

Участие электронных уровней синтина в образовании центров люминесценции

А. М. Пшуков, И. К. Азизов, Э. Х. Шериева

Задачей данных исследований является создание материалов, обладающих необходимыми свойствами для регистрации ионизирующих частиц. В связи с поставленной задачей были выбраны образцы, которые служили матрицей для регистрации частиц нейтрино, основанных на создании центров свечения (люминесценции) в них. Таким материалом служил синтин, в который добавляли различные вещества, образующие в них центры люминесценции в заданном диапазоне длин волн. Исследования проводились с помощью газового хроматографа, оснащенного пламенно-ионизационным детектором, спектрофотометром ПЭ-3000 УФ, со спектральным диапазоном от вакуумного ультрафиолетового излучения с длиной волны 190 нм до инфракрасного с длиной волны 1100 нм, люминесцентные исследования проводились, помещая образцы в вакуумную установку для оптических измерений.

Ключевые слова: синтин, люминесценция, оптические свойства, добавка PPO, добавка POPOP.

Ссылка: Пшуков А. М., Азизов И. К., Шериева Э. Х. // Прикладная физика. 2019. № 3. С. 86.

Reference: A. M. Pshukov, I. K. Azizov, and E. Kh. Sherieva, Prikl. Fiz., No. 3, 86 (2019).

Введение

В последнее время активно обсуждается ряд проектов по созданию больших сцинтилляционных жидкостных детекторов для регистрации нейтринных потоков от различных природных источников [1–6].

В Институте ядерных исследований РАН ведутся исследования, связанные с разработ-

кой проекта по созданию большого сцинтилляционного детектора в Баксанской нейтринной обсерватории (БНО) [1].

На данном этапе при создании жидкостных сцинтилляторов обычно большое внимание уделяется концентрации изотопа ^{14}C [1–4].

В этой связи было предложено осуществить синтез смеси предельных углеводородов по методу Фишера–Тропша, причем с использованием в качестве исходного сырья для синтеза ископаемого угля.

Занимаясь созданием лабораторной установки для получения смеси предельных углеводородов по методу Фишера–Тропша, мы столкнулись с рядом рисков, связанных с данной установкой. Во-первых, это высокая температура, порядка 1200 °С, и во-вторых, необходимость работы с водородом (т. е. со взрывоопасным веществом).

В связи с указанными рисками было принято решение найти аналог имеющихся в производстве продуктов, похожих по своим свойствам на смеси предельных углеводородов. Такой аналог был найден: данным веществом является «синтин» (разработанное в СССР синтетическое высокоэнергетическое

Пшуков Адам Музарифович¹, с.н.с., доцент, к.ф.-м.н.

Азизов Исуф Кадырович², директор центра ДПО, д.ф.-м.н., профессор.

Шериева Эльвира Хусеновна², соискатель, вед. инженер.

¹ Филиал Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН (БНО ИЯИ РАН).

Россия, 361609, Кабардино-Балкарская Республика, Эльбрусский р-н, пос. Нейтрино.

Тел. +7(903) 494-31-39. E-mail: pshukov1959@mail.ru

² Институт физики и математики Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х. М. Бербекова.

Россия, 360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

Тел.: +7(960) 423 10-05, +7(928) 700 36-12.

E-mail: kocev.isuf@mail.ru; teuva.ella@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13 марта 2019 г.

углеводородное ракетное топливо), основные характеристики, приведенные в паспорте на синтин, выглядят следующим образом (см. табл. 1).

Целью данной работы является исследование свойств и характеристик синтина, выступающего в качестве матрицы для регистрации частиц нейтрино путем создания центров свечения (люминесценции) в нем.

Определение состава синтина

Для исследования синтина были применены имеющиеся в распоряжении нашей лаборатории приборы и оборудование, В частности, на газовом хроматографе, оснащенный пламенно-ионизационным детектором, были получены хроматограммы как самого синтина, так и смеси синтин + РОРОР + РРО.

Заметим, что РОРОР – фенилоксазолил бензол – это органический люминофор синего

свечения для регистрации заряженных частиц, РРО – 2,5-дифенилоксазол – это детектор частиц, действие которого основано на регистрации световых вспышек в видимой или УФ-области, возникающих при прохождении заряженных частиц через сцинтиллятор.

Результаты измерений представлены на рис. 1 и рис. 2 в виде хроматограмм № 1 и № 2 соответственно.

На полученных хроматограммах четко видны основные компоненты, входящие в состав синтина, однако они пока не идентифицированы по причине отсутствия необходимых эталонных образцов в лаборатории. Судя по четкости пиков, можно только с уверенностью утверждать, что данный продукт является результатом органического синтеза. Идентификация компонентов позволит получать данный продукт в собственных лабораторных условиях.

Таблица 1

Основные характеристики синтина и смеси

Наименование показателей	Норма
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	0,740–0,760
Фракционный состав:	
– 10 % перегоняется при температуре, °С, не ниже;	115
– 90% перегоняется при температуре, °С, не выше	270
Зольность, в %, не более	0,005
Испытание на медной пластине	Выдерживает испытания
Кислотность, мг КОН на 100 см ³ продукта, не более	5,0
Наличие механических примесей и воды (H ₂ O)	Отсутствие

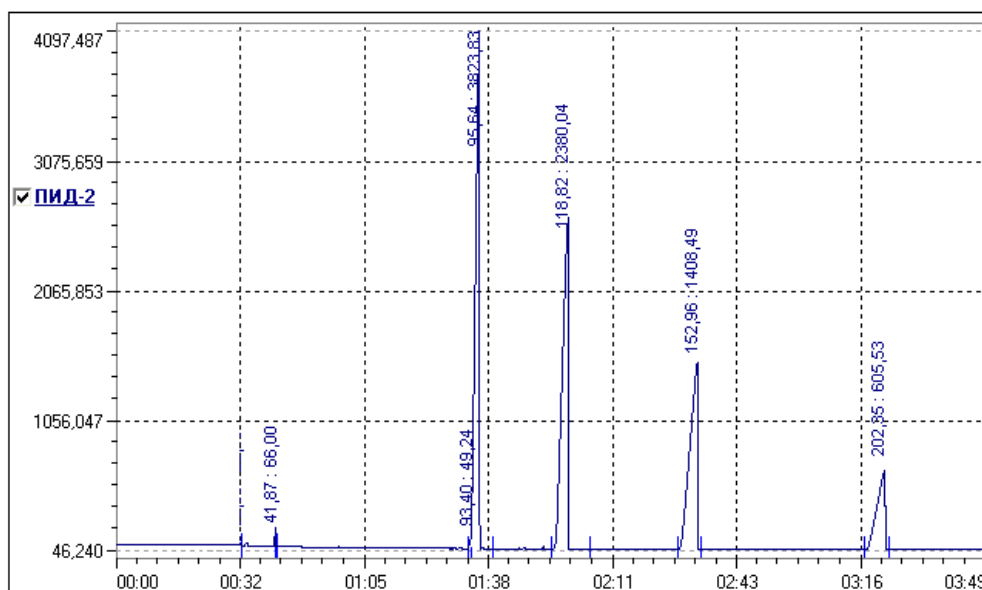


Рис. 1. Хроматограмма № 1. Синтин.

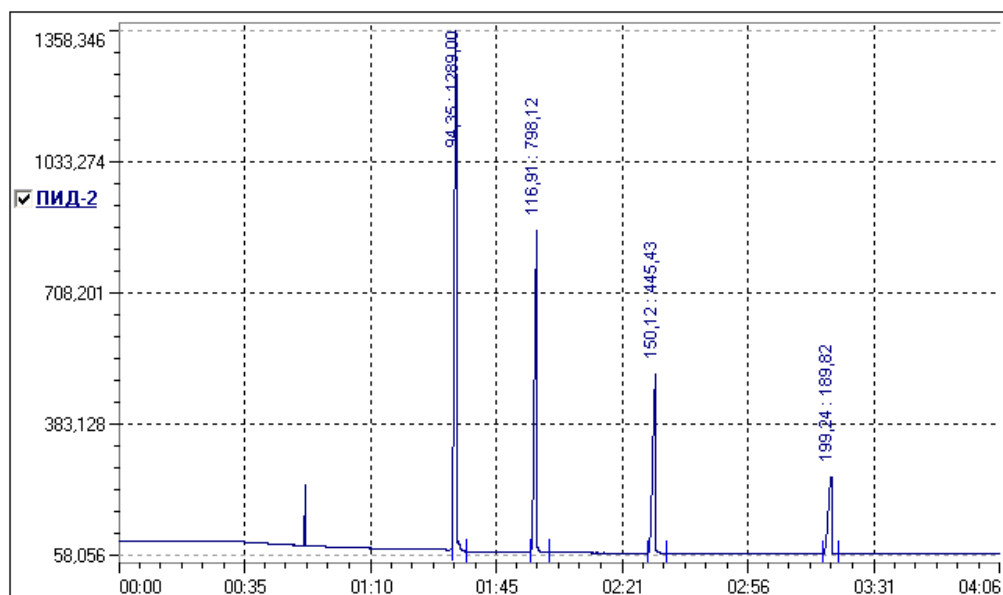


Рис. 2. Хроматограмма № 2. Синтин + РОРОР + РРО.

Измерение оптических свойств синтина

Исследование оптических свойств продукта проводилось на спектрофотометре ПЭ-3000 УФ, обладающего спектральным диапазоном от вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения 190 нм до инфракрасного (ИК) излучения 1100 нм.

С помощью данного прибора были определены значения оптической плотности и пропускания синтина в заданных диапазонах

длин волн, а именно, 340–380 нм и 400–440 нм. Измерения проводились в кюветках длиной 10 см.

Проведены также исследования спектров поглощения и оптической плотности синтина после введения в него последовательно шифтера (фенилоксазол ил бензол, РОРОР) и сцинтиллирующей добавки (2,5-дифенилоксазол, РРО). Состав смеси: РОРОР – 0,3 г/л, РРО – 1 г/л, синтин – 1 л. Результаты измерений представлены в виде табл. 2.

Таблица 2

Оптические характеристики синтина и смеси (синтин-РОРОР-РРО)

Длина волны, λ , нм	Оптическая плотность, А		
	Синтин	Синтин + шифтер (РОРОР)	Синтин + шифтер (РОРОР) + сцинтиллирующая добавка (РРО)
440	0,048	0,052	0,055
435	0,048	0,053	0,056
430	0,049	0,054	0,057
425	0,049	0,055	0,057
420	0,05	0,056	0,059
415	0,052	0,06	0,063
410	0,053	0,071	0,075
405	0,055	0,101	0,108
400	0,057	0,174	0,186
380	0,084	2,517	2,53
375	0,088	2,519	2,528
370	0,095	2,596	2,606
365	0,108	2,609	2,625
360	0,127	2,612	2,63
355	0,153	2,637	2,643
350	0,196	2,655	2,662
345	0,26	2,658	2,697
340	0,363	2,659	2,769

Из полученных данных стало ясно, что максимум поглощения чистого синтина, а также синтина с добавками находится примерно около 365 нм.

Исследование люминесцентных свойств синтина

Было изучено низко- и высокотемпературное свечение синтина, а также результаты взаимодействия синтина, содержащего добавки (2,5-дифенилоксазол, РРО) в замороженных при температуре кипения жидкого азота (-196 °С) образцах. Исследования проводились в вакуумной установке, позволяющей проводить измерения спектров поглощения и излучения в широком температурном интервале от -196 до +350 °С.

Возбуждение люминесценции при 77 °К и комнатной 20 °С температурах осуществлялось излучением с длиной волны 365 нм, соответствующей максимуму поглощения синтина. Для спектрального разложения свечения использовался двойной монохроматор ДМР-4 с фотоумножителем ФЭУ-83 в качестве приемника, при этом темновой ток гасился ком-

пенсационно. После записи сигнала ФЭУ вводилась поправка на спектральную чувствительность ФЭУ.

Спектральный состав исследованных образцов не меняется от температуры, меняется только интенсивность люминесценции.

Дальше речь будет идти только о низкотемпературной люминесценции образцов.

Чистый синтин люминесцирует с максимумом на длинах волн 400–415 нм, причем наблюдается фосфоресценция длительностью около 20 с. Спектры возбуждения и люминесценции представлены на рис. 3.

Образцы синтина с добавками РРО и РОРОР люминесцируют с максимумом излучения в диапазоне 450–480 нм. При этом интенсивность люминесценции синтина с добавкой РРО больше, чем с добавкой РОРОР. Исследованы люминесцентные свойства добавок в виде порошков, причем максимум спектра люминесценции добавки РР находится в диапазоне 420–440 нм, а образца Р – около 440–520 нм. Интенсивность люминесценции добавки Р больше в два и более раза, чем интенсивность люминесценции добавки РР.

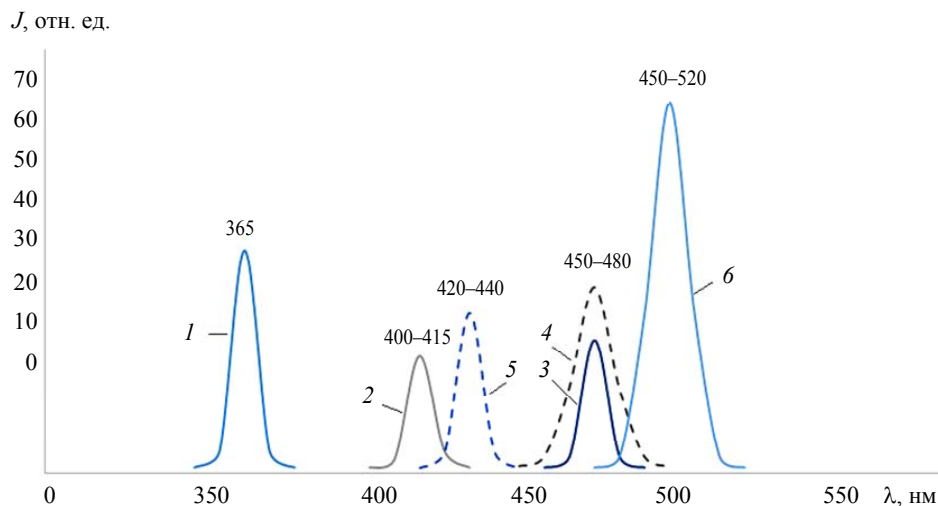


Рис. 3. Спектр возбуждения и люминесценции синтина с добавками: 1 – спектр возбуждения люминесценции; 2 – спектр люминесценции чистого синтина – раствор; 3 – спектр люминесценции синтина с добавкой РРО – раствор; 4 – спектр люминесценции синтина с добавкой РОРОР – раствор; 5 – спектр люминесценции порошка РР; 6 – спектр люминесценции порошка Р.

Обсуждение результатов

Результаты люминесцентных исследований говорят о том, что в синтине имеется довольно большое количество ловушек для

электронов, о чём свидетельствует наличие фосфоресценции. Это результат перераспределения электронов по мелким локальным уровням в запрещенной зоне по окончании возбуждения синтина.

Добавки, вводимые в синтин, образуют химическое соединение. Это видно по появлению нового максимума люминесценции, причем обе добавки образуют центры люминесценции одинаковой глубины захвата для электронов. Судя по интенсивности люминесценции, добавка РОРОР создает этих центров больше, чем добавка РРО.

Экспонирование добавок, представленных в виде порошка, излучением ртутной лампы с длиной волны 365 нм при комнатной температуре показало, что в образце РР происходят необратимые процессы (потемнение), чего не наблюдается у образца Р. Можно утверждать, что при действии ультрафиолетового излучения в образце РР происходит фотохимическая реакция, которая сильно уменьшает интенсивность люминесценции образца.

Заключение

Полученные данные по составу, оптическим и люминесцентным свойствам продукта

«синтин» позволяют предположить возможность использования данного образца в качестве материала при создании жидкого сцинтиллятора. Однако в связи с отсутствием сведений о радиоактивности данного материала, необходимо провести еще ряд исследований, связанных с определением содержания изотопа углерода ^{14}C .

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанов И. Р., Новикова Г. Я., Синев В. В., Янович Е. А. Препринт № 1228, ИЯИ (Москва, 2009); arXiv: 0908.1466 [hep-ph].
2. Buck C. et al. ПТЭ. 2012. № 1. С. 40.
3. Bonvicini G., Harris N., Paolone V. hepex/0308025.
4. Barabanov I., Bezrukov L., Resconi E., Schonert S. Препринт № 1316, ИЯИ (Москва, 2012).
5. Beacom J. F. et al. arXiv: 1602.01733 [physics.insdet].
6. Wurm M., Beacom J. F., Bezrukov L. B., et al. // Astropart. Phys. 2012. Vol. 35. P. 685; arXiv: 1104.5620 [astro-ph.IM].

PACS: 26.26,65+T

The participation of electronic levels of sintin in the formation of luminescence centers

A. M. Pshukov¹, I. K. Azizov², and E. Kh. Sherieva²

¹ Baksan Neutrino Observatory of Institute for Nuclear Research, RAS
Neutrino, Elbrusskii distr., Kabardino-Balkarian Republic, 361609, Russia
E-mail: pshukov1959@mail.ru

² Kabardino-Balkarian State University
173 Chernyshevsky st., Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, 360004, Russia
E-mail: kocev.isuf@mail.ru; teuva.ella@mail.ru

Received March 13, 2019

The task of this research is to create materials with the properties for the registration of ionizing particles. In connection with this task, we selected a sample, which served as a matrix for the registration of neutrinos by creation of centers of glow (luminescence) in them. This material was Sintin, with the added various substances that form in them the centers of luminescence in a given wavelength range. The studies were carried out using a gas chromatograph equipped with a flame ionization detector, a spectrophotometer PE-3000 UV, with a spectral range from the vacuum ultraviolet radiation with a wavelength of 190 nm to infrared with a wavelength of 1100 nm. Fluorescent studies were made by placing samples in a vacuum system for optical measurements.

Keywords: sintin, luminescence, optical properties, additive PPO, additive POPOP.

REFERENCES

1. I. R. Barabanov, G. Ya. Novikova, V. V. Sinev, and E. A. Yanovich, Preprint No. 1228, INR (Moscow, 2009); arXiv: 0908.1466 [hep-ph].
2. C. Buck et al., *Instrum. Exp. Tech.* 55, 34 (2012)].
3. G. Bonvicini, N. Harris, and V. Paolone, hepex/0308025.
4. I. Barabanov, L. Bezrukov, E. Resconi, and S. Schonert, Preprint No. 1316, INR (Moscow, 2012).
5. J. F. Beacom et al., arXiv: 1602.01733 [physics.insdet].
6. M. Wurm, J. F. Beacom, L. B. Bezrukov, et al., *Astropart. Phys.* **35**, 685 (2012); arXiv: 1104.5620 [astro-ph.IM].