

В качестве рабочего изотопа был выбран тритий, поскольку конструкция источника с тритием гораздо проще, безопасность его

значительно выше, кроме того, тритий гораздо дешевле и доступнее криптона.

Выбор люминофора определялся главным образом необходимостью получения излучения в желто-зеленой части спектра, в области наибольшей чувствительности человеческого глаза. Из числа сернисто-цинковых люминофоров были взяты люминофоры марок ФК-106 и ФКП-03К, дающие максимум излучения в зеленой части спектра ( $520 \text{ нм}$ ), БМ-3 и Л-15, дающие максимум излучения в желтой части ( $550 \text{ нм}$ ). Лучшими оказались люминофоры марок ФК-106 и ФКП-03К.

Качественное нанесение светосостава на излучающую поверхность является одним из определяющих факторов получения удовлетворительных источников света. От состояния покрытия очень сильно зависят световая отдача и стабильность люминесцентных свойств слоя. Крайне важно в процессе нанесения не внести в слой люминофора каких-нибудь загрязнений. Большое значение имеют предварительная обработка стекла и материал, используемый в качестве связующего, которое скрепляет люминофор со стеклом. Связующий материал определяет толщину слоя люминофора и благодаря различному коэффициенту поглощения света влияет на величину световой отдачи.

Существует ряд способов нанесения люминофора на поверхность стекла. В данной работе был принят метод сухого напыления, заключающийся в продувании ампулы облаком люминофора, распыленного струей воздуха. Концентрация связующего и степень сушки его перед нанесением люминофора позволяют изменять в некоторых пределах толщину светящего слоя.

В качестве связующего было испробовано несколько составов: смесь  $5\%$  фосфорной и борной кислот, насыщенный раствор борной кислоты, жидкое натровое стекло различных концентраций, раствор нитроклетчатки в изоамилацетате, раствор оргстекла в дихлорэтане. Лучшие результаты скрепления люминофора со стеклом получаются при использовании жидкого стекла в концентрации  $10\text{--}15\%$  и насыщенной борной кислоты. В этом случае слой получается наиболее прочным, зато жидкое стекло дает лучшие возможности регулировать толщину наносимого слоя люминофора.

Максимальный световой поток и яркость светильника удастся получить, если люминофором покрыто  $60\text{--}70\%$  внутренней поверхности ампулы. Остальные  $30\text{--}40\%$  поверхности ампулы, свободные от люминофора, представляют собой «окно» для выхода светового

потока [Л. 3—8]. Это полностью подтверждено и нашими данными.

Полученный нами тритий был адсорбирован порошком урана и находился в специальном аппарате, из которого был выделен в газообразном состоянии путем нагревания и переведен в специальную установку, откуда он мог отбираться дозированными порциями.

Известная удельная активность трития и соображения, связанные с длиной пробега бета-частиц трития, позволяют реально рассчитывать на активность порядка нескольких кюри в удобных по размерам ампулах. Максимальный пробег бета-частиц трития, как уже отмечалось, составляет примерно 5 мм. Поэтому светящийся элемент может представлять собой или шарик диаметром около 10 мм, или цилиндрическую ампулу такого же диаметра. Поскольку из цилиндрических ампул удобнее набирать любые светящиеся знаки, а также из технологических соображений, связанных с удобством очистки от люминофора окна для выхода света, цилиндрическая форма ампулы оказалась наиболее подходящей.

Было изготовлено несколько десятков таких ампул с внутренним диаметром 8 мм и длиной от 25 до 75 мм. Давление трития в различных ампулах колебалось от 150 до 320 мм рт. ст., активность — от 0,9 до 1,5 кюри. Максимальная яркость составила 6,5 нт.

В соответствии с тем, что главное назначение радиoluminesцентных светильников — сигнализация, основной их светотехнической характеристикой является яркость. На двух сериях цилиндрических ампул проверены зависимости яркости от активности при одина-

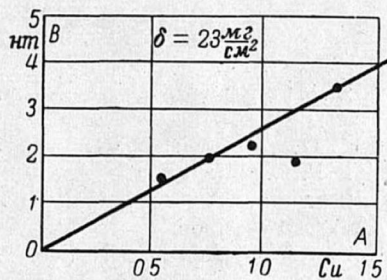


Рис. 1. Зависимость яркости источников от активности. Слой люминофора — 23 мг/см<sup>2</sup>.

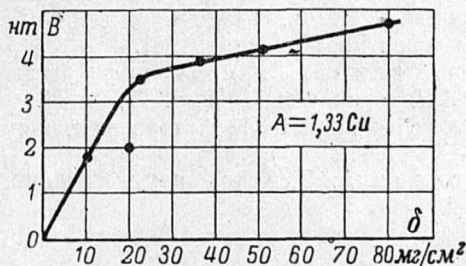


Рис. 2. Зависимость яркости источников от толщины слоя люминофора. Активность — 1,33 кюри.

ковой толщине слоя люминофора и от толщины слоя люминофора при одинаковой активности. Результаты измерений приведены на графиках (рис. 1 и 2). Объем ампул во всех случаях был одинаков и равен 1,5 см<sup>3</sup>. Как и следовало ожидать, яркость возрастает линейно с увеличением активности. Выпадение одной точки объясняется, по-видимому, дефектом изготовления ампулы. Зависимость от активности получается не совсем в чистом виде, так как, увеличивая активность, мы тем самым увеличиваем давление в ампуле, а следовательно, уменьшаем пробег бета-частиц. Поэтому истинная зависимость яркости от активности должна быть более резкой. Можно утверждать, что заметное падение роста яркости начнется при значительно больших давлениях, когда резко снизится пробег бета-частиц. Но в пределах использованных активностей еще нет бесполезного расхода трития, о чем свидетельствует линейность графика. Это позволяет с полным основанием использовать активности до 2—3 кюри.

На графике (рис. 2) видно, что зависимость яркости от толщины слоя люминофора быстро приходит к насыщению. Такого насыщения можно ожидать и при меньших толщинах. Слой сернистого цинка в 20 мг/см<sup>2</sup> уже в несколько десятков раз превышает толщину слоя, в котором происходит возбуждение люминофора. Рост яркости с толщиной слоя обусловлен увеличением общей поверхности зерен люминофора за счет рыхлости толстого слоя.

Сравнение ампул с одинаковыми условиями наполнения, но отличающихся типом люминофора показало, что зеленый люминофор ФК-106 обладает яркостью примерно на 20% выше, чем желтый БМ-3 (2,7 и 2,2 нт соответственно). Хороший результат дает смешение в равных количествах желтого и зеленого люминофоров. Получается спокойный, приятный для глаза цвет сигнала при практически той же яркости, что и с зеленым люминофором.

Видимость экспериментальных сигнальных источников в условиях, близких к шахтным, была специально проверена. В полной темноте ампулы видны на расстоянии свыше сотни метров. В реальных условиях необходимо знать видимость сигнала на некотором расстоянии в том случае, если отмеченный сигнальным устройством объект слабо освещен посторонними источниками света. Может оказаться, что это постороннее освещение недостаточно для того, чтобы четко различить предмет, и в то же время препятствует различимости сигнала. Поэтому наблюдения проводи-

Таблица 2

Освещенность объекта, лк	Различимость сигнала	Различимость объекта
0,6	Виден четко	Почти неразличим
1,5	Виден четко	Виден четко
3,4	Почти неразличим	Виден четко
3,4	Хорошо виден с расстояния 15 м	Виден четко

лись в следующих условиях. Ампулы располагались на наблюдаемом объекте и рядом с ними помещался фотоэлемент люксметра. На объекте создавались различные освещенности, измеряемые люксметром. Наблюдение осуществлялось с расстояния 40 м. Результаты наблюдений, как видно из табл. 2, оказались вполне удовлетворительными. Сигнал четко различается при посторонней освещенности порядка 1,5 лк.

В месте расположения сигнальных источников в шахте могут иметь место как освещенности ниже 0,6 лк, так и освещенности выше 3,4 лк. В первом случае видимость сигнала при уменьшении освещенности возрастает,

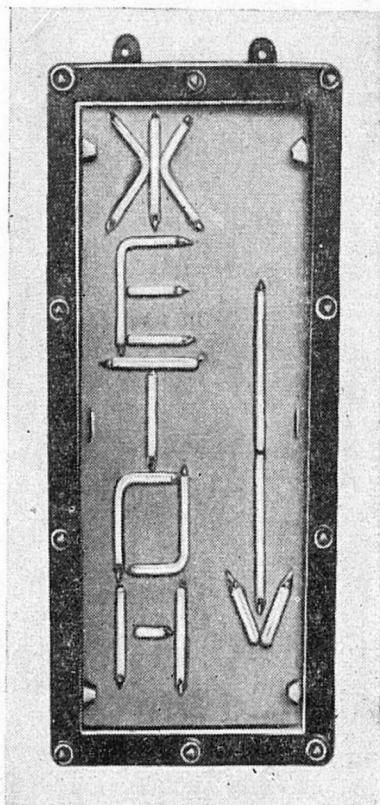


Рис. 3. Внешний вид светосигнального устройства.

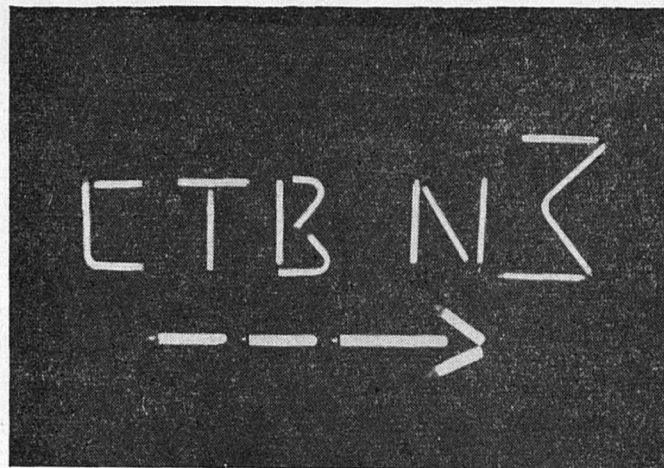


Рис. 4. Светосигнальное устройство (снимок в полной темноте).

во втором случае сигнал просто не нужен, так как объект хорошо виден.

В настоящее время изготовлено несколько сигнальных устройств, которые проходят промышленные испытания на одной из шахт Донбасса. Внешний вид и вид в темноте одного из таких устройств показан на фотографиях (рис. 3 и 4).

Предварительные результаты промышленных испытаний, а также светотехнические измерения показали, что сигнальные устройства такого типа могут с успехом применяться в горнорудной промышленности. По-видимому, радиолюминесцентные сигнальные источники смогут найти применение и в других отраслях промышленности.

#### Литература

1. Левшин В. Л., Панасюк Е. И. и Пахомычева Л. А., Изв. АН СССР, серия физ., 1957, т. 21, № 4.
2. Уоллхаузен, Мирное использование атомной энергии, Машгиз, 1957, т. IV.
3. Wilson E., Hughes G., Nucl. Energy Eng., 1959, v. 12.
4. Wilson E., Die Atomwirtschaft, 1959.
5. Nowacki P., Źródła światła oparte na wykorzystaniu izotopów promieniotwórczych Publikacja wewnętrzna, I. B. J., Warszawa, 1960.
6. Signal Section AAR, Advance Notice, 1958, v. 55, № 1.
7. Mod. Railroads, 1958, № 12.
8. Белов К., «Атомная техника за рубежом», 1959, т. 12, № 32.
9. Тулицын И. Ф., Тяжелые изотопы водорода дейтерий и тритий, Госатомиздат, 1961.
10. Марковский Л. Я., Смирнова Р. И., Изв. АН СССР, серия физ., 1959, т. 23, № 11.
11. Долгополов В. И., Авторское свидетельство № 58817, 1941.
12. Москвин А. В., Катодолюминесценция, ОГИЗ, 1948, ч. 1—2.