



Новые подходы к улучшению свойств пластмассового сцинтиллятора

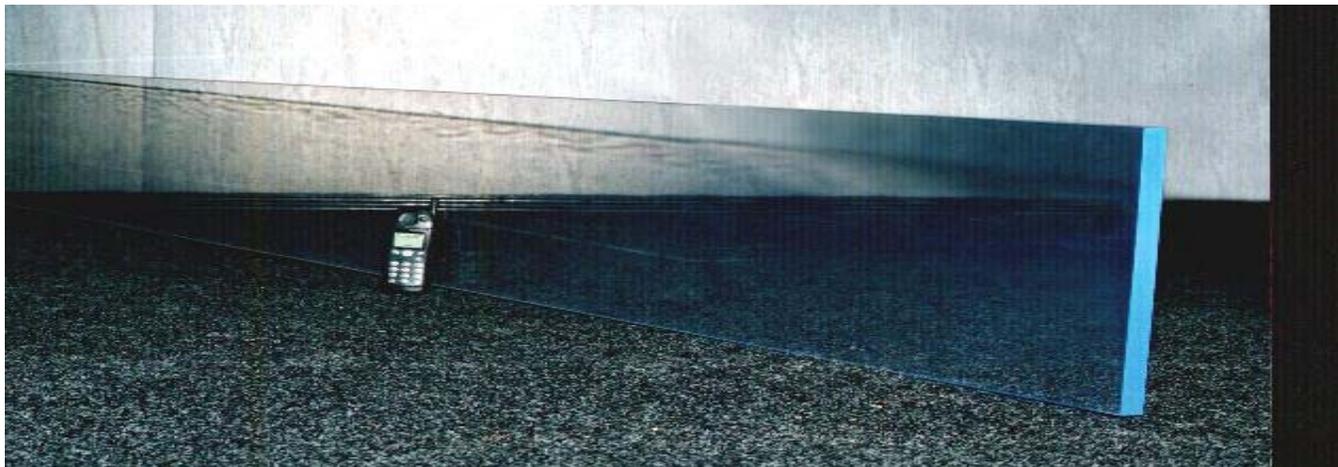
Жмурин П.Н.

ИСМА НАН Украины

- 
- Придания свойств нейтрон – гамма чувствительности пластмассовому сцинтиллятору
 - Повышение быстродействия пластмассового сцинтиллятора

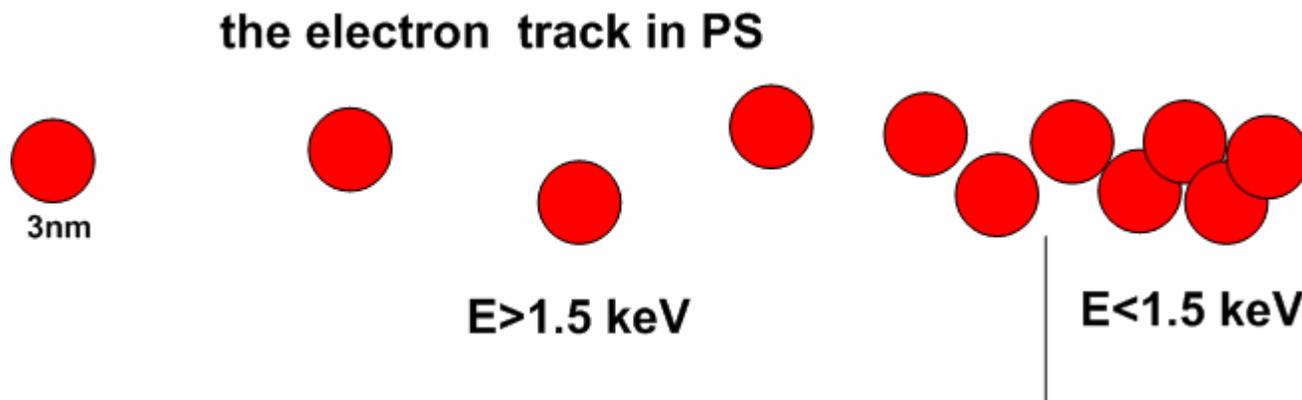
Пластмассовый сцинтиллятор

ПС – это полимерная среда (полистирол, поливинилтолуол), в которой растворены молекулы активатора (для сбора энергии возбуждения полимерной основы) и молекулы шифтера для выведения люминесценции активатора из объема ПС.

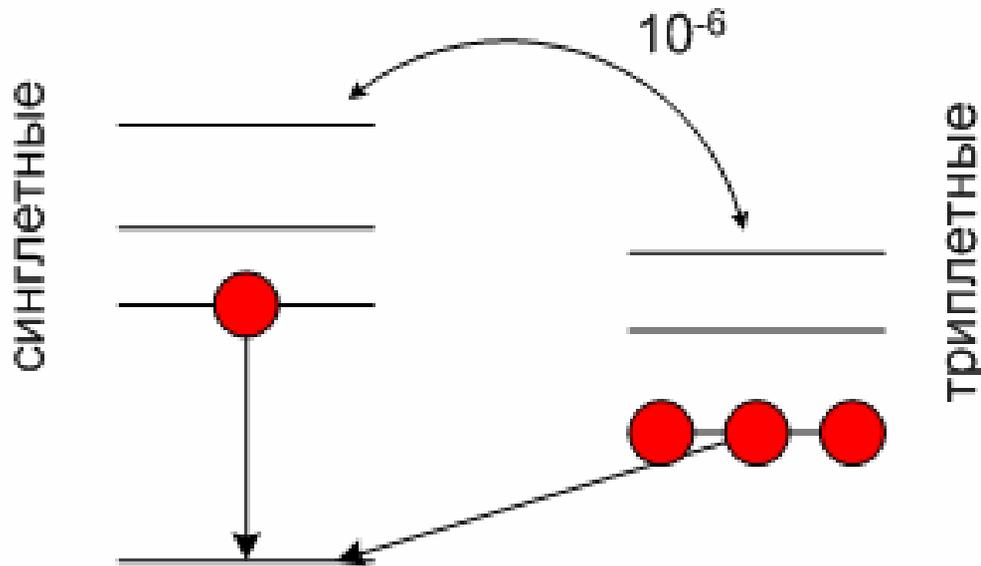


Потеря энергии в ПС

При взаимодействии высокоэнергетической частицы с полимерной средой образуется трек, который можно представить в виде отдельных областей ионизации со средней потерей энергии вторичных электронов в отдельном кластере на уровне 25эВ. С потерей энергии расстояние между кластерами уменьшается, что может приводить к перекрытию отдельных кластеров. Как правило это происходит когда энергия электрона не превышает 1.5кэВ.



Распределение энергии возбуждения в треке



Основная проблема – как зарегистрировать энергию возбуждения триплетных состояний?

- Распределение возбуждения между триплетными и синглетными состояниями зависит от плотности потерь энергии.
- Измеряя отношение плотности энергии возбуждения триплетных и синглетных состояний можно восстановить вид падающей частицы и в частности отличить сцинтилляционный сигнал, создаваемый гамма квантом или нейтроном.

Способы регистрации энергии триплетного возбуждения

- *«Непосредственная» регистрация путем сбора энергии возбуждения на центр активации*
- *Регистрация энергии возбуждения триплетных состояний посредством триплет-триплетной аннигиляции*

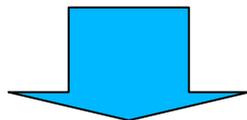
Металл- органический комплекс

Для традиционного органического активатора – молекул паратерфенила

$$|\psi\rangle \sim |\text{орбитальная}\rangle \cdot |\text{спиновая}\rangle$$

скорость переходов $\sim |\langle \psi_{in} | H_{int} (\text{от спина не зависит}) | \psi_f \rangle|^2$

Перенос энергии между состояниями с разным спином - запрещены

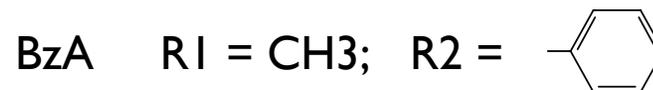
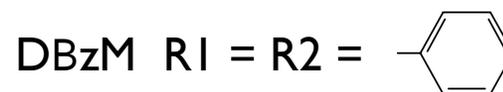
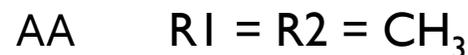
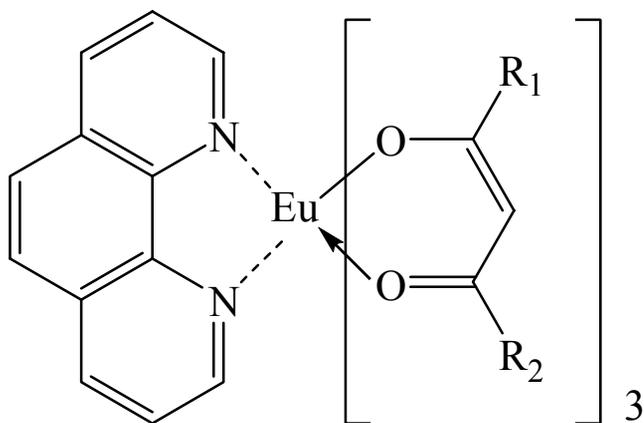


Надо использовать активатор с «большим» спин-орбитальным взаимодействием.

Например металлорганический комплекс редкоземельных элементов.

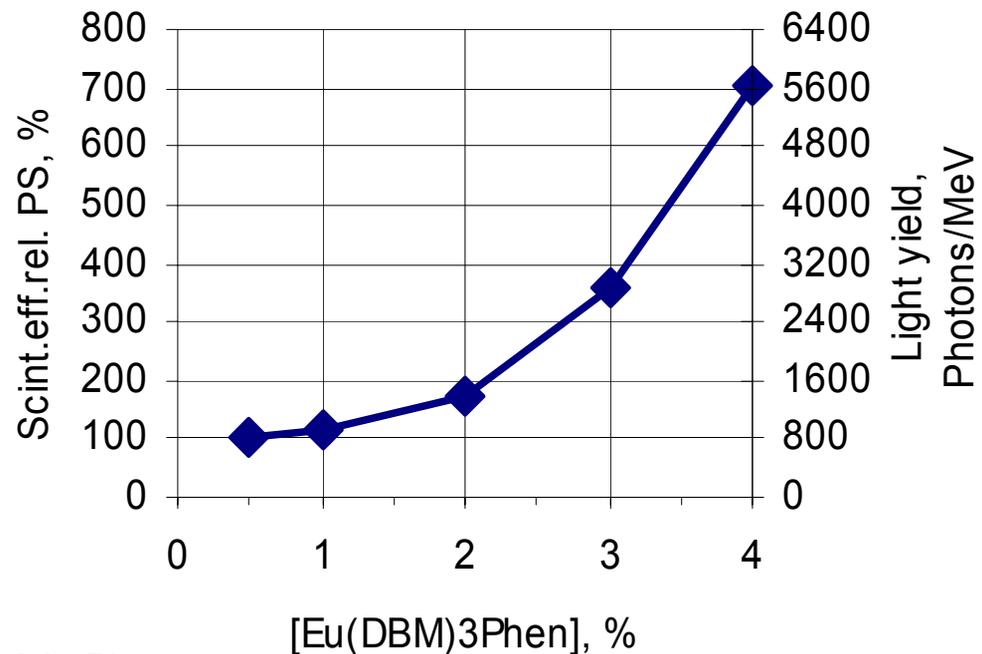
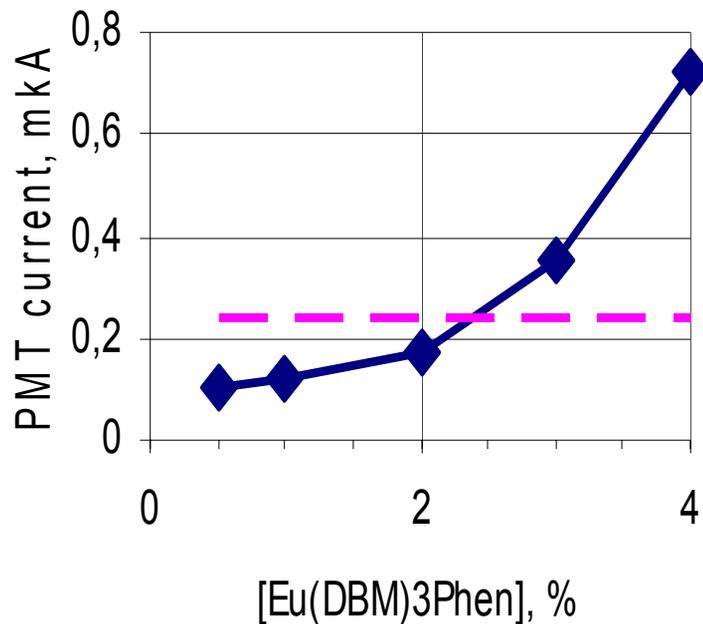
$$|\psi\rangle \sim \sum_{L,S} |L(\text{орбитальные})\rangle \cdot |S(\text{спиновые})\rangle$$

Регистрация быстрых нейтронов
посредством Eu^{3+} metal-organic complexes



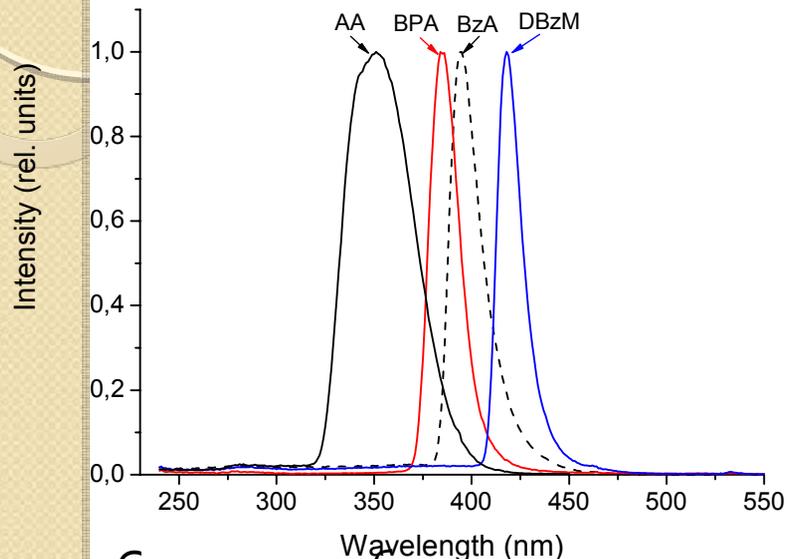
Для проверки возможности безызлучательного съема энергии возбуждения триплетных состояний полимерной матрицы был синтезирован целый ряд металлорганических комплексов европия, с различным лигандным окружением. Для всех комплексов в качестве нейтрального лиганда использовался bipyridine.

Сцинтилляционная эффективность $\text{Eu}(\text{DBzM})_3\text{Phen}$ комплекса

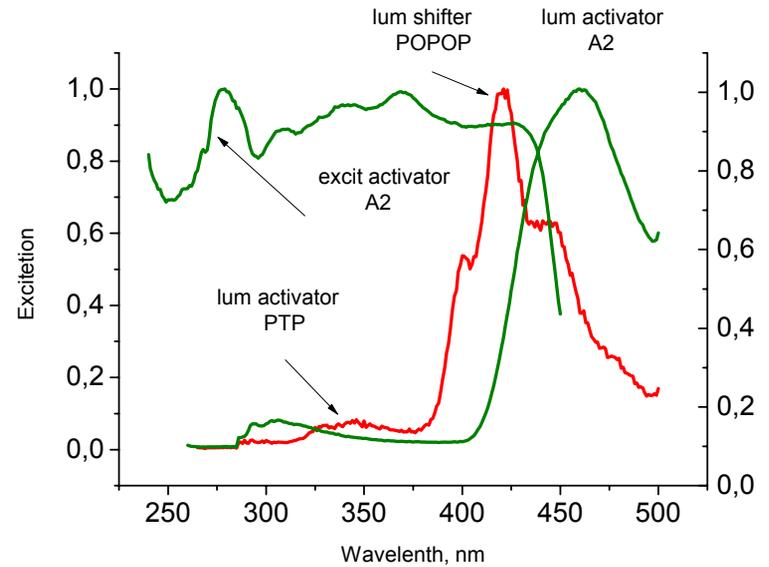
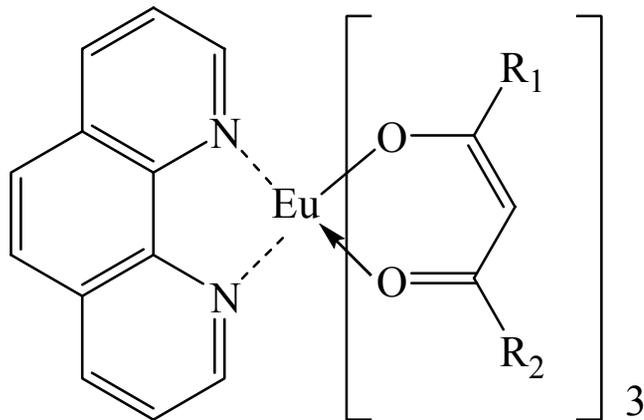


При концентрации 4% $\text{Eu}(\text{DBzM})_3\text{Phen}$ комплекса, сцинтилляционная эффективность достигает образцов значительно превышает уровень световыхода стандартного пластмассового сцинтиллятора при облучении альфа частицами и приближается уровню световыхода достигаемого ПС при облучении электронами. Можно говорить о том, что метал органические комплексы действительно могут собирать энергию триплетных возбужденных состояний полистирольной полимерной матрицы.

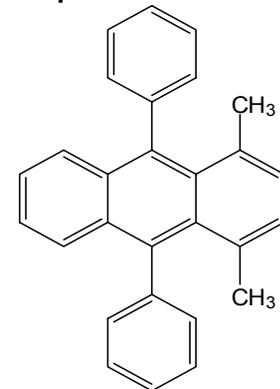
Двухцентровый ПС



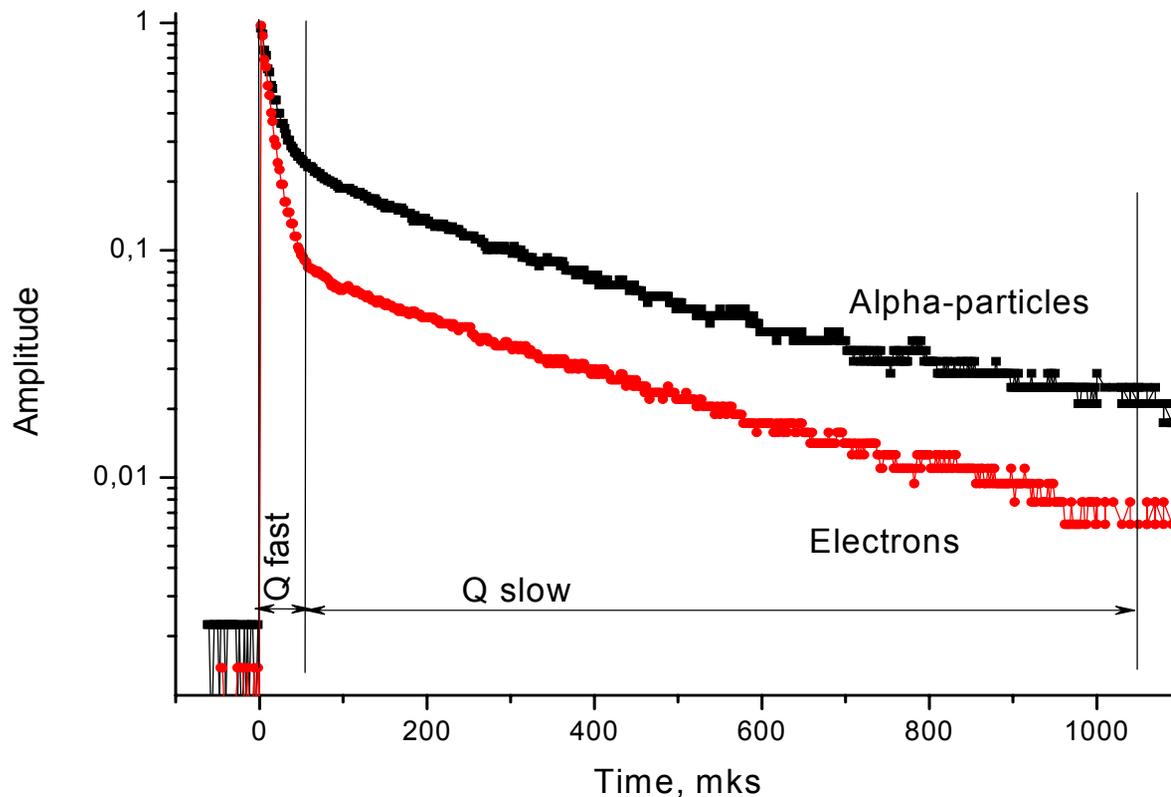
Спектры возбуждения металорганических комплексов



Спектры возбуждения и люминесценции диметилдифенилантрацена (A2)

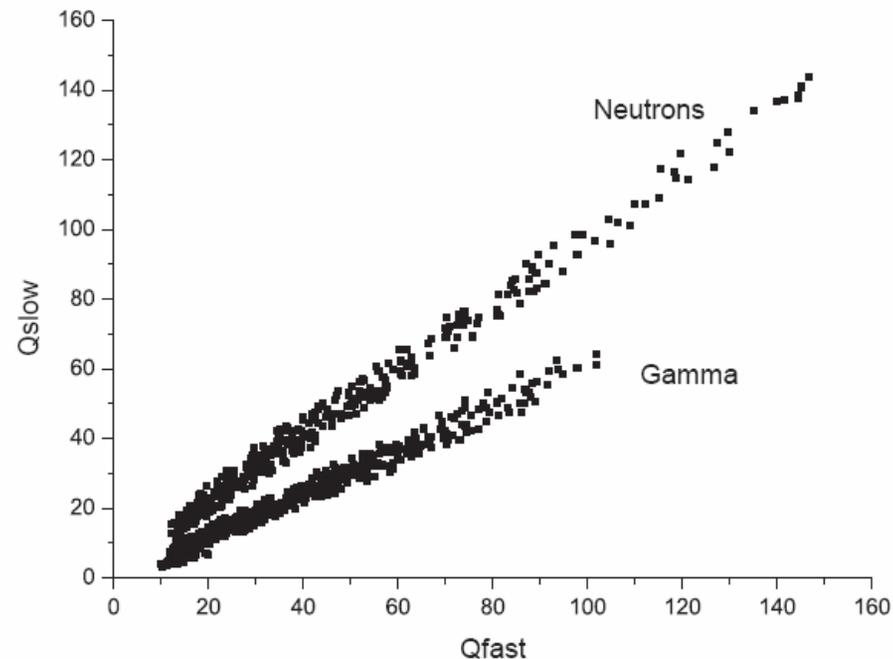
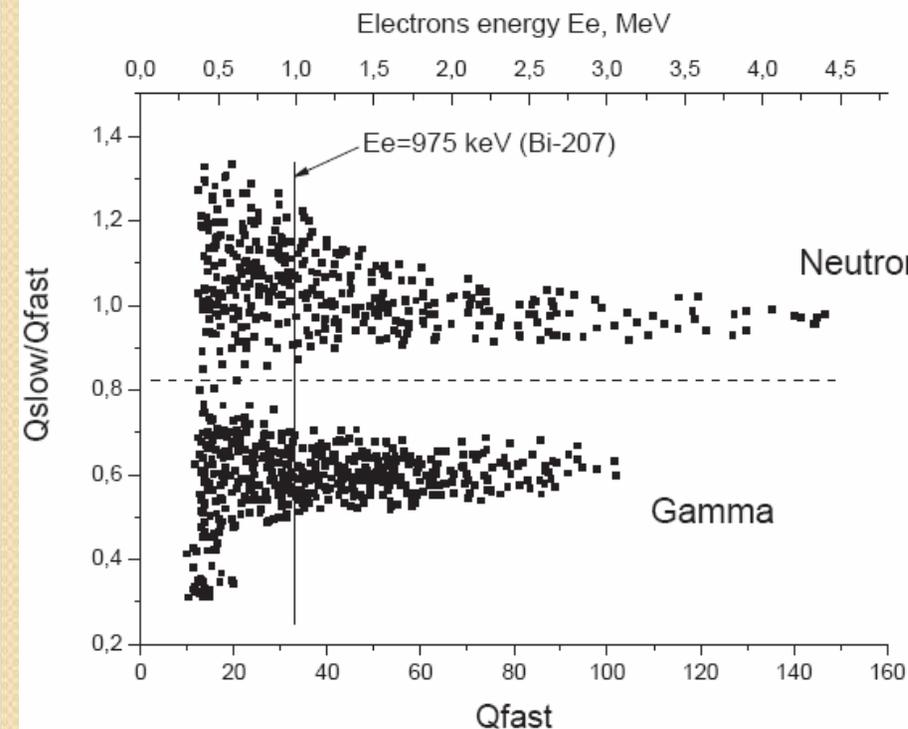


Регистрация быстрых нейтронов с помощью Eu^{3+} metal-organic complexes



Вид суммарного сцинтилляционного сигнала зависит от вида падающих частиц – значит можно использовать дискриминацию по форме сцинтилляционного сигнала.

Измерение быстрой и медленной компоненты сцинтилляционного сигнала

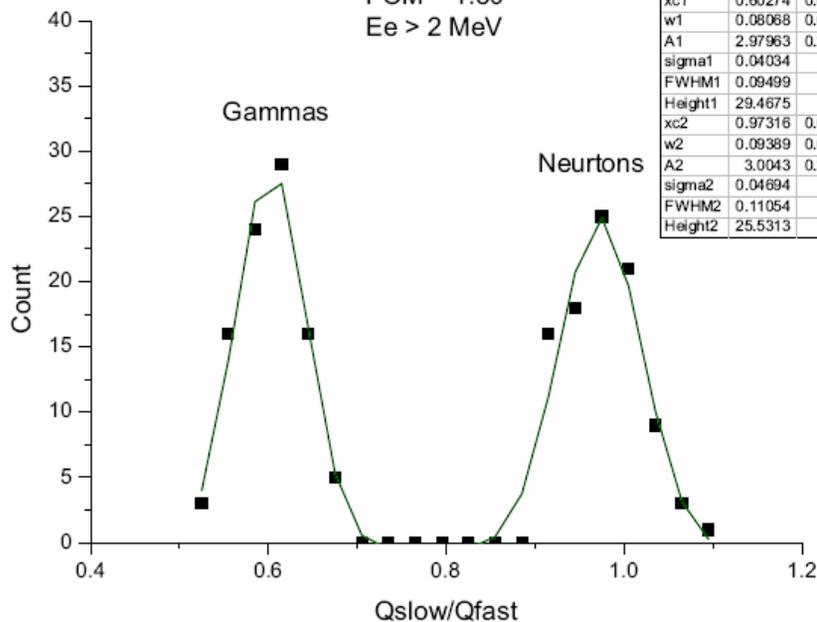


Отношение Q_{fast}/Q_{slow} в зависимости от Q_{fast} для ПС (3.0% Eu[DBM]Phen, 1.0%DVDPA, 0.05%L59. нейтронный плутоний бериллиевый источник Pu-239. Свинцовый экран 10мм толщины. Порог регистрации 350 кэВ.

Параметры нейтрон – гамма разделения

$$FOM = \frac{(Q_{slow}/Q_{fast})_n - (Q_{slow}/Q_{fast})_\gamma}{\Delta(Q_{slow}/Q_{fast})_n + \Delta(Q_{slow}/Q_{fast})_\gamma}$$

FOM = 1.80
Ee > 2 MeV

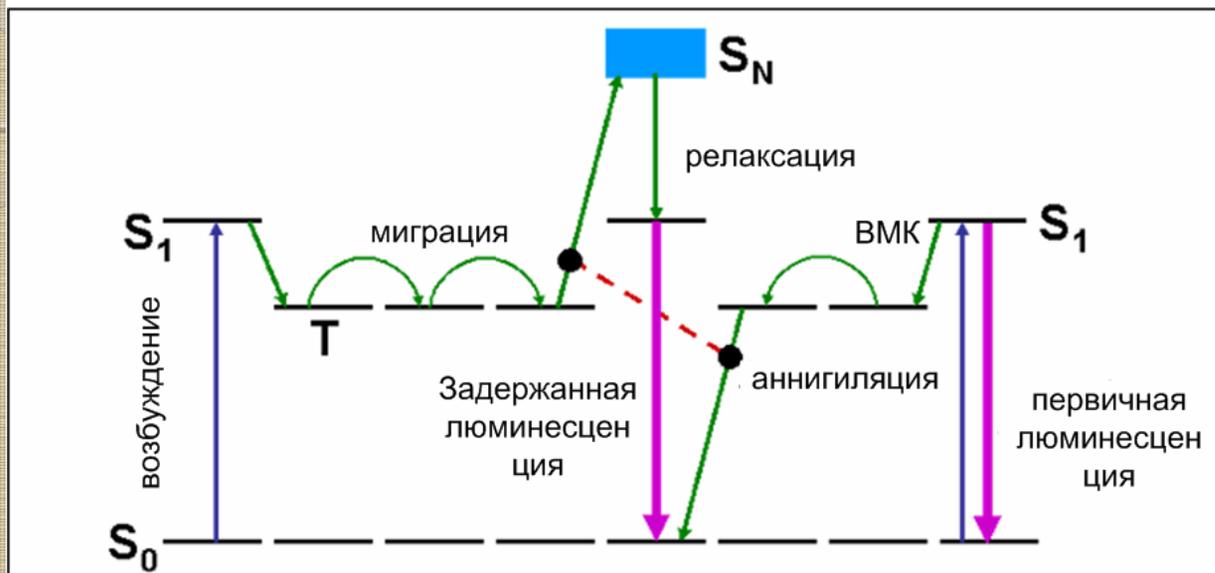


n-γ parameter FOMs for PSs with different additive contents for particles with E > 350 keV energy.

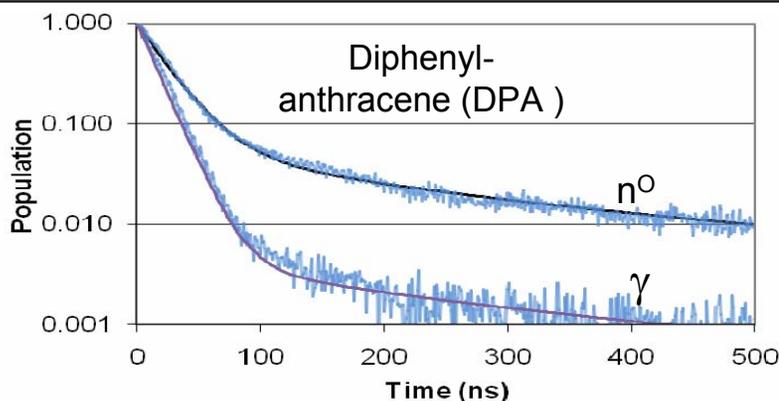
Sample	Additives content %			FOM	Remarks
	Triplet activator Eu[DBM] ₃ Phen	Singlet activator DMDPA	Wavelength shifter L59		
1	2.5	0.7	0.03	1.2	
2	3.0	1.0	0.05	1.37	
3	3.5	1.5	0.04	1.30	Cloudy
4	2.5	1.0	0.03	1.19	
5	4.0	1.0	0.03	1.10	Cloudy
6	3.0	2.0	0.03	1.23	
7	3.0	0.5	0.03	1.21	

- 
- ✓ *Основная трудность на пути улучшения свойств двуцентровых ПС – это значительная разница времен люминесценции органического и металл-органического центров активации.*
 - ✓ *Использование металлорганических комплексов на основе с быстрой люминесценцией (боонс) на основе иридия.*

Регистрация быстрых нейтронов



Модифицируя полимерную матрицу можно создать условия реализации эффекта триплет-триплетной аннигиляции и осуществить эффективную дискриминацию фонового гамма излучения от сигнала, создаваемого протонами отдачи.

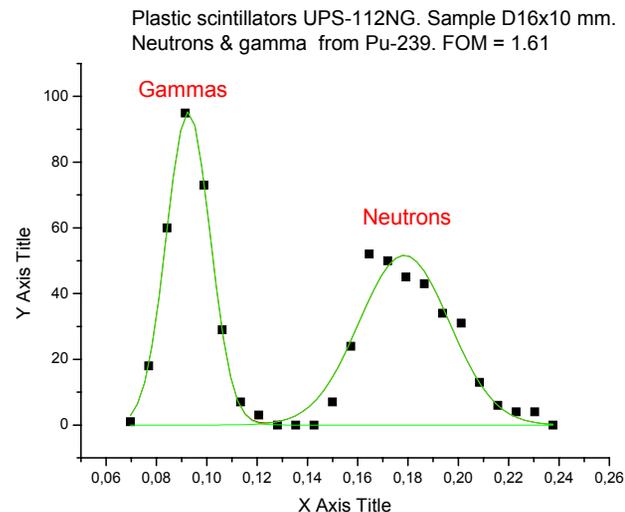
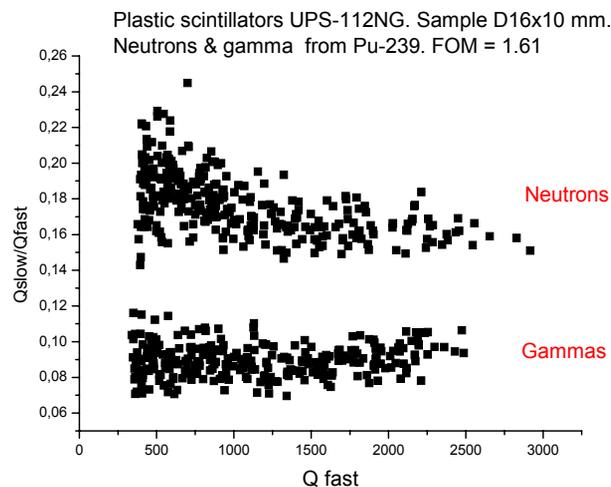


Crystal	$[\gamma (N_T^0)^2 / N_S^0]_{\text{neutron}}$	$[\gamma (N_T^0)^2 / N_S^0]_{\text{gamma}}$	FOM _{PSD}
DPA	2.26	0.28	1.97
Stilbene	3.33	1.74	1.59

Регистрация нейтронов посредством триплет- триплетной аннигиляции

- Основное условие возможности осуществления – близость расположения способствующее обменному взаимодействию
- Полимерные основы должны содержать «значительное» количество молекул с долгоживущим триплетным состоянием
- Типичный состав:
 - ✓ основа полистирол – 60вес.%
 - ✓ активная добавка PPO – 40вес%
 - ✓ активатор – молекулы дифенил антрацен – 0.1вес.%

Регистрация быстрых нейтронов посредством триплет триплетной аннигиляции

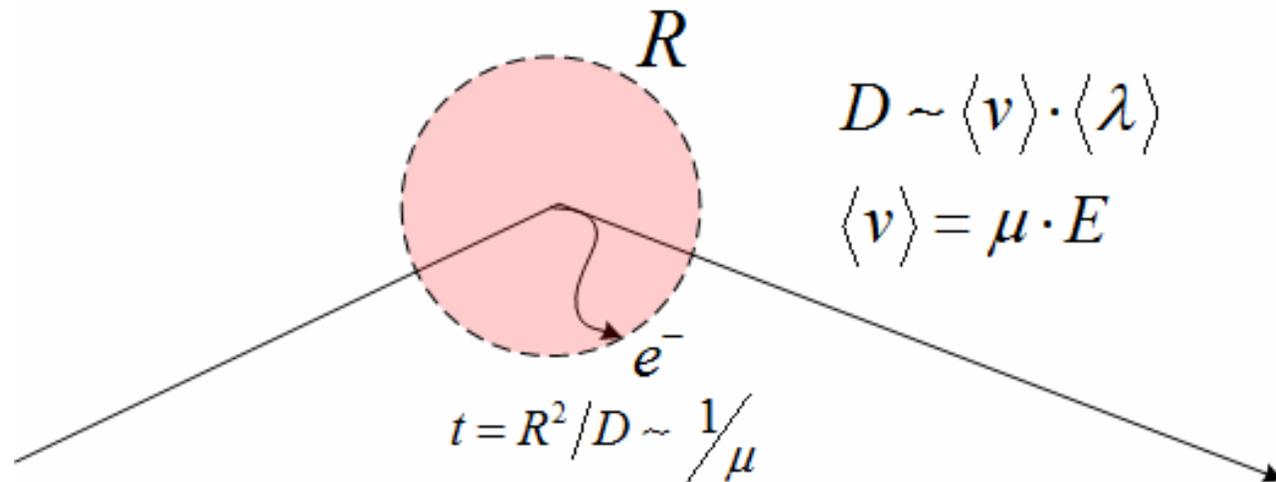


Plastic Scintillator	Light Yield, % (rel. anthracene)	n/γ –discrimination FOM	Микротвердость по Виккерсу, HV, МПа
UPS-110NG	52	2.41	24
UPS-111NG	54	1.61	178
UPS-112NG	51	1.61	120
UPS-923A	57	-	231
BC408	65	-	182

Улучшения сцинтилляционных характеристик ПС

- Улучшение временных характеристик (повышение подвижности электронов)
- Повышение световыхода (понижение потенциала ионизации полимерной основы ПС)

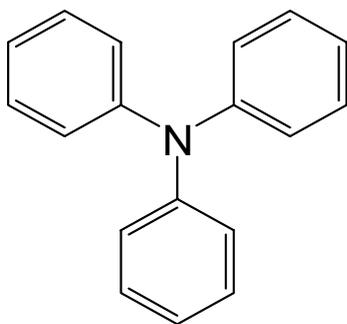
Быстрый пластик увеличение подвижности путь к улучшению свойств



It is necessary to increase of electron mobility

Время нарастания сцинтилляционной вспышки напрямую связан с подвижностью электронов в среде, изменив подвижность электронов в среде можно изменить сцинтилляционные характеристики среды, в частности время нарастания

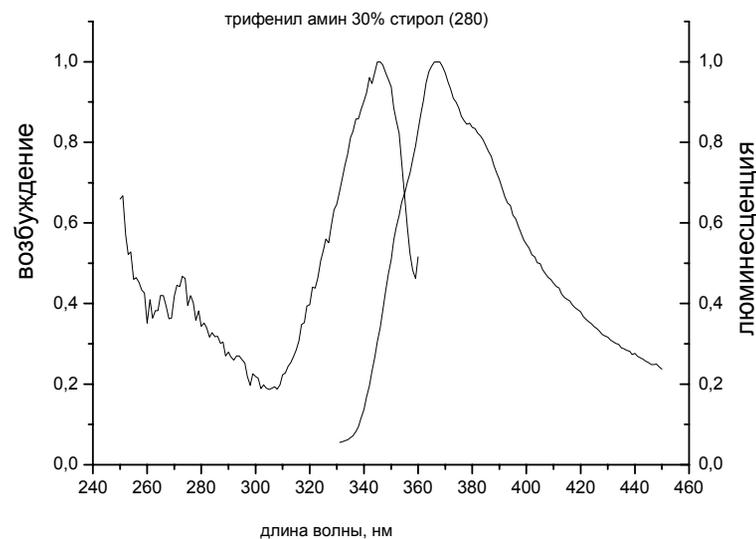
Изменения подвижности электронов полимерной среды



Молекула
трифениламина. TPhA

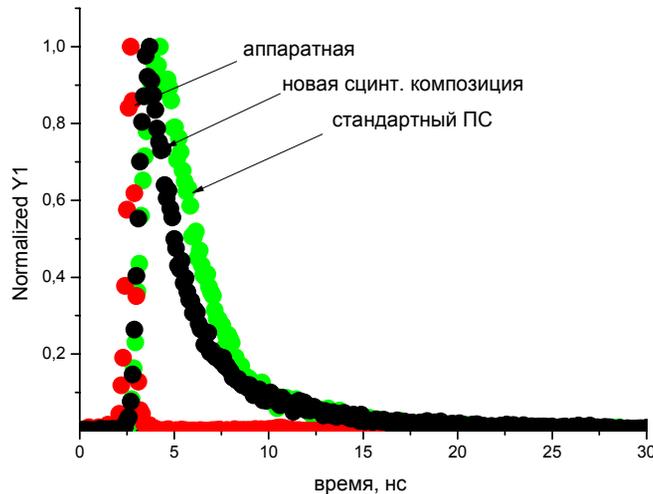
PS+20%TPhA

$$\mu \sim 2 \cdot 10^{-6} \text{ sm} \cdot \text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

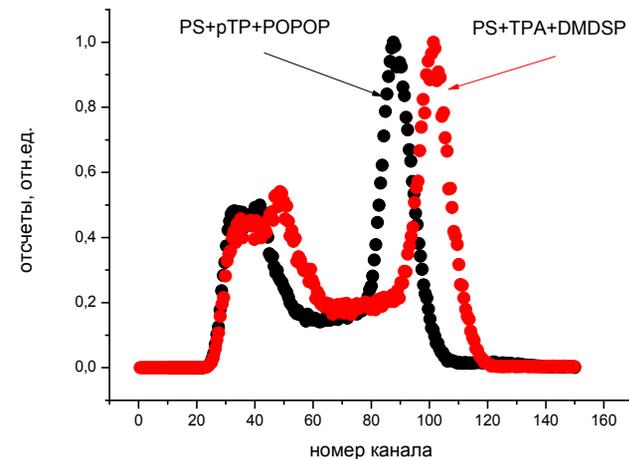


Спектр возбуждения и люминесценции полимера на основе на молекул полистирола (70вес.%) и трифениламина (30вес%).

Сцинтилляционные характеристики ПС с повышенной подвижностью электронов



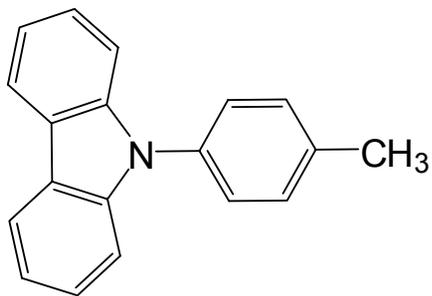
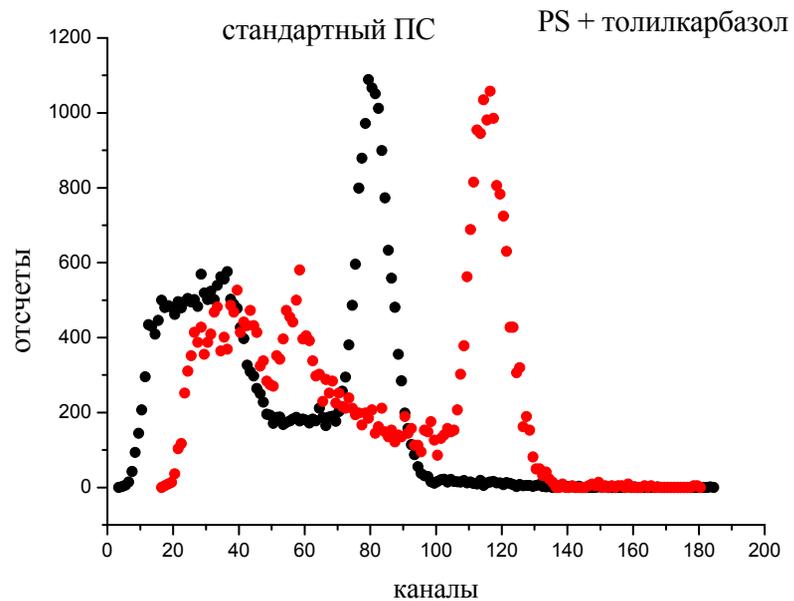
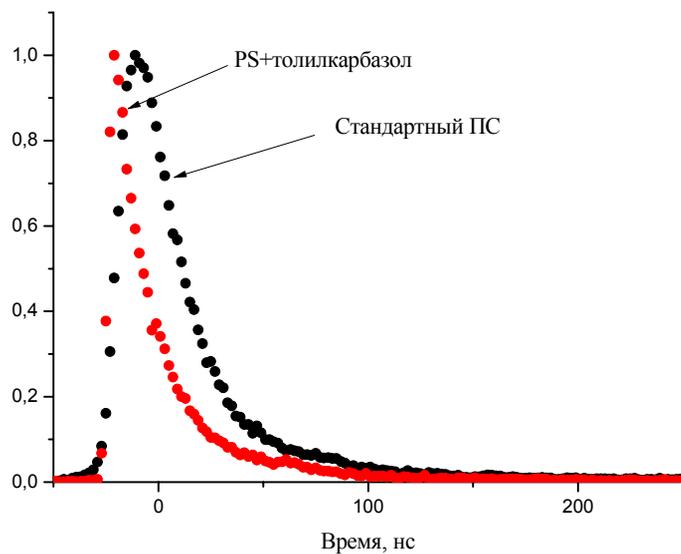
Кривые временной эволюции сцинтилляционной вспышки в полимерных сцинтилляторах



Амплитудные спектры 0.6PS+0.4TPhA+0.02DMDSP сцинтилляционной композиции.

Время нарастания сцинтиллятора на основе полистирола и ТФА уменьшилось до 0.49нс по сравнению со временем нарастания стандартного ПС -0.85нс при повышенном световыходе

Полимерная основа ПС с молекулами толилкарбазола



Структурная формула молекулы толил карбазола

Выводы

отработаны подходы к модификации свойств пластмассового сцинтиллятора.

Необходимо реализовать найденные подходы в производстве пластмассового сцинтиллятора.