

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»
(КНЦ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФИЦ КНЦ СО РАН


_____ А.А. Шпедт

« 15 » *января* _____ 2022г.



**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«Физика магнитных явлений»

Научная специальность:

1.3.12 «Физика магнитных явлений»

Отрасль наук:

физико-математические, технические науки

Красноярск 2022

1 Общие положения

Программа кандидатского экзамена разработана на кафедре фундаментальных дисциплин и методологии науки факультета подготовки кадров ФИЦ КНЦ СО РАН в соответствии со следующими документами:

- Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. №951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»;
- Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН;
- Порядком сдачи кандидатских экзаменов и прикрепления лиц к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов;
- Паспортом научной специальности.

Цель проведения экзамена: оценить уровень знаний, умений и навыков в области физики магнитных явлений.

Экзамен по специальной дисциплине должен выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки экзаменуемого, знание общих концепций и методологических вопросов данной науки, истории ее формирования и развития, фактического материала, основных теоретических и практических проблем данной отрасли знаний.

К кандидатскому экзамену допускаются лица, прикрепленные к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, и аспиранты, обучающиеся в ФИЦ КНЦ СО РАН по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – экзаменуемые).

Кандидатский экзамен по дисциплине «Физика магнитных явлений» проводится по билетам. Экзаменационный билет включает в себя три теоретических вопроса по данной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

2 Содержание программы кандидатского экзамена

Общие понятия

Магнетизм. Магнитное поле. Магнитный момент. Векторы магнитной индукции, намагниченности, напряженности магнитного поля. Магнитный поток. Магнитный заряд. Магнитный диполь.

Магнитные структуры и типы магнетиков

Упорядоченные магнитные структуры.

Магнитная структура. Магнитная подрешетка. Ферромагнитная структура. Антиферромагнитная структура. Слабый ферромагнетизм. Ферримагнитная структура. Спиральная магнитная структура. Магнитная ячейка. Магнитная нейтронография.

Неупорядоченные магнитные структуры. Спиновое стекло.

Магнитные взаимодействия

Обменное взаимодействие и его энергия. Косвенное обменное взаимодействие. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитное дипольное взаимодействие. Сверхтонкое взаимодействие.

Магнитная анизотропия

Энергия магнитной анизотропии. Константы магнитной анизотропии. Эффективное магнитное поле анизотропии. Оси магнитной анизотропии. Плоскости легкого и трудного намагничивания. Магнитная анизотропии типа “легкая ось”, “легкая плоскость”. Наведенная магнитная анизотропия.

Магнитоупругие явления

Магнитострикция. Магнитоупругая энергия. Магнитоупругие постоянные. Константы магнитострикции. Магнитоупругие волны. Магнитоупругое затухание.

Кинетические явления

Гальваномагнитные эффекты. Эффекты Холла. Магниторезистивные эффекты. Гальванотермомагнитные эффекты. Термомагнитные эффекты.

Домены и доменные границы

Магнитный домен. Доменная граница (Блоха, Нееля). Доменная структура. Полосовая и лабиринтная доменные структуры. Цилиндрический магнитный домен. Решетка ЦМД.

Процессы намагничивания, перемагничивания и размагничивания

Внешнее магнитное поле. Намагничивание. Гистерезис намагничивания. Эффект Баркгаузена. Магнитное насыщение. Подвижность и эффективная масса доменной границы. Перемагничивание. Коэрцитивная сила. Петля магнитного гистерезиса. Магнитная восприимчивость и проницаемость. Размагничивание переменным полем, нагревом. Размагничивающее и внутреннее магнитное поле.

Магнитные фазовые переходы и критические явления

Фазовый переход. Переходы первого и второго рода. Диаграмма состояний. Критическая температура. Температура Кюри. Температура Нееля.

Спиновые волны

Ферромагнитный резонанс. Магнитоэлектрические моды. Спиновые волны. Спин-волновой резонанс.

Магнитооптика

Магнитооптические эффекты: эффект Фарадея, эффект Коттона-Мутона, эффект Керра. Фотомагнитные эффекты. Гиромагнитная среда.

Характеристики магнитных материалов

Магнито-мягкий материал. Магнито-твердый материал. Магнитный материал с прямоугольной петлей гистерезиса. Сверхвысокочастотный магнитный материал. Магнитный материал для постоянных магнитов.

Магнитный материал для носителей записи. Материал с цилиндрическими магнитными доменами. Магнитострикционный материал. Материал для термомагнитной записи информации. Текстурированный магнитный материал.

Магнитные материалы

Феррит-гранат. Феррит-шпинель. Ортоферрит. Гексаферрит. Пермаллой. Параметры магнитных материалов

Магнитные потери. Магнитные потери на гистерезис. Магнитные потери на вихревые токи. Магнитное сопротивление. Время и скорость перемагничивания. Коэффициент прямоугольности петли магнитного гистерезиса.

3. Перечень вопросов 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 –
11. Закон Нееля. Физические свойства ферромагнетиков в области точки компенсации магнитных моментов подрешеток. Ферриты со структурой шпинели и граната. Гексагональные ферриты.
12. 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.
13. Магнетокалорический эффект. Аномалия коэффициента расширения ферромагнетиков.
14. Термодинамическая теория ферромагнитного превращения. Критические индексы.
15. Магнитные фазовые переходы первого рода. Магнитные переходы типа спиновой переориентации, вызванные сильным магнитным полем и изменением температуры.
16. Низкомерные и квазинизкомерные магнетики. Теорема Мермина – Вагнера. Термодинамические свойства низкомерных магнетиков (намагниченность, восприимчивость, теплоемкость).

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

4 Критерии оценивания ответа

Отлично	Полно раскрыто содержание вопросов; материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности, правильно используется терминология; показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации; продемонстрировано усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов, ответ прозвучал самостоятельно, без наводящих вопросов.
Хорошо	Ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «отлично», но при этом может иметь следующие недостатки: в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие содержание ответа допущены один -два недочета при освещении основного содержания ответа, исправленные по замечанию; допущены ошибка или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов, которые легко исправляются по замечанию
Удовлетворительно	Неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но показано общее понимание вопроса. Имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, исправленные после нескольких наводящих вопросов.
Неудовлетворительно	Имели место существенные упущения при ответах на все вопросы билета или полное несоответствие по более чем 50% материала вопросов билета

5 Учебно-методическое и информационное обеспечение

5.1 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., Слозуски 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-флор 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. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Рыжов В.Н., Тареева Е.Е. и др. «Переход Березинского—Костерлица—Таулеса и двумерное плавление». УФН, 187 921–951 (2017)
18. В.Ю. Ирхин «Необычный магнетизм решёток Кондо» УФН, 187 801–816 (2017)
19. 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)
20. А.Ф. Барабанов, Ю.М. Каган и др. «Эффект Холла и его аналоги» УФН, 185 479–488 (2015)
21. Л.С. Успенская, А.Л. Рахманов «Динамические магнитные структуры в сверхпроводниках и ферромагнетиках» УФН, 182 681–699 (2012)

5.2 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 галоидных кристаллах. Новосибирск: Наука СО АН СССР.- 1983
6. S.G.Ovchinnikov, I.A.Makarov, E.I.Shneyder, Yu.N.Togusheva, V.A.Gavrichkov, 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/SiO₂/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
- 19.Кудасов Ю.Б. , Коршунов А.С. и др. «Фрустрированные решётки изинговских цепочек» УФН, 1821249–1273 (2012).

5.3 Интернет ресурсы

1. Scopus, база данных рефератов и цитирования, <http://www.scopus.com>.
2. ScienceDirect (Elsevier), база данных научного цитирования, естественные науки, техника, медицина и общественные науки, <http://www.sciencedirect.com>.
3. :Web of Science Core Collection – международная междисциплинарная база данных научного цитирования, <http://www.webofknowledge.com>.
4. Электронно-библиотечная система издательства «ЛАНЬ», <http://e.lanbook.com>.
5. Университетская библиотека ONLINE, электронно-библиотечная система, <http://biblioclub.ru/>.
6. Образовательная платформа - электронно-библиотечная система издательства «Юрайт», <https://urait.ru/>.
7. Электронно-библиотечная система Znanium.com, <http://www.znanium.com>.
8. Центральная Научная Библиотека имени Н.И. Железнова, <http://www.library.timacad.ru>.
9. United Nations Environment Program: www.unep.org.
10. eLIBRARY.RU Научная электронная библиотека, <http://elibrary.ru/>.
11. Национальная электронная библиотека, <https://rusneb.ru/>.
12. Электронная библиотека IOP Science дома научного контента от IOP Publishing, <http://iopscience.iop.org/>.
13. Электронная библиотека SPIE. Digital library, <http://spiedigitallibrary.org/>.
14. Архив научных журналов Министерства образования и науки Российской Федерации, <http://archive.neicon.ru/xmlui/>.
15. Библиотека издательства Annual Reviews, библиотека журналов <http://www.annualreviews.org>.
16. Библиотека Российского фонда фундаментальных исследований, <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>.
17. Центральная научная библиотека ФИЦ КНЦ СО РАН, <http://cnb.krasn.ru>.
18. Электронная библиотека Nature, <http://www.nature.com>.
19. Электронная библиотека Science, <http://www.sciencemag.org>.

20. База данных научного цитирования издательства Taylor&Francis Group, <http://www.tandfonline.com/>.
21. Онлайн-библиотека Wiley Online Library, <http://onlinelibrary.wiley.com>.
22. Электронная библиотека журналов открытого доступа ACS Publications, <http://pubs.acs.org/>.
23. Электронная библиотека журналов Американского физического общества APS physics, <http://publish.aps.org>.
24. Электронно-библиотечная система Scitation, издательство AIP Publishing Books, <http://scitation.aip.org/>.
25. Цифровой образовательный ресурс – электронная библиотечная система IPR SMART, <http://www.iprbookshop.ru/>.
26. Библиотека издательства Oxford Academic, <http://www.oxfordjournals.org>.
27. Справочная библиотека издательства Oxford University Press, цифровая платформа Oxford Reference, <http://www.oxfordreference.com>.
28. Электронная система исследовательских журналов мирового уровня открытого доступа SAGE journals, <http://online.sagepub.com/>.

Согласовано:

Заведующий кафедрой фундаментальных
дисциплин и методологии науки



В.В. Минеев

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин