

## Контрольные вопросы к кандидатскому экзамену по дисциплине «Физика магнитных явлений»

1. Магнитные свойства атомов и молекул. Теория кристаллического поля. Диамагнетизм и парамагнетизм в диэлектриках.
2. Прямое и косвенное обменное взаимодействие в магнитных диэлектриках. Модель Гейзенберга. Спиновые волны.
3. Метод Хартри-Фока. Приближение слабой и сильной связи. Поверхность Ферми. Методы расчета зонной структуры.
4. Электронный газ. Парамагнетизм и диамагнетизм электронного газа. Критерий ферромагнетизма электронного газа.
5. Полярная модель Шубина-Вонсовского. Модель Хаббарда для невырожденной зоны. Магнитные состояния в модели Хаббарда.
6. Уровни Ландау. Осцилляция магнитной восприимчивости. Эффекты Эйнштейна де Гааза и Шубникова. Циклотронный резонанс.
7. Примесные уровни и их влияние на энергетический спектр. Распределение зарядовой и спиновой плотности вокруг примеси. Примесная модель Андерсена.
8. Теория антиферромагнетизма в приближении молекулярного поля. Продольная и поперечная восприимчивость и их температурные зависимости. Термодинамическая теория слабого ферромагнетизма по Дзялошинскому. Геликоидальный антиферромагнетизм редкоземельных металлов.
9. Теория ферромагнетизма в приближении молекулярного поля. Основные типы температурной зависимости самопроизвольной намагниченности.
10. Температурная зависимость парамагнитной восприимчивости ферромагнетиков – закон Нееля. Физические свойства ферромагнетиков в области точки компенсации магнитных моментов подрешеток. Ферриты со структурой шпинели и граната. Гексагональные ферриты.
11. Основы теории магнитных превращений. Изменение магнитного состояния при изменении температуры, давления и магнитного поля. Удельные теплоемкости при постоянном поле и при постоянной намагниченности. Скачок теплоемкости в точке Кюри.
12. Магнетокалорический эффект. Аномалия коэффициента расширения ферромагнетиков.
13. Термодинамическая теория ферромагнитного превращения. Критические индексы.
14. Магнитные фазовые переходы первого рода. Магнитные переходы типа спиновой переориентации, вызванные сильным магнитным полем и изменением температуры.
15. Низкомерные и квазинизкомерные магнетики. Теорема Мермина – Вагнера. Термодинамические свойства низкомерных магнетиков (намагниченность, восприимчивость, теплоемкость).
16. Ферро- и ферромагнетики в переменных полях. Уравнение Ландау и Лившица для движения магнитного момента. Ферро-, ферри- и антиферромагнитный резонансы.
17. Ядерный магнитный резонанс. Спиновое эхо.
18. Магнитные эффективные поля на ядрах магнетиков и их природа. Эффект Мессбауэра.

19. Атомная структура аморфных материалов. Классификация аморфных магнетиков (по хим. составу и по видам магнитных структур).
20. Методы описания магнитной структуры аморфных магнетиков (решеточные модели, макроскопическое описание в приближении сплошной среды). Стохастические характеристики аморфных магнетиков, методы их измерения.
21. Основные кристаллические структуры, типы магнитного упорядочения, магнитные электрические и оптические свойства полупроводников.
22. Экспериментальное проявление взаимодействия между локализованными спинами и подсистемой носителей заряда в магнитных полупроводниках. Автолокализация электронов. Теоретические модели, используемые для описания свойств магнитных полупроводников.
23. Структурные особенности тонких пленок и их влияние на магнитные свойства. Микроструктурная структура. Текстура. Перпендикулярная анизотропия.
24. Физические свойства многослойных магнитных пленок. Механизмы межслоевого взаимодействия.
25. Особенности доменной структуры. Роль магнитостатической энергии. Блоховские и неелевские доменные стенки, блоховские линии.
26. Особенности процессов квазистатического и импульсного перемагничивания. Петли гистерезиса в теории однородного вращения намагниченности.
27. Высокочастотные свойства тонких пленок. Ферромагнитный, спин-волновой и ядерный магнитный резонанс. Ядерное спиновое эхо.
28. Методы измерения магнитного момента, намагниченности, восприимчивости магнетиков (индукционные методы, силовые измерения в градиентных полях, магнитооптические методы и др.).
29. Структурные методы изучения магнетиков. Электронная и атомно-силовая микроскопия. Нейтронография магнитных структур.
30. Методы наблюдения доменных структур: порошковая методика, электронномикроскопические методы.
31. Разночастотные методы исследования магнетиков (ЭПР-, ФМР-, ЯМР-спектроскопия).
32. Элементночувствительные методики рентгеновской магнитооптики, рентгеновский магнитный круговой дихроизм.

### **Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **Основная литература**

1. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
2. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. Магнитные свойства вещества. М.: Мир, 1983.
3. Ирхин В.Ю., Ирхин Ю.П. Электронная структура, физические свойства и корреляционные эффекты в d-, f- металлах и их соединениях. Екатеринбург. УРОРАН 2004.
4. Катанин А.А., Ирхин В.Ю., Игошев П.А. Модельные подходы к магнетизму двумерных зонных систем. Москва. Физматлит.2013.
5. Морозов А.И., Сигов А.С. Фрустрированные магнитные наннотруктуры. Москва. Физматлит.2016

6. Хандрих К., Коте С. Аморфные ферро- и ферримагнетики. М.: Мир, 1982.
7. Малоземов А., Слонзуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982.
8. Овчинников С.Г. Использование синхронного излучения для исследования магнитных материалов. УФН, 1999, т. 169, №8, с.869-887.
9. Морозов А.И., Сигов А.С. Поверхностный спин-флоп переход в антиферромагнетике. УФН т.180, №7, с.709-722
10. Baibich, M.N. Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices / M.N. Baibich, J.M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff // Physical Review Letters. – 1988. – Vol. 61. – Iss. 21. – P. 2472–2475.
11. Binasch, G. Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange / G. Binasch, P. Grünberg, F. Saurenbach, W. Zinn // Physical Review B. – 1989. – Vol. 39. – Iss. 7. – P. 4828–4830.
12. Bader, S.D. Spintronics / S.D. Bader, S.S.P. Parkin // Annual Review of Condensed Matter Physics. – Vol. 1. – 2010. – P. 71-88.
13. Appelbaum, I. Electronic measurement and control of spin transport in silicon / I. Appelbaum, B. Huang, D.J. Monsma // Nature. – Vol. 447. – 2007. – P. 295-298.
14. Lichtenstein, A.I. Finite-temperature magnetism of transition metals: an ab initio dynamical mean-field theory / A.I. Lichtenstein, M.I. Katsnelson, G. Kotliar // Physical Review Letters. – 2001. – Vol. 87. – Iss. 6. – P. 067205-4.
15. Thole, B.T. X-ray circular dichroism as a probe of orbital magnetization / B.T. Thole, P. Carra, F. Sette, G. van der Laan // Physical Review letters. – 1992. – Vol. 68. – Iss. 12. – P. 1943–1946.
16. Dash, S.P. Electrical creation of spin polarization in silicon at room temperature / S.P. Dash, S. Sharma, R.S. Patel, M.P. de Jong, R. Jansen // Nature. – 2009. – Vol. 462. – № 72. – P. 491–494.
17. Rauer, R. Temperature-dependent spectral generalized magneto-optical ellipsometry for ferromagnetic compounds / R. Rauer, G. Neuber, J. Kunze et al. // Rev. Sci. Instrum. – Vol. 76. – 2005. – P. 023910.
18. Рыжов В.Н. , Тареева Е.Е. и др. «Переход Березинского—Костерлица—Таулеса и двумерное плавление». УФН, 187 921–951 (2017)
19. В.Ю. Ирхин «Необычный магнетизм решёток Кондо» УФН, 187 801–816 (2017)
20. В.В. Прудников, П.В. Прудников, М.В. Мамонова «Особенности неравновесного критического поведения модельных статистических систем и методы их описания» УФН, 187 817–855 (2017)
21. А.Ф. Барабанов, Ю.М. Каган и др. «Эффект Холла и его аналоги» УФН, 185 479–488 (2015)
22. Л.С. Успенская, А.Л. Рахманов «Динамические магнитные структуры в сверхпроводниках и ферромагнетиках» УФН, 182 681–699 (2012)

#### Дополнительная литература

1. Займан Д.. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1966.
2. Нагаев Э.Л.. Физика магнитных полупроводников. М.: Наука. 1979
3. Т. Мория. Спиновые флуктуации в магнетиках с коллективизированными электронами. М.: Мир. 1988.

4. А.Г. Гуревич, Г.А. Мелков. Магнитные колебания и волны. М.: Наука. 1994.
5. Александров К.С. и др. Магнитные фазовые переходы в галлоидных кристаллах. Новосибирск: Наука СО АН СССР.- 1983
6. S.G.Ovchinnikov, I.A.Makarov, E.I.Shneyder, Yu.N.Togusheva, V.A.Gavrishkov, M.M.Korshunov. Magnetic mechanism of Pairing in strongly correlated electron systems of copper oxides. In: C.Taylor (Ed.) Recent Advances in Superconductivity Research, Nova Science Publishers, N.Y.,USA, 2013, P. 93-144 (Глава в книге)
7. Овчинников С.Г., Руденко В.В. Анизотропные взаимодействия в магнитных кристаллах с ионами в S состоянии. Наноструктуры//УФН–2014.Т.184.–№12.С-1299-1318.
8. Gareev, R.R. Metallic-type oscillatory interlayer exchange coupling across an epitaxial FeSi spacer / R.R. Gareev, D.E. Bürgler, M. Buchmeier, D. Olligs, R. Schreiber, P. Grünberg // Physical Review Letters. – 2001. – Vol. 87. – Iss. 15. – P. 157202-4.
9. Strijkers, G. Origin of biquadratic exchange in Fe/Si/Fe / G. Strijkers, J. Kohlhepp, H. Swagten, W. de Jonge // Physical Review Letters. – 2000. – Vol. 84. – Iss. 8. – P. 1812–1815.
10. Schlömann, E. Demagnetizing fields in thin magnetic films due to surface roughness / E. Schlömann // Journal of Applied Physics. – 1970. – Vol. 41. – Iss. 4. – P. 1617–1622.
11. Matos M. et al. First principles calculation of magnetic order in a low-temperature phase of the iron ludwigite // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – Т. 374. – С. 148-152.
12. Volkov N.V., Tarasov A.S., Smolyakov D.A., Gustaitsev A.O., Rautskii M.V., Lukyanenko A. V., Volochaev M.N., Varnakov S. N., Yakovlev I.A., Ovchinnikov S.G. Extremely high magnetic-field sensitivity of charge transport in the Mn/SiO<sub>2</sub>/p-Si hybrid structure // AIP ADVANCES, 2017, Vol.7, issue 1, 015206. DOI: 10.1063/1.4974876.
13. Овчинников С.Г., Варнаков С.Н., Лященко С.А., Тарасов И.А., Яковлев И.А., Попов Е.А., Жарков С.М., Великанов Д.А., Тарасов А.С., Жандун В.С., Замкова Н.Г. Наноструктуры ферромагнитный металл/полупроводник на основе силицидов железа// Физика твердого тела, 2016, том 58, вып. 11, с.2195-2199.
14. Bartolomé J. , Badía-Romano L., Rubín J. , Bartolomé F. , Varnakov S.N. , Ovchinnikov S.G. , Bürgler D.E. Magnetic properties, morphology and interfaces of (Fe/Si)n nanostructures// Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2016, Vol. 400, P. 271–275.
15. Иванова Н.Б., Овчинников С.Г., Коршунов М.М., Еремин И.М., Казак Н.В.. Особенности спинового, зарядового и орбитального упорядочений в кобальтитах. УФН 179, 837-860 (2009).
16. Минеев В.П. «Сверхпроводимость в урановых ферромагнетиках» УФН, 187 129–158 (2017)
17. .Алексеев П.А «Нейтронная спектроскопия и сильнокоррелированные электроны: взгляд изнутри» УФН, 187 65–98 (2017)
18. Каган М.Ю. , Мицкан В.А. , Коровушкин М.М. «Аномальная сверхпроводимость и сверхтекучесть в фермионных системах с отталкиванием» УФН, 185 785–815 (2015)
19. Кудасов Ю.Б. , Коршунов А.С. и др. «Фрустрированные решётки изинговских цепочек» УФН, 1821249–1273 (2012)