

07;12  
©1994

## ВИДИМАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ РАСТЕНИЙ

В.Х.Шпунт, Ю.В.Рудь

В контексте предыдущих работ [1-3] в качестве объекта исследования были выбраны растения и сравнивались спектры их фотолюминесценции с живой тканью (кожей человека).

Исследование фотолюминесценции проводилось на зеленых листьях *Allium sativum* L., а также зеленых листьях и лепестках цветка *Calendula officinalis* L. В качестве источника фотовозбуждения использовано излучение аргонового лазера ПА-120-1 с энергиями фотонов  $\hbar\omega_B = 2.41, 2.50, 2.54, 2.60$  и  $2.71$  эВ при плотностях мощности  $50-100$  мВт/см<sup>2</sup> каждой из указанных энергий. Излучение фотолюминесценции поступало на монохроматор МДР-3 с решеткой 600 штр./мм и детектировалось фотоэлектронным умножителем. Спектральное разрешение установки было не хуже 1 мэВ. Все измерения проводились при комнатной температуре. Результаты выполненного цикла измерений суммированы в таблице и изображены на рис. 1 и 2. Они состоят в следующем.

Зеленые листья при возбуждении излучением с указанной выше энергией фотонов обнаруживают яркую фотолюминесценцию красного цвета, который визуалью наблюдался при всех указанных  $\hbar\omega_B$ . Спектральные зависимости фотолюминесценции зеленых листьев различных растений близки между собой и состоят из двух близких полос. Энергии фотонов коротковолновой  $\hbar\omega_1$  и длинноволновой  $\hbar\omega_2$  компонент практически не отличались для разных объектов (таблица и рис. 1). Видно, что значения полуширины компонент на полувысоте ( $\delta_{ДВ}$  и  $\delta_{КВ}$ ), а также соотношение их интенсивностей  $I_2/I_1$  близки у листьев разных растений. При изменении плотности потока возбуждающего излучения интенсивность фотолюминесценции в области обнаруженных пиков подчиняется линейному закону  $I \sim L$ , а спектральный контур, положения  $\hbar\omega_1$  и  $\hbar\omega_2$  и соотношения  $I_2/I_1$  оказались независимыми от  $L$  (рис. 2). Указанные закономерности характерны как для излучательных переходов между свободными зонами, так и с участием уровней в запрещенной зоне.

В пределах использованных значений энергий фотонов возбуждающего излучения не было обнаружено какого-

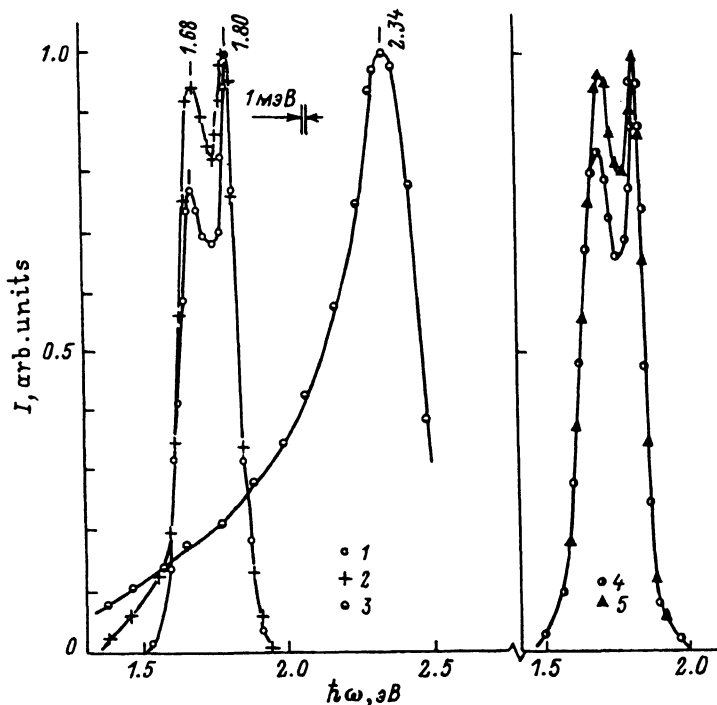


Рис. 1. Спектральные зависимости фотолюминесценции листьев растений (1, 2 — лист *Calendula officinalis* L.; 4, 5 — лист *Allium sativum* L.) и цветка (3 — лепесток цветка *Calendula officinalis* L.) при  $T = 300$  К ( $\hbar\omega_{\text{В}}$ , эВ: 1, 3, 4 — 2.705; 2, 5 — 2.410).

Параметры фотолюминесценции растений при  $T = 300$  К

Тип образца <sup>1</sup>	Цвет образца	$\hbar\omega_{\text{В}}$ , эВ	Полосы ФЛ		
			$\hbar\omega_1$ , эВ	$\hbar\omega_2$ , эВ	$I_2/I_1$
Лист X	Зеленый	2.705	1.801 $\delta_{\text{КВ}} \approx 25$ мэВ	1.683 $\delta_{\text{ДВ}} \approx 55$ мэВ	0.94
Цветок X	Желтый	2.705	2.34 $\delta_{\text{ДВ}} \approx 220$ мэВ $\delta_{\text{КВ}} \approx 130$ мэВ		
Лист Y	Зеленый	2.705	1.801 $\delta_{\text{КВ}} \approx 35$ мэВ	1.686 $\delta_{\text{ДВ}} \approx 55$ мэВ	0.97

<sup>1</sup> X — *Calendula officinalis* L., Y — *Allium sativum* L.

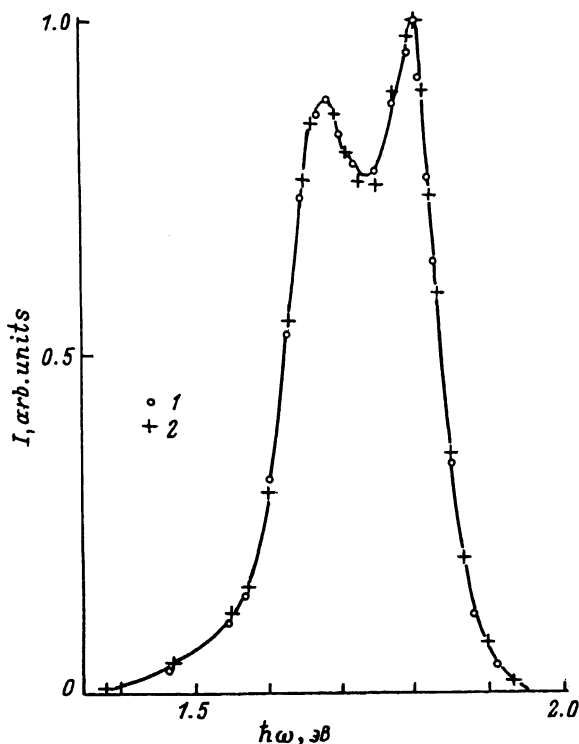


Рис. 2. Спектральные зависимости фотолюминесценции листа *Calendula officinalis* L. в зависимости от интенсивности возбуждения при  $T = 300$  К ( $L/L_0$ : 1 — 0.5, 2 — 0.07;  $\hbar\omega_B = 2.705$  эВ).

либо влияния на энергетическое положение пиков фотолюминесценции листьев (рис. 1, кривые 1, 2, 4, 5). По мере снижения  $\hbar\omega_B$ , однако, увеличивался вклад длинноволновой компоненты фотолюминесценции. Это обстоятельство может быть связано с тем, что, например, ответственные за полосу фотолюминесценции с максимумом  $\hbar\omega_2$ , центры локализованы в более глубоких слоях ткани, чем центры, обуславливающие появление полосы  $\hbar\omega_1$ . Оценка квантовой эффективности видимой фотолюминесценции листьев дает значение порядка нескольких процентов.

Интересно отметить, что измерение фотолюминесценции лепестка цветка того же растения (желтого цвета) показали, что ее эффективность оказалась на 2–3 порядка ниже, чем для листьев. Максимум фотолюминесценции цветка сильно смещается в коротковолновую область и достигает  $\hbar\omega_1 = 2.34$  эВ (рис. 1, кривая 3). Полоса уширена по сравнению с фотолюминесценцией листьев, имеет сильно затянутый длинноволновой хвост. Это свидетельствует о слож-

ном строении центров, вызывающих излучение. Следует отметить, что максимум излучения цветка соответствует его цвету. В заключение отметим некоторые закономерности фотолюминесценции кожи человека [1] и листьев растений.

1. В коже человека излучение доминирует в области от 2.1 до 2.5 эВ, а в листьях растений оно смещено в длинноволновую область и локализовано в более узком диапазоне энергий от 1.6 до 1.8 эВ при 300 К.

2. Высокая квантовая эффективность излучательных переходов в исследованных объектах — зеленых листьях различных растений.

Обнаруженные особенности фотолюминесценции представляются важными не только для медиков [4] и биологов [5], но также могут указывать на целесообразность включения в сферу поиска материалов биологического происхождения для нужд оптоэлектроники.

### Список литературы

- [1] Шпунт В.Х., Рудь Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 13. С. 50.
- [2] Шпунт В.Х., Рудь Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 20. С. 37.
- [3] Шпунт В.Х., Рудь Ю.В., Цендин К.Д. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 13.
- [4] Медицинская биофизика. / Под ред. В.О.Самойлова. Л., 1986. 479 с.
- [5] Вилли К., Детье В. Биология. М., 1975. 822 с.

Физико-технический  
институт им.А.Ф.Иоффе  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
25 апреля 1994 г.