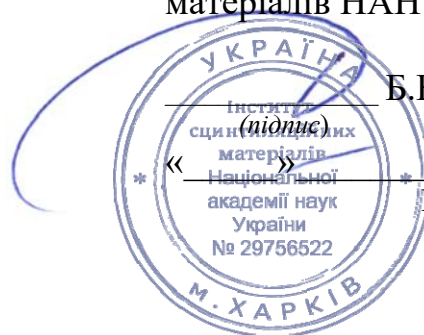


Національна академія наук України  
Інститут скінтіляційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Директор Інституту скінтіляційних  
матеріалів НАН України

Б.В. Гриньов



20 р.

М.П.

## ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Технологія отримання функціональних матеріалів

(шифр і назва навчальної дисципліни)

спеціальність 132 – Матеріалознавство

освітньо-наукова програма – підготовки доктора філософії в галузі  
механічної інженерії

2021 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою Інституту  
сцинтиляційних матеріалів НАН України від 25.08.2021 року, протокол № 9

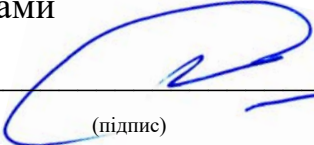
Розробники програми:

Беспалова Ірина Ігорівна, доктор технічних наук, старший дослідник

Чергинець Віктор Леонідович, доктор хімічних наук, професор

Тупіцина Ірина Аркадіївна, кандидат технічних наук, старший дослідник

Гарант освітньо-наукової програми



(підпис)

Б.В. Гриньов

(прізвище та ініціали)

## Вступ

Програма навчальної дисципліни «Технологія отримання функціональних матеріалів» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії (третій рівень вищої освіти) за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

### 1. Опис навчальної дисципліни

**Метою** викладання навчальної дисципліни є: ознайомити аспірантів з основними ідеями та технологічними методами створення та дослідження функціональних матеріалів, зокрема об'ємних монокристалів та композиційних сцинтиляційних матеріалів на основі нано- та мікропорошків, а також з основними підходами, що застосовуються для оцінки перебігу процесів термодинамічним методом, з методами аналізу фазових діаграм.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти повинні досягти таких результатів навчання:

– здатність продемонструвати глибокі професійні знання, науковий і культурний кругозір рівня здобувача наукового ступеня доктора філософії, зокрема шляхом засвоєння, узагальнення та систематизації знань та основних концепцій, теоретичних та практичних проблем технологічних методів одержання та дослідження функціональних матеріалів, знати особливості процесів їх формування та основні фізико-хімічні властивості, вивчити основні принципи, що лежать в основі теоретичних розрахунків термодинамічних параметрів систем, їх тлумачення, оцінки напрямків і повноти перебігу процесів в різних системах термодинамічним методом;

– здатність на основі фізико-хімічних законів та розуміння структури та природи дефектів функціональних матеріалів прогнозувати їх оптичні властивості, перш за все люмінесцентні та сцинтиляційні, а також вміння створення функціональних матеріалів з керованими параметрами із застосуванням сучасних методів та технологій, оволодіти методами аналізу фазових діаграм з метою одержання даних, необхідних для оцінки перебігу процесів спрямованої кристалізації розтопів.

## Характеристика навчальної дисципліни

Тип	Дисципліна за вибором
Форма навчання	Денна
Рік підготовки	1, 2
Семестр	3
Кількість кредитів	5
Загальна кількість годин	150
Аудиторні заняття (лекції, практичні заняття та семінари)	60
Самостійна робота	90
Контроль	Залік, іспит

### 2. Тематичний план навчальної дисципліни

**Тема 1.** Вступ. Класифікації функціональних матеріалів. Основні принципи отримання.

**Тема 2.** Методи дослідження параметрів структури матеріалів різної функціональної будови.

**Тема 3.** Взаємозв'язок: тип структури – параметри структури – функціональні властивості матеріалу.

**Тема 4.** Пріоритетні напрямки застосування люмінесцентних та сцинтиляційних матеріалів.

**Тема 5.** Сцинтиляційні матеріали. Вступ.

**Тема 6.** Люмінесценція твердих тіл. Характеристики люмінесценції. Модель потенційних кривих. Внутрішнє гасіння.

**Тема 7.** Тунельна люмінесценція. Вільні та автолокалізовані екситони. Остовновалентна або крослюмінесценція. Гаряча люмінесценція.

**Тема 8.** Рекомбінаційна люмінесценція. Термостимульована люмінесценція. Міжзонна люмінесценція та Оже-процеси. Множення електронних збуджень

**Тема 9.** Спектроскопія рідкісноземельних іонів.

**Тема 10.** Джерела іонізуючого випромінювання.

- Тема 11.** Основні процеси у сцинтиляторах. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.
- Тема 12.** Основні процеси у сцинтиляторах. Генерація електрон-діркових пар. Процеси перенесення енергії та люмінесценція
- Тема 13.** Механізми створення радіаційних дефектів у кристалах
- Тема 14.** Характеристики сцинтиляторів
- Тема 15.** Апаратура для гамма-спектрометрії. Типи фотоприймачів.
- Тема 16.** Апаратура для гамма-спектрометрії. Передпідсилювачі. Підсилювачі. Багатоканальний аналізатор. Аналого-цифровий перетворювач.
- Тема 17.** Практичні питання та застосування сцинтиляційного метода гамма-спектрометрії.
- Тема 18.** Термодинаміка. Основні поняття: система, фаза, параметр, функція стану, процес. Основні типи процесів (ізохорний, ізобарний, ізотермічний, адіабатичний, політропний). Робота розширення ідеальних газів у різноманітних процесах. Перше начало термодинаміки. Внутрішня енергія. Теплота. Робота. Наслідки з I начала термодинаміки.
- Тема 19.** Закон Гесса. Властивості теплових ефектів при постійному тиску ( $Q_p$ ) і постійній температурі ( $Q_v$ ). Взаємозв'язок між ними. Закон Гесса. Наслідки з закону Гесса. Теплота утворення. Теплота згоряння. Теплоємність. Залежність теплоємності від температури.
- Тема 20.** Основні положення другого начала термодинаміки. Оборотні і необоротні процеси. Цикл Карно. Імовірність і ентропія. Статистичний зміст. Нерівність Клаузіуса. Застосування ентропії для визначення напрямку самодовільного перебігу процесу.
- Тема 21.** Об'єднане рівняння першого і другого начал термодинаміки. Чотири основні рівняння термодинаміки. Функції стану. Енергія Гібса і енергія Гельмгольца як критерії спрямованості процесу і стану рівноваги. Загальні умови встановлення рівноваги. Рівняння Гібса-Гельмгольца. Третє начало термодинаміки. Постулат Планка. Абсолютна ентропія.

**Тема 22.** Основні поняття фазових рівноваг. Гетерогенна система. Компонент. Число незалежних компонентів. Фаза. Число ступенів свободи. Правило фаз Гібса. Однокомпонентні системи. Діаграма стану води. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Фазові переходи I і II роду. Діаграми стану з моно- і енантіотропними переходами. Діаграма стану сірки.

**Тема 23.** Двокомпонентні системи. Фізико-хімічний аналіз. Діаграми стану. Принципи побудови та інтерпретації діаграм стану. Принципи Курнакова. Крива охолодження. Правило важеля. Основні типи діаграм двокомпонентних систем.

**Тема 24.** Трикомпонентні системи. Визначення складу. Трикутник Гіббса. Метод Розебума.

**Тема 25.** Консультація перед іспитом. Іспит.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин				
	Усього	у тому числі			
		Аудиторні заняття			самостійна робота
		лекції	семінари	Практичні заняття	
1	2	3	4	5	6
Тема 1	5	2			3
Тема 2	5	2			3
Тема 3	5	2			3
Тема 4	6	2			4
Тема 5	6	2			4
Тема 6	6	2			4
Тема 7	5	2			3
Тема 8	5	2			3
Тема 9	5	2			3
Тема 10	6	2			4
Тема 11	6	2			4
Тема 12	6	2			4
Тема 13	6	2			4
Тема 14	10	4			6
Тема 15	5	2			3
Тема 16	5	2			3
Тема 17	9	2		4	3
Тема 18	5	2			3
Тема 19	5	2			3
Тема 20	5	2			3
Тема 21	6	2			4
Тема 22	6	2			4
Тема 23	12	4			8
Тема 24	6	2			4
Тема 25	4	4			
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>56</b>		<b>4</b>	<b>90</b>

#### 4. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Сцинтилятори на основі кисневих кристалів	6
2.	Сцинтилятори на основі сполук $A^{IV}B^{VI}$	6
3.	Сцинтилятори на основі лужногалоїдних сполук	6
4.	Сцинтилятори на основі неорганічних сполук легованих РЗЕ	6
5.	Сцинтилятори на основі твердих розчинів	6
6.	Сцинтилятори на основі органічних сполук	6
7.	Макро-, мікро- та нано- композиційні матеріали: будова, основні шляхи створення, галузі використання	4
8.	Вплив параметрів матриці композиційного матеріалу на люмінесцентні та сцинтиляційні параметри	4
9.	Розрахунки термодинамічних параметрів процесів, що перебігають при постійних $p$ і $T$ , $V$ і $t$ . Оцінка констант рівноваги.	14
10.	Оцінка термодинамічних параметрів процесів при різних температурах. Розрахунок абсолютних ентропій речовин.	10
11.	Побудова кривих охолодження для різних типів фазових діаграм. Побудова фазових діаграм за експериментальними даними.	10
12.	Оцінки коефіцієнту входження домішки в основну речовину за даними фазових діаграм.	12
	<b>Разом</b>	<b>90</b>



## 5. Методи контролю

Усні відповіді на запитання залікового завдання.

Усні або письмові відповіді на запитання екзаменаційного завдання.

## 6. Розподіл балів, які отримують

Самостійна робота	Поточний контроль (залік)	Підсумковий контроль (іспит)	Сума
30	20	50	100

## Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

## 7. Рекомендована література

### Базова

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. М. : Мир, 1978. 791 с. Займан Дж. Принципы теории твердого тела / Дж. Займан. М. : Мир, 1982. 492 с.
2. Левшин В.Л. Фотолюминесценция жидких и твердых веществ / В.Л. Левшин. М.; Л. : Наука, 1951. 262 с.
3. Марфунин А.С. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах / А.С. Марфунин. М. : Недра, 1975. 327 с.

4. Гурвич А.М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров: учеб. пособ. для вузов / А.М. Гурвич.М. : МГУ, 1982. 376 с.
5. Парфианович И.А. Люминесценция центров окраски в кристаллах : учеб. пособие / И.А. Парфианович, Э.И. Пензина. Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 1986. 217 с.
6. Парфианович И.А., Саломатов В.Н. Люминесценция кристаллов. Иркутск : ИГУ, 1988. 248 с.
7. Ландсберг Г.С. Общий курс физики.Т. 4. Оптика / Г.С. Ландсберг. М. : ГИФМЛ, 1964. 924 с.
8. Термолюминесцентная дозиметрия / К.К. Шварц, З.А. Грант, Т.К. Межс, М.М. Грубе. Рига : Зинатне, 1968. 120 с.
9. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию диэлектриков. Часть I.М.: НИЯФ МГУ, 2008.- 219 с.
10. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию диэлектриков. Часть II. Вторичные процессы. М.: НИЯФ МГУ, 2010. –238 с.
11. Inorganic Scintillators for Detector Systems: Physical Principles and Crystal Engineering / P. Lecoq, A. Annenkov, A. Gektin, M. A. Korzhik, C. Pedrini. — В. : Springer, 2006. — 251 p.
12. Карлсон Т. Фотоэлектронная и Оже-спектроскопия / Т. Карлсон. Л. : Машиностроение, 1981. 431 с. 22.
13. Лущик Ч.Б. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах / Ч.Б. Лущик, А.Ч. Лущик. М. : Наука, 1989. 264 с.
14. Антонов-Романовский В.В. Введение в кинетику люминесценции кристаллофосфоров / В.В. Антонов-Романовский. М. : Наука, 1966. 324
15. Р. Ю. Шендрик Введение в физику сцинтилляторов 1, Учебное пособие, Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. 110 с.
16. Р. Ю. Шендрик , Е. А. Раджабов Введение в физику сцинтилляторов 2, Учебное пособие, Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. – 95 с.
17. J.B. Birks The Theory and Practice of Scintillation Counting, A volume in International Series of Monographs in Electronics and Instrumentation Book, Pergamon, 1964, 664 p., <https://doi.org/10.1016/C2013-0-01791-4>
18. Knoll G.G. Radiation detection and measurements and 3rd ed. — N.Y. :Wiley, 2000. – 860 p.
19. Nanocomposite Science and Technology : book / Ed. by P.M. Ajayan, L.S. Schadler, P.V. Braun. – Weinheim.:WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003. – 230 p.
20. А.В. Рагуля, В.В. Скороход. Консолидированные наноструктурные материалы. – Киев : «Наукова Думка», 2007. – 376 с.

21. Yen W. M. Practical Applications of Phosphors / W. M. Yen, Sh. Shionoya, H. Yamamoto. – London: CRC Press, 2006. – 528 p.
22. Функциональные материалы для сцинтилляционной техники и биомедицины. – Харьков: «ИСМА», 2012. 428 с.
23. Ерохин В.Г., Маханько М.Г. Основы термодинамики и теплотехники. Учебник. 2-е изд. Москва: Либроком, 2009. 224 с.
24. Краснов К.С. Физическая химия. В 2 кн. Кн. 1. Строение вещества. Термодинамика. Москва: Высшая школа, 2001. 512 с.
25. Белонучкин В.Е. Краткий курс термодинамики. 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: МФТИ, 2010. 164 с.
26. Базаров И.П. Термодинамика. Москва: Высшая школа, 1991. 376 с.
27. Герасимов И.Я. (ред.) Курс физической химии. Том 1. Москва: Химия, 1964. 624 с.
28. Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство. Под ред. Б.П. Никольского. -2-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Химия, 1987. 880 с.

#### Допоміжна

1. Inorganic Scintillators for Detector Systems: Physical Principles and Crystal Engineering / P. Lecoq, A. Annenkov, A. Gektin, M. A. Korzhik, C. Pedrini. — В. : Springer, 2006. — 251 p.
2. П.Н. Жмурин, Ю.В. Малюкин. Спектроскопия редкоземельных ионов в объемных и наноразмерных кристаллах/ П.Н. Жмурин, Ю.В. Малюкин.— Харьков: “Институт монокристаллов”, 2007.— стр.
3. Н.Г. Старжинский, Б.В. Гринев, Л.П. Гальчинецкий, В.Д. Рыжиков. Сцинтилляторы на основе соединений  $A^{II}B^{VI}$ . Получение, свойства и особенности применения ,Харьков: “Институт монокристаллов”, 2007.— 296 стр.
4. О.Ц. Сідлецький, Б.В. Гриньов Сцинтиляційні кристали на основі твердих розчинів заміщення – Харків: “ИСМА”, 2019. – 248 стр.
5. Аспекты сцинтилляционной техники– Харьков: “ИСМА”, 2017.– 232 стр.
6. Физика сцинтилляторов. Материалы, методы, аппаратура – Харьков: “ИСМА”, 2015.– 270 стр.
7. PHOSPHOR HANDBOOK Laser and Optical Science and Technology Series, Edited by William M., Yen Shigeo Shionoya , Hajime Yamamoto, CRC Press, 2007, 1056 p.
8. Song K.S., Williams R.T. Self-trapped excitons. — В. and N.Y. : Springer, 1997. — 410 p.

9. Dorenbos P. The  $4f\ n \rightarrow 4f\ n-15d$ -transitions of the trivalent lanthanides in halogenides and chalcogenides / P. Dorenbos // *Journal of Luminescence*. 2000. Vol. 91. P. 91–106.
10. Коржик М.В. Физика сцинтилляторов на основе кислородных кристаллов, Мн.:БГУ, 2003, 263 с.
11. Алукер Э.Д., Лусис Д.Ю., Чернов С.А. Электронные возбуждения и радиолюминесценция щелочногалогидных кристаллов. Рига : Зинатне, 1979. С. 251.
12. Henderson B., Imbusch G.F. *Optical Spectroscopy of Inorganic Solids*. — Oxford : Clarendon Press, 1989. — 662 p.
13. Lempicki A., A.J. Wojtowicz, E. Berman. Fundamental limits of scintillator performance // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers and Detectors and Associated Equipment*. — 1993. — Vol. 333. — P. 304–311.
14. Berenyi D., Osvay M. Transmission of 100–472 keV monoenergetic electrons through al absorbers // *Acta Physica Academiae Scientiarum Hungaricae*. — 1963. — Vol. 15, no. 4. — P. 357–359.
15. La Rocca P., Riggi F. Absorption of beta particles in different materials: an undergraduate experiment // *European Journal of Physics*. — 2009. — Vol. 30, no. 6. — P. 1417.
16. Bushberg J. The AAPM/RSNA physics tutorial for residents. X-ray interactions // *Radiographics*. — 1998. — Vol. 18. — P. 457–468.
17. Klein C.A. Band gap Dependence and Related Features of Radiation Ionization Energies in Semiconductors // *J.Appl.Phys.* — 1968. — Vol. 39. — P. 2029–2038.
18. Rothwarf A. Plasmon theory of electronhole pair production - efficiency of cathode ray phosphors // *J.Appl.Phys.* — 1973. — Vol. 44. — P. 752–757.
19. Cavenett B.C., Hayes W. Hunter I.C., Stoneham A.M. Magneto Optical Properties of F Centres in Alkaline Earth Fluorides // *Proceedings of the royal society A*. — 1969. — Vol. 309. — P. 53–68.
20. Hayes W., Lambourn R.F., Stott J.P. H centres in alkaline-earth fluorides // *J.phys.C*. — 1974. — Vol. 7. — P. 2429–2433.
21. Hayes W., Stoneham A.M. *Crystals with the Fluorite Structure*. — Oxford : Clarendon press, 1974. — 448 p.
22. Coexistence of Triplet and Singlet Exciton Emission in Alkaline Earth Fluoride Crystals / J. Becker, M. Kirm, V.N. Kolobanov, V.N. Makhov, et al. // *The Electrochemical Society Proceedings Ser and Pennington and NJ*. — 1998. — P. 415–419.

23. Williams R.T., Kabler M.N. Time-resolved spectroscopy of self-trapped excitons in fluorite crystals // *Physical review B*. — 1976. — Vol. 14. — P. 725–740.
24. Dorenbos P. Scintillation mechanisms in Ce<sup>3+</sup> doped halide scintillators // *physica status solidi (a)*. — 2005. — Vol. 202. — P. 195–200.
25. Properties and mechanism of scintillation in LuCl<sub>3</sub> : Ce<sup>3+</sup> and LuBr<sub>3</sub> : Ce<sup>3+</sup> crystals / E.V.D. van Loef, Dorenbos P., van Eijk C.W.E., Kramerb K.W., H.U. Gudel // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. — 2003. — Vol. 496. — P. 138–145.
26. Weber M.J., Derenzo S.E., Moses W.W. Measurements of ultrafast scintillation rise times: Evidence of energy transfer mechanisms // *J. Lumin.* — 2003. — Vol. 1. — P. 830–832.
27. Vale G. Energy transfer from colour centres to the dopant in alkali halides // *J.of Lum.* — 2003. — Vol. 72-74. — P. 726–728.
28. Nouailhat A., Mercier E., Guillot G. Exciton defect interaction in alkalihalides // *J. de. Physique*. — 1976. — Vol. 37. — P. 492–494.
29. Sole J.G., Bausa L.E., Jaque D. An introduction to the optical spectroscopy of inorganic solids. — Wiley, 2005. — 304 p.
30. Foster T. Intermolecular Energy Migration and Fluorescence // *Annalen der Physik*. — 1948. — Vol. 2. — P. 55–75.
31. Dexter D.L. A theory of sensitized luminescence in solids // *J.Chem.Phys.* — 1953. — Vol. 21. — P. 836. 80
32. Dorenbos P. Fundamental limitations in the performance of Ce<sup>3+</sup> and Pr<sup>3+</sup> and Eu<sup>2+</sup> activated scintillators // *Nuclear Science, IEEE Transactions on*. — 2010. — Vol. 57. — P. 1162–1167.
33. Processing Nano- and Microcapsules for Industrial Applications in *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications* /Editor: Chaudhery Mustansar Hussain. — Elsevier, 2018, P. 989-1011