

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Технологический институт сверхтвердых и  
новых углеродных материалов**

УТВЕРЖДАЮ  
Врио директора  
ФГБНУ ТИСНУМ  
С.А. Герентьев  
« 15 » мая 2019 г.



**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ»  
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ  
(собеседование)**

г. Москва, г. Троицк, 2019 г.

На вступительном испытании будут заданы вопросы по выпускной квалификационной работе и вопросы из раздела, соответствующего направлению будущей научно-исследовательской деятельности поступающего.

**Вопросы по выпускной квалификационной работе (магистратура или специалитет)**

1. Основные положения.
2. Новизна.
3. Актуальность.

**Раздел «Приборы и методы экспериментальной физики»**

1. Методы измерения времени, погрешности измерений, эталоны. Учет эффектов общей теории относительности (зависимость хода часов от ускорения и гравитации)
2. Измерение частот в радиодиапазоне. Стандарты частоты.
3. Методы и погрешности измерений координат, углов, длин. Мировые стандарты и эталоны.
4. Методы измерения термодинамических величин
5. Радиоспектроскопия (эффект Зеемана, ядерный магнитный резонанс, томография).
6. Электромагнитные измерения (способы регистрации радиоизлучения, методы регистрации в оптическом диапазоне: фотодиоды, фотоумножители, черенковские детекторы).
7. Регистрация частиц и радиоактивных излучений (ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, пропорциональные счетчики, стримерные и искровые камеры, полупроводниковые детекторы, сцинтилляционные счетчики, пузырьковые камеры, черенковские счетчики, ядерные фотоэмульсии).
8. Шумы и помехи при измерении электрических, акустических и оптических величин
9. Дифференциальные, интерферометрические и другие методы измерений.
10. Нанотехнологии в измерительной технике
11. Дозиметрические измерения и дозиметрические единицы; коэффициенты, учитывающие влияние радиации на живые организмы, эквивалентная доза.
12. Системы единиц. Единая система единиц (СИ). Универсальные постоянные и естественные системы единиц. Производные единицы и стандарты.

13. Прямые, косвенные, статистические и динамические измерения. Оценки погрешностей косвенных измерений. Условные измерения. Проблема корреляций и уравнивание условных измерений. Принципиальные ограничения на точность измерений (физические пределы).
14. Методы измерений физических величин в исследуемой области физики.
15. Основные принципы построения приборов для измерений физических величин в заданной области физики
16. Фундаментальные шумы в измерительных устройствах.
17. Тепловой шум. Формула Найквиста. Теорема Каллена-Вельтона. Дробовой шум в электронных и оптических приборах. Шумы  $1/f$ .
18. Квантовые эффекты в физических измерениях. Условия, когда классический подход становится неприменим.
19. Соотношения неопределенности. Роль обратного флуктуационного влияния прибора. Стандартные квантовые пределы. Квантовые невозмущающие измерения. Квантовые эталоны единиц физических величин (примеры). Эффект Джозефсона и сверхпроводящие квантовые интерферометры.
20. Случайные события. Понятие вероятности. Условные вероятности. Распределение вероятности. Плотность вероятности. Моменты.
21. Специальные распределения вероятностей и их использование в физике. Биномиальное распределение, распределение Пуассона (дробовой шум), экспоненциальное распределение. Нормальное распределение и центральная предельная теорема.
22. Многомерные распределения вероятностей. Корреляции случайных величин.
23. Случайные процессы. Эргодичность. Корреляционная функция случайного процесса. Стационарные случайные процессы. Спектральная плотность. Теорема Винера-Хинчина.
24. Оценка параметров случайных величин. Выборочные средние и дисперсии. Выборочные распределения.  $t$ -распределение Стьюдента,  $\chi^2$ -распределение.
25. Определение средних значений измеряемых параметров и их погрешностей в прямых и косвенных измерениях.
26. Техника оценки параметров при разных распределениях погрешностей измерений. Средние и вероятные значения переменных. Техника оценки параметров при асимметричных распределениях погрешностей. Суммирование результатов различных измерений. Робастные оценки. Параметрические и непараметрические оценки.

27. Аналитическая аппроксимация результатов и измерений. Интерполяция (линейная, квадратичная, кубическая и т.п.)
28. Фурье-анализ. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье.
29. Статистическая проверка гипотез. Критерии согласия и методы их использования. Критерий  $\chi^2$ , Смирнова-Колмогорова, Колмогорова.
30. Прямые и обратные задачи. Некорректные задачи. Обратные задачи при анализе результатов измерений и методы их решения.
31. Метод максимального правдоподобия и его применение.
32. Метод наименьших квадратов.
33. Аналитическое описание физических процессов.
34. Планирование эксперимента, выбор метода и технических средств, методы оценки ожидаемых результатов и их погрешностей.
35. Метод статистических испытаний, методика его применения.
36. Использование моделей физических процессов.
37. Учет влияния прибора на результаты измерений. Моделирование с учетом особенностей используемых детекторов.
38. Создание комплексных установок. Общие требования. Обработка информации "в линию" (on-line).
39. Способы преобразования измерений для передачи на значительные расстояния.
40. Контроль процессов измерений в реальном времени
41. Способы вывода информации в реальном времени. Накопление экспериментальных данных, создание банков данных

### **Раздел «Физика конденсированного состояния»**

1. Структура твердого тела, как одного из конденсированных состояний. Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решетки Браве. Точечные и пространственные группы. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брэгга. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.
2. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Атомы внедрения. Комплексы атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокации. Переползание и скольжение. Размножение дислокаций. Источник Франка-Рида. Влияние радиационных, механических, термических воздействий на реальную структуру твердых тел.

3. Типы химических связей. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотнейшие упаковки.
4. Аморфные твердые тела, металлические стекла, полупроводники, магнетики и их свойства.
5. Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.
6. Колебания решетки-фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки. Дебаевская частота. Фактор Дебая-Валлера в рассеянии рентгеновских лучей. Ангармонизм и тепловое расширение.
7. Электронные состояния в кристаллах. Одноэлектронная модель. Приближения сильной и слабой связей. Зонная теория и физические свойства твердых тел. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоемкость, поверхность Ферми. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение ферми-уровня в невырожденных полупроводниках.
8. Кинетическое уравнение. Электро-и теплопроводность. Времена релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононные столкновения. Нормальные процессы, процессы переброса. Магнитосопротивление и эффект Холла.
9. Металлы с большой длиной пробега электронов. Аномальный скин-эффект. Циклотронный резонанс и размерные эффекты. Проникновение электромагнитного поля в металл. Геликоны. Квантование орбит в магнитном поле. Эффект де Гааза-ван-Альфена
10. Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости.  $np$  переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Горячие носители. Эффект Ганна.
11. Тензор упругих постоянных и упругая деформация. Пластичность кристаллов. Предел текучести. Упрочнение. Внутреннее трение.
12. Механизмы поглощения фотонов. Поглощение свободными носителями. Решеточное поглощение. Многофононные процессы. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Правила отбора. Межзонные прямые и косые переходы. Экситоны. Люми-

несценция. Времена жизни возбуждений, флюоресценция. Безизлучательные переходы. Квантовый выход люминесценции.

13. Диамagnetизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейсса. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Энергия анизотропии. Доменная стенка. Антиферромагнетики. Ферриты. Спиноориентированные явления. Внутренние магнитные поля, их составляющие и влияние на состояние ядерных уровней.

14. Эффективное поле. Электрострикция и пьезоэлектричество. Пироэлектрики и сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис.

15. Аномалии физических свойств сегнетоэлектриков в области фазовых переходов. Молекулярные кристаллы.

16. Равновесие фаз. Фазовые переходы I и II рода. Флуктуации. Твердые растворы и промежуточные фазы.

17. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз. Диаграммы равновесия. Диффузионные и бездиффузионные превращения. Кинетика фазовых превращений.

18. Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейсснера. Сверхпроводники I и II рода. Вихри и вихревые структуры.

19. Основы микроскопической и термодинамической теорий. Куперовские пары. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводнике. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона.

20. Высокотемпературные сверхпроводники, их структура, химический состав. Роль кислорода в ВТСП.

21. Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структур. Электронография и электронная микроскопия. Нейтронография: упругое и неупругое когерентное рассеяние, исследование магнитных структур и фононных спектров. Эффект Мессбауэра, ЭПР, ЯМР.

22. Электрические и гальваномагнитные измерения, как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках.

23. Оптические методы исследования. Возможности, связанные с использованием лазерных источников света.

24. Условия облучения материалов в современных ядерно-энергетических установках. Упругие и неупругие столкновения бомбардирующих частиц с атомами вещества. Процессы ионизации в кристаллах. Первично выбитые атомы, их спектры.

25. Образование дефектов под облучением. Образование пар Френкеля в облучаемых кристаллах. Каскады атоматомных соударений. Отжиг радиационных дефектов.

- 26.Изменение структуры и свойств металлов под облучением, Диффузионные процессы под облучением: радиационно-ускоренные и радиационно-индуцированные фазово-структурные превращения в облучаемых сплавах. Радиационные набухание и ползучесть.
- 27.Ионная имплантация в металлы.
- 28.Методы исследования приповерхностных слоев твердого тела. Дифракция медленных электронов, электронная Оже-спектроскопия, фотоэлектронная спектроскопия, масс-спектроскопия вторичных ионов.
- 29.Электронная просвечивающая и растровая микроскопия дефектов в металлах.
- 30.Применение методов ЭПР и ЯМР в радиационной физике твердого тела.
- 31.Влияние несовершенств структуры твердых тел на параметры Мессбауэровских спектров.

### Литература

#### **К разделу «Приборы и методы экспериментальной физики»**

1. Большев Л.Н. и Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М., 1983
2. Кендал М. и Стюарт А. Статистические выводы и связи, пер. с англ., М., Мир, 1976.
3. Боровков А.А. Математическая статистика, М., 1984
4. Бароне А., Патерио Д. Эффект Джозефсона: физика и применения. Пер. с англ., М., 1984.
5. Физическая энциклопедия. т.т. 1-5. Изд. «Советская энциклопедия», М., 1988-1998.
6. В.Б. Брагинский, «Физические эксперименты с пробными телами», М., - Наука, 1970.
7. Ю.И. Воронцов, «Теория и методы макроскопических измерений», М., - Наука, 1989.

#### **К разделу «Физика конденсированного состояния»**

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, тт. I и II. М., Мир, 1979.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М., Мир, 1969.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
5. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2000.
6. Вонсовский С.В. Магнетизм. М., Наука, 1971.
7. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979 г.

8.В.В.Шмидт «Введение в физику сверхпроводимости». МЦ НМО, Москва, 2000.