

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Одобрено на заседании Ученого
совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ,
протокол №25.8 от 25.08.2025

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

название дисциплины

для направления подготовки

22.03.01 – Материаловедение и технологии
материалов

код и название направления подготовки

образовательная программа

«Материалы фотоники»

Форма обучения: очная

Область применения

Фонд оценочных средств (ФОС) – является обязательным приложением к рабочей программе дисциплины «Квантовая теория твердого тела» и обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Цели и задачи фонда оценочных средств

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине «Квантовая теория твердого тела» решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- контроль и оценка степени освоения компетенций предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данной дисциплины.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1. В результате освоения ОП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

<i>Код компетенций</i>	<i>Наименование компетенции</i>	<i>Код и наименование индикатора достижения компетенции</i>
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, общеинженерные и естественнонаучные знания	З-ОПК-1 знать фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы У-ОПК-1 уметь применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера; В-ОПК-1 владеть навыками моделирования, математического анализа, а также решать задачи в области естественнонаучных и общеинженерных знаний.
УКЕ-1	Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах	З-УКЕ-1 знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-УКЕ-1 уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи В-УКЕ-1 владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами

1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП бакалавриата

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;
- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см. РПД).

1.2. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
Текущая аттестация, 4 семестр			
1.	Методы квантовой механики	З-ОПК-1 У- ОПК-1 В- ОПК-1 З- УКЕ-1 У- УКЕ-1 В- УКЕ-1	Коллоквиум №1
2.	Квантовая статистика	З-ОПК-1 У- ОПК-1 В - ОПК-1 З- УКЕ-1 У- УКЕ-1 В- УКЕ-1	Коллоквиум №2

Промежуточная аттестация, 4 семестр			
	экзамен	З-ОПК-1 У- ОПК-1 В- ОПК-1 З- УКЕ-1 У- УКЕ-1 В- УКЕ-1	Экзаменационный билет

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
Высокий <i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Творческая деятельность	<i>Включает низжестоящий уровень.</i> Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
Продвинутый <i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	<i>Включает низжестоящий уровень.</i> Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено
Пороговый <i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-74	D/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	E/Посредственно /Зачтено
Ниже порогового	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Зачтено

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

Уровень сформированности компетенции	Текущий контроль	Промежуточная аттестация
высокий	высокий	высокий
	<i>продвинутый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>продвинутый</i>
продвинутый	<i>пороговый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>пороговый</i>
	продвинутый	продвинутый
	<i>продвинутый</i>	<i>пороговый</i>
	<i>пороговый</i>	<i>продвинутый</i>
пороговый	пороговый	пороговый
ниже порогового	пороговый	ниже порогового
	ниже порогового	-

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

- Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.
- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.
- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
 - о контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 4 неделю учебного семестра.
 - о контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 5 по 8 неделю учебного семестра.
- Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум
Текущая аттестация	1-16	36 - 60% от максимума	60
Контрольная точка № 1	1-8	18 (60% от 30)	30
Контрольная точка № 2	9-16	18 (60% от 30)	30
Промежуточная аттестация	-	24 – (60% 40)	40

Экзамен Билеты к экзамену по электродинамике	-	24	40
ИТОГО по дисциплине		60	100

* - Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков

№	Задание	Варианты ответов
1	Длина де-бройлевской волны движущихся частиц будет равна	1) $= 2 \hbar^*$ 2) $= \underline{\hspace{1cm}}$; 3) $= \hbar^*$ 4) $=$
2	Два эрмитовых оператора имеют общую систему собственных векторов тогда и только тогда, когда $\hat{A} = \hat{B}$, то есть когда эти операторы	1) коммутируют* 2) компланарны 3) ортогональны
3	Собственные значения эрмитова оператора	1) вещественны* 2) мнимые 3) вырождены
4	Какой критерий гласит, что для положительной определённости квадратичной формы матрицы необходимо и достаточно, чтобы угловые миноры её матрицы были положительны.	1) критерий Сильвестра* 2) критерий Коши 3) критерий Больцмана
5	Чему равен модуль определителя унитарной	1) единице*

№	Задание	Варианты ответов
	матрицы?	2) символу кронекера 3) нолю
6	Что за матрица $E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$?	1) единичная матрица второго порядка 2) единичная матрица первого порядка 3) единичная матрица третьего порядка
7	Как определяется минимальная энергия частицы в бесконечной потенциальной яме?	1) $E_1 = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} = 1^*$ 2) $E_1 = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} = 1$ 3) $E_1 = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} = 1$
8	Как называется эффект преодоления частицей потенциального барьера в случае, когда её полная энергия меньше высоты барьера $E < U_0$.	1) Туннельный эффект* 2) Эффект запутанности 3) Квантовый эффект Холла
9	Какое расстояние имеет между двумя любыми соседними энергетическими уровнями квантовой гармонический осциллятор?	1) $\hbar \omega$ 2) $\frac{\hbar \omega}{2}$ 3) $\hbar \omega (n + 1/2) = 1, 2, 3, \dots$
10	Как называется оператор $\hat{a}^\dagger$, если этот оператор увеличивает на единицу число квантов	1) оператором рождения* 2) оператором уничтожения 3) оператором действия
11	Как называется оператор $\hat{a}$, если этот оператор уменьшает на единицу число квантов?	1) оператором уничтожения * 2) оператором рождения 3) оператором действия

№	Задание	Варианты ответов
12	Соотношения неопределенностей: Всякая попытка локализовать более точно частицу приводит к возрастанию неопределённости Δ частицы, и наоборот.	1) $\Delta x \cdot \Delta p \sim \hbar$ * 2) $\Delta x \cdot \Delta p \sim h$ 3) $\Delta x \cdot \Delta p \sim \hbar$
13	Перестановочные соотношения операторов координаты и импульса:	1) $[\hat{x}, \hat{p}] = \hbar$ * 2) $[\hat{x}, \hat{p}] = \hbar$, $\neq$ 3) $[\hat{x}, \hat{p}] = 2 \hbar$
14	Первый постулат квантовой механики:	1) Каждой физической величине (импульсу, энергии, координате, моменту количества движения и т.д.) соответствует свой эрмитов оператор.* 2) Возможная волновая функция состояния системы получается при решении стационарного дифференциального уравнения Шрёдингера 3) Физическая система описывается волновой функцией $\Psi(\mathbf{r}, t)$
15	Как записывают результат действия оператора $\hat{A}$ на функцию ψ в дираковских обозначениях ?	1) $\hat{A} \psi \rightarrow \hat{A} \psi$ * 2) $\hat{A} \psi \rightarrow \hat{A} \psi$ 3) $\hat{A} \psi \rightarrow \hat{A} \psi$
16	$\int \Psi(\mathbf{r}, t) ^2 dv = 1$ это называется	1) условием нормировки 2) условием ортогональности 3) формулой средних величин
17	Согласно гипотезе де Бройля, состояние свободной частицы с импульсом p описывается волной (волной де Бройля):	1) плоской* 2) сферической

№	Задание	Варианты ответов
	$\Psi_{\mathbf{p}}(\mathbf{r}, t) = A e^{\frac{i}{\hbar}(\mathbf{p}\mathbf{r} - Et)}$	3) цилиндрической
18	Какой вид имеет оператор импульса частицы $\mathbf{p}$ в координатном представлении:	1) $\hat{p} = -\hbar \nabla$ 2) $\hat{p} = -\hbar \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}}$ 3) $\hat{p} = -\hbar \Delta$
19	Аксиома дистрибутивности в формализме Дирака:	1) $(\psi_1 + \psi_2)^\dagger = \psi_1^\dagger + \psi_2^\dagger$ 2) $ \psi_1\rangle + \psi_2\rangle = \psi_1 + \psi_2\rangle$ 3) $(\psi_1\rangle + \psi_2\rangle)^\dagger = \langle\psi_1 + \langle\psi_2 $
20	Как называется вектор $ \psi\rangle$ называют в обозначениях Дирака?	кет-вектором
21	Собственный угловой момент импульса частицы называют	спиновым моментом, или просто спином.
22	<p>операторы $\hat{L}^2$ и $\hat{L}_z$ порождают полный набор наблюдаемых, пригодный для описания движения бесспиновой частицы в центрально-симметричном поле. Они имеют общую систему собственных функций, описывающих стационарные состояния движения частицы в сферически симметричном поле:</p> <p>из формулы что такое $\langle \mathbf{r} nlm \rangle$, ψ_{nlm}, R_{nl}, Y_{lm}?</p> $\langle \mathbf{r} nlm \rangle \equiv \psi_{nlm}(\mathbf{r}) = R_{nl}(r) \cdot Y_{lm}(\theta, \varphi)$	<p>– главное, – орбитальное, – магнитное квантовые числа</p> <p>где</p> <p>$l = 0, 1, \dots, n-1$</p> <p>$m = 0, \pm 1, \dots, \pm l$</p>
23	<p>Напишите волновую функцию для основного 1-состояния атома водорода</p> <p>$\Psi_{100}(\mathbf{r})$?</p>	<p>$\Psi_{100}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0} \right)^{3/2} e^{-r/a_0}$ (1)</p> <p>$n=1, l=0, m=0$ (2)</p>

№	Задание	Варианты ответов
		$10(\) = \frac{2}{\sqrt{3}} \quad - / \quad (3)$ $00(\ , \) = \frac{1}{\sqrt{4}} \quad (4)$ $\Psi_{100}(r) = \frac{2}{\sqrt{4}} \quad - / \quad (5) \text{ ответ}$
24	Энергия спектра водородоподобного атома определяется только с чем?	главным квантовым числом n
25	Напишите фазовый объём, приходящийся на одно квантовое состояние при переходе $\rightarrow +1$ и число квантовых состояний, отнесенное к элементу фазового объема $\Delta \Delta x$:	$\Delta \Gamma = 2 \hbar$ — фазовый объём $\Delta = (\Delta \Delta) / (2 \hbar)$ — число квантовых состояний
26	<p>Стационарная теория возмущений в квантовой механике — теория возмущений где гамильтониан $\hat{H}$ _____.</p> <p>Теория применима для достаточно слабых возмущений: при этом параметр должен быть настолько маленьким, чтобы возмущение не слишком искажало невозмущённый спектр.</p>	<p>гамильтониан $\hat{H}$ не зависит от времени</p> $\hat{H} = \hat{H}_{(0)} + \hat{H}_1$ <p>где $\hat{H}_{(0)}$ — гамильтониан невозмущенной задачи</p> <p>$\hat{H}_1$ — оператор возмущения, содержащий малый числовой параметр λ</p>
27	Что гласит принцип тождественности или неразличимости микрочастиц?	Принцип тождественности одинаковых (тождественных) частиц гласит, что невозможно экспериментально различить одинаковые частицы, т.е. согласно этому принципу, состояние системы тождественных частиц не меняется при обмене частиц местами.
28	бозоны	Подчиняется статистике Бозе-Эйнштейна и бозоны описываются симметричной волновой функцией — частицы с целым спином (включая $= 0$)
29	фермионы	Подчиняется статистике Ферми-Дирака и фермионы описываются

№	Задание	Варианты ответов
		антисимметричной волновой функцией — частицы с полуцелым спином.
30	Два и более фермиона не могут находиться в одном и том же квантовом состоянии — это	Принцип запрета Паули

Отметка «отлично» (в баллах от 38 до 40) ставится, если:

- изученный материал изложен полно, определения даны верно;
- ответ показывает понимание материала;
- обучающийся может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, не только по учебнику и конспекту, но и самостоятельно составленные.

Отметка «хорошо» (в баллах от 34 до 37) ставится, если:

- изученный материал изложен достаточно полно;
- при ответе допускаются ошибки, заминки, которые обучающийся в состоянии исправить самостоятельно при наводящих вопросах;
- обучающийся затрудняется с ответами на 1-2 дополнительных вопроса.

Отметка «удовлетворительно» (в баллах от 30 до 33) ставится, если:

- материал изложен неполно, с неточностями в определении понятий или формулировке определений;
- материал излагается непоследовательно;
- обучающийся не может достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры;
- на 50% дополнительных вопросов даны неверные ответы.

Отметка «неудовлетворительно» (в баллах до 30) ставится, если:

- при ответе обнаруживается полное незнание и непонимание изучаемого материала;
- материал излагается неуверенно, беспорядочно;
- даны неверные ответы более чем на 50% дополнительных вопросов.