

**Лантаноиды и их соединения:  
физико-химические свойства и практическое применение**

**Структура и содержание дисциплины**

Раздел	Неде- ля
Введение. Классификация. История открытия. Атомные свойства лантаноидов. Энергетическая структура спектров лантаноидов. Систематическое изменение свойств. Зависимость от атомного номера. Лантаноидное сжатие. Учет взаимодействий: спин-спин, спин-другая орбита, электростатическое – спин-орбитальное.	1
Отличия базовых физических свойств в зависимости от положения в ряду лантаноидов. Изменение кристаллической структуры (ГЦК→ДвГПУ→типа Sm→ГПУ), температур плавления и кипения и пр. Аномалии атомных радиусов. Возможность предсказания свойств соседних элементов. Получение высокочистых монокристаллов лантаноидов. Двухвалентные Eu и Yb: особенности получения. Четыре основных метода получения трехвалентных элементов. Характеризация образцов.	2
Электронная структура лантаноидов. Особенности <i>4f</i> электронов. Энергетические уровни и волновые функции электронов проводимости. Обменное взаимодействие РККИ. Основные энергетические состояния лантаноидов. Многообразие магнитных фаз.	3
Анизотропия свойств лантаноидов. Расщепление энергетических уровней в кристаллическом поле. Кооперативные явления в кристаллических решетках лантаноидов. Эффективные ион-ионные взаимодействия: изотропное обменное и квадрупольное кулоновское. Влияние примесей.	4
Методы экспериментального исследования лантаноидов. Магнитные и транспортные свойства. Магнитотепловые свойства. Нейтронография и магнитные структуры. Рентгеновская дифракция и структурные фазовые переходы. Сосуществующие магнитные и структурные переходы. Упругие и механические свойства. Исследования при гидростатическом давлении. Нестандартные методы: холловская магнитометрия, андреевская спектроскопия, эффект Кондо.	5
Лантан, церий, празеодим, неодим, самарий, европий и лютеций: история, происхождение названия, нахождение в природе, получение, физические свойства, химические свойства, основные соединения, минералы, применение, биологическая роль, изотопы, применения.	6
Гадолий, тербий: история, происхождение названия, нахождение в природе, получение, физические свойства, химические свойства, основные соединения, минералы, применение, биологическая роль, изотопы, применение	7
Диспрозий, гольмий: история, происхождение названия, нахождение в природе, получение, физические свойства, химические свойства, основные соединения, минералы, применение, биологическая роль, изотопы, применение.	8
Эрбий, тулий, иттербий: история, происхождение названия, нахождение в природе, получение, физические свойства, химические свойства, основные соединения, минералы, применение, биологическая роль, изотопы, применение.	9
Сплавы и соединения лантаноидов. Интерметаллиды. Бинарные соединения. Оксиды и гидроксиды. Галогениды. Металлоорганические соединения. Магнитные и транспортные свойства. Аморфные сплавы. Особенности бинарных сплавов лантаноидов. Тонкие пленки лантаноидов. Поверхностный магнетизм: особенности. Соединения лантаноидов и переходных элементов. Системы лантаноид-благородный металл, алюминий, висмут, олово. Наноструктурированные материалы и наночастицы. Наноразмерные мультислои лантаноидов, их соединений с переходными металлами.	10
Экономические аспекты добычи и переработки лантаноидов. Перспективы развития. Магнитокалорический эффект. Магнитное охлаждение.	11

#### Основная литература по курсу

1. С.А. Никитин. Магнитные свойства редкоземельных металлов и сплавов. Изд. МГУ. 1989 г.
2. Белов, К.П. и др. Редкоземельные ферро- и антиферромагнетики / К.П. Белов, М.А. Белянчикова, Р.З. Левитин, С.А. Никитин. Москва: Наука, 1965. 278 с.
3. Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Elsevier, volumes 1-54 Edited by: Karl A. Gschneidner, Jr. and LeRoy Eyring ISBN: 978-0-444-50185-1, 1978-2018
4. A.M. Tishin, Y.I. Spichkin. The Magnetocaloric Effect and Its Applications. IOP Publishing, Ltd., Bristol, UK, 2003, 475 p.
5. Мушников, Н. В. М932 Магнетизм и магнитные фазовые переходы : учеб. пособие / Н. В. Мушников ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 168 с. ISBN 978-5-7996-2049-3
6. Arkady Zhukov Springer Series in Materials Science Volume 231 Novel Functional Magnetic Materials Fundamentals and Applications 2016
7. MAGNETIC PROPERTIES OF RARE EARTH METALS Edited by R. 1. Elliott University of Oxford Department of Theoretical Physics Parks Road Oxford SPRINGER SCIENCE+BUSINESS MEDIA, LLC 1972

#### Дополнительная литература по курсу.

1. Белов, К.П. Магнитотепловые явления в редкоземельных магнетиках / К.П. Белов. Москва: Наука, 1990. 96 с.
2. Звездин, А.К. и др. Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах / А.К. Звездин, В.М. Матвеев, А.А. Мухин, А.И. Попов. Москва: Наука, 1985. 239 с.
3. Белов, К.П. и др. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках / К. П. Белов, А.К. Звездин, А.М. Кадомцева, Р.З. Левитин. Москва: Наука, 1979. 317 с.
4. Jensen, J. et al. Rare earth magnetism: structure and excitations / J. Jensen, A.R. Mackintosh. Oxford: Clarendon Press, 1991. 403 p.
5. Белов, К.П. и др. Гигантская магнитоотрицательная аномалия / К.П. Белов, Г.И. Катаев, Р.З. Левитин, С.А. Никитин, В.И. Соколов // УФН 1983. Т. 140. № 2. С. 271–313
6. Белов, К.П. Магнитные превращения / К.П. Белов. Москва: ГИФМЛ, 1959. 260 с.
7. Вонсовский, С.В. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримагнетиков / С.В. Вонсовский. Москва: Наука, 1971. 1032 с.
8. Белов, К.П. и др. К термодинамическому описанию намагничивания ферромагнетиков вблизи температуры Кюри / К.П. Белов, А.Н. Горяга // ФММ. 1956. Т. II. №1. С. 3-9.

#### Статьи по курсу

1. Kitanovski, A. et al. Application of magnetic refrigeration and its assessment. A feasibility study. / A. Kitanovski, M. Diebold, D. Vuarnoz, et al.: Final report 101776/152191. Yverdon-les-Bains, Switzerland: Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud HEIG-VD, 2008. P. 1–42.
2. Изюмов, Ю.А. Модулированные и длиннопериодические магнитные структуры кристаллов / Ю.А. Изюмов // УФН. 1984. Т. 144. № 3, С. 439-474.
3. Дзялошинский, И.Е. О характере фазовых переходов в геликоидальное или синусоидальное состояние магнетиков / И.Е. Дзялошинский // ЖЭТФ. 1977. Т. 72. № 5. С. 1930-1945.
4. Coey, J.M.D. et al. Alternating current susceptibility of a gadolinium crystal / J.M.D. Coey, K. Callagher, V. Skumryev // J. Appl. Phys. 2000. Vol. 87. P. 7028-7030.

5. Dan'kov, S.Yu. et al. Magnetic phase transitions and the magnetothermal properties of gadolinium / S.Yu. Dan'kov, A.M. Tishin, V. K. Pecharsky, K. A. Gschneidner, Jr. // *Phys. Rev. B*. 1998. Vol. 57. P. 3478-3490.
6. Gschneidner, Jr., K. A. Metals, alloys and compounds - high purities do make a difference! / K.A. Gschneidner, Jr. // *J. Alloys Comp.* 1993. Vol. **193**. P. 1-6.
7. Jensen, J., et al. Novel magnetic phases in holmium / J. Jensen, A.R. Mackintosh // *J. Magn. Magn. Mater.* 1992. Vol. 104-107. P. 1481-1484.
8. Jiles, D.C. et al. Magnetoelastic properties of high-purity single-crystal terbium / D. C. Jiles, S.B. Palmer, D. W. Jones, S. P. Farrant, and K. A. Gschneidner, Jr. // *J. Phys. F: Met. Phys.* 1984. Vol. 14. P. 3061-3068.
9. Nikitin, S.A. et al. Investigation of magnetic phase transitions in terbium using the magnetocaloric effect / S. A. Nikitin, A. M. Tishin, and S. V. Bykhover // *Phys. Stat. Sol. A*. 1989. Vol. **114**, P. K99-K101.
10. Koehler, W.C. et al. Magnetic structures of holmium. II. The magnetization process / W.C. Koehler, J. W. Cable, H. R. Child, M. K. Wilkinson, and E. O. Wollan // *Phys. Rev.* 1967. Vol. 158. P. 450-461.
11. Bodryakov, V.Yu. et al. Magnetoelastic and inelastic properties of holmium single crystal / V.Yu. Bodryakov and S. A. Nikitin // *J. Magn. Magn. Mater.* 1998. Vol. 188. P. 161-168.
12. Roeland, L.W. et al. Conduction electron polarization of gadolinium metal / L. W. Roeland, G.J. Cock, F. A. Muller, A. C. Moleman, K. A. McEwen, G. C. Gorden, and D. W. Jones // *J.Phys. F: Met. Phys.* 1975. Vol. **5**. P. L233-L237.
13. Giaque, W.F. et al. Attainment of temperatures below 1° absolute by demagnetization of  $Gd_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$  / W. F. Giaque and D. P. MacDougall // *Phys. Rev.* 1933. Vol. **43**. P. 768.
14. Zimm, C. et al. Description and performance of a near-room temperature magnetic refrigerator / C. Zimm, A. Sternberg, V. K. Pecharsky, K. A. Gschneidner, Jr., M. Osborne, A. Jastrab, and I. Anderson // *Adv. Cryog. Eng.* 1998. Vol. 43. P. 1759–1766.
15. Buingfend, Y. et al. A review of magnetic refrigerator and heat pump prototypes built before the year 2010 / Y. Bingfend, L. Min, P. W. Egolf, and A. Kitanovsky // *Int. J. Refrig.* 2010. Vol. **33**. P. 1029-1060.
16. Pecharsky, V.K. et al. Thermodynamics of the magnetocaloric effect / V.K. Pecharsky, K.A. Gschneidner, Jr., A.O. Pecharsky, and A.M. Tishin // *Phys. Rev. B*. 2001. Vol. 64. P. 144406-1-144406-