Рабочая программа дисциплины

- 1. Название дисциплины: Теория квантовых алгоритмов и вычислительной сложности
- 2. Уровень высшего образования магистратура
- 3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

Курс «Теория квантовых алгоритмов и вычислительной сложности» является обязательной дисциплиной магистерской программы «Квантовые вычисления». Дисциплина обеспечивает подготовку студентов в области современных квантовых алгоритмов. Помимо подробного рассмотрения стандартных алгоритмов Шора и Гровера в курс включены различные квантовые алгоритмы (квантовые блуждания, решение систем линейных алгебраических уравнений, задачи на графах). Дается введение в альтернативные модели квантовых вычислений (адиабатическая модель и модель DQC-1), а также в теорию сложности квантовых алгоритмов.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 14 часов занятия семинарского типа, 2 часа коллоквиумов, 2 часа приема домашних заданий), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Формируемые компетенции и входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

НАЗВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ:

СПК-1 Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений.

СПК-2 Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений.

СПК-3 Способность организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Для того чтобы формирование данных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению образовательной программы, должен:

- ЗНАТЬ: основные методы научно-исследовательской деятельности.
- УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач.
- ВЛАДЕТЬ: навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

Для освоения дисциплины необходимы уверенные знания линейной алгебры, а также обязательных курсов «Введение в квантовую информацию и квантовые вычисления» и «Классическая теория алгоритмов и вычислительной сложности».

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

| Наименование и краткое содержание разделов и | содержание разделов и Всего | | В том числе | | | | |
|--|-----------------------------|--|---|--|--|--|--|
| тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисци- плине | , часы | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | Самостоятельная работа обучающегося, часы из них | | | | |

| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.* | Bcer o | Выполнение домашних заданий | Подготовка рефератов и т.п. | Все го |
|--|---|--------------------------|---------------------------|---|-----------|--|-----------------------------|--------|
| 1. Введение Математические основы квантовых вычислений (тензоры, унитарные и эрмитовы преобразования, матричные функции). Квантовые схемы. Формализм гейтовой модели квантовых вычислений. | 1 | | 2 | | 3 | 3 часа Решение задач по основам квантовых вычислений | | 3 |

| 2. Алгоритм Гровера Переборные задачи. Классические и квантовые вычисления с оракулом. Алгоритм Гровера. | 2 | 2 | | 4 | 1 час Вывод сложности алгоритма Гровера с т ответами 2 часа Решение задач на составление квантовых схем | 3 |
|---|---|---|--|---|--|----|
| 3. Алгоритм Шора Задача факторизации. Алгоритм поиска фазы. Квантовая реализация умножения целых чисел. Алгоритм факторизации. | 3 | 3 | | 6 | 0 | 0 |
| 4. Симуляция квантовых алгоритмов Формулировка задачи симуляции. Различные представления квантовых преобразований. Оценка сложности классического решения. Методы учета шумов. Методы оптимизации классических алгоритмов симуляции. | 1 | 1 | 2 часа Коллоквиум по гейтовой модели квантовых вычислений | 2 | 5 часов Реализация симуляции алгоритма Гровера 5 часов Реализация симуляции алгоритма по выбору (решение СЛАУ, алгоритмы на графах, квантовые блуждания) 2 часа подготовка к коллоквиуму | 12 |
| 5. Введение в теорию сложности квантовых | 2 | 2 | | | 2 часа | 2 |

| алгоритмов Класс сложности ВQР. Класс сложности ВРР. Взаимоотношения с другими классами сложности | | | | | Решение задач по теории сложности алгоритмов | |
|--|---|---|---|---|--|---|
| 6. Квантовые блуждания Классические блуждания. Переход к квантовому аналогу и проблема обратимости. Метод coin-flip. Решение переборных задач в модели квантовых блужданий. | 2 | 0 | | | | 0 |
| 7. Квантовые алгоритмы линейной алгебры Квантовый алгоритм решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Увеличение скорости алгоритма. Увеличение точности алгоритма. Квантовый алгоритм вычисления ранга матрицы. | 3 | 0 | | 6 | 0 | 0 |
| 8. Задачи на графах. Модели задач на графах: матрица связей и список вершин. Подходы к решению задач на графах на квантовых компьютерах. Примеры алгоритмов. | 2 | 0 | | | | 0 |
| Альтернативные модели квантовых вычислений. Адиабатические вычисления: формализм, адиабатическая теорема, решаемые задачи, сложности платформы. Модель DQC-1: модель вычислений, задача вычисления среднего значения оператора, роль | 2 | 0 | 2 часа Прием домашних заданий по теме 4 | | | |

| квантовой запутанности и дискорда. | | | | | | | |
|------------------------------------|----|----|----|---|----|--|----|
| Промежуточная аттестация - экзамен | | | 4 | | 4 | 16 часов Подготовка к промежуточной аттестации (экзамену). | 16 |
| Итого | 72 | 18 | 14 | 4 | 36 | | 36 |

^{*} Текущий контроль успеваемости в рамках занятий семинарского типа реализуется в форме обсуждения.

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

8.1 Основная и дополнительная литература доступная студентам через Интернет или по запросу лектору.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Типовые контрольные вопросы и темы для обсуждения:

- 1. Уровни архитектуры гейтовой модели квантовых вычислений
- 2. Сложность алгоритма Гровера.
- 3. Методы построения квантового оракула.
- 4. Необходимость классической части алгоритма Шора.
- 5. Вложенность классических и квантовых классов сложности.
- 6. Ограничения квантового алгоритма решения СЛАУ.
- 7. Методы задания графов в квантовых алгоритмах.
- 8. Способ достижения обратимости в квантовых блужданиях.
- 9. Главные параметры адиабатического квантового вычисления.

Типовые вопросы к экзамену:

- 1. Тензорное произведение векторов, матриц и пространств. Унитарные и эрмитовые матрицы, их связь. Функции от матриц.
- 2. Квантовые многокубитные состояния, вентили и схемы. Формализм квантовых измерений. Гейтовая модель квантовых вычислений.
- 3. Вычисления с оракулом. Переборные задачи общего вида и их классическая сложность. Построение квантовых оракулов.
- 4. Алгоритм Гровера с одним ответом.

- 5. Алгоритм Гровера с несколькими ответами.
- 6. Задача факторизации целых чисел. Связь с вычислением периода функций. Цепные дроби. Квантовая реализация классических функций.
- 7. Алгоритм Шора.
- 8. Методы симуляции квантовых алгоритмов.
- 9. Классы сложности BQP и BPP. Их взаимоотношения с другими классами сложности.
- 10. Классические случайные блуждания. Проблема необратимости и ее решение, переход к квантовому случаю. Решение задачи поиска.
- 11. Квантовый алгоритм решения СЛАУ. Ограничения использования.
- 12. Методы оптимизации работы квантового алгоритма решения СЛАУ.
- 13. Квантовые алгоритмы решения задач на графах в модели матрицы связных вершин.
- 14. Квантовые алгоритмы решения задач на графах в модели списка связных вершин.
- 15. Адиабатические квантовые вычисления: адиабатическая теорема, модель вычислений, решение задачи SAT и переборных задач, ораничения.
- 16. Модель вычислений DQC-1: модель, решение задачи вычисления среднего значения, роль квантовой запутанности и квантового дискорда.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений (В1, СПК-1).

ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений (В2, СПК-2).

ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых вычислений (В3, СПК-3).

УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).

УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений (У2, СПК-2).

УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (УЗ, СПК-3).

ЗНАТЬ: методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений (31, СПК-1).

ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений (32, СПК-2).

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (33, СПК-3).

| Планируемые | | I | Сритерии оценивания ре | зультатов обучения | |
|---|---------|--|---|---|--|
| результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений (В1, СПК- 1). | навыков | анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых | применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики | содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в | Успешное и система- тическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений |
| ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, | | Фрагментарное применение навыков | В целом успешное, но не систематическое | В целом успешное, но содержащее отдельные | Успешное и система- тическое применение |

| критического анализа, | | поиска, критического | применение навыков | пробелы применение | навыков поиска, |
|------------------------|------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| обобщения и | | анализа, обобщения и | поиска, критического | навыков поиска, | критического анализа, |
| систематизации | | систематизации | анализа, обобщения и | критического анализа, | обобщения и систе- |
| научной информации в | | научной информации | систематизации научной | обобщения и сис- | матизации научной |
| области физики | | в области физики | информации в области | тематизации научной | информации в области |
| квантовых вычислений | | квантовых | физики квантовых | информации в области | физики квантовых |
| (В2, СПК-2). | | вычислений | вычислений | физики квантовых | вычислений |
| | | | | вычислений | |
| ВЛАДЕТЬ: | Отсутствие | Фрагментарное | В целом успешное, но не | В целом успешное, но | Успешное и система- |
| навыками анализа | навыков | применение навыков | систематическое | содержащее отдельные | тическое применение |
| методологических | | анализа методологи- | применение навыков | пробелы применение | навыков анализа |
| проблем, возникающих | | ческих проблем, | анализа методологи- | навыков анализа | методологических |
| при планировании, | | возникающих при | ческих проблем, | методологических проблем, | проблем, возникающих |
| организации и решении | | планировании, | возникающих при | возникающих при | при планировании, |
| конкретных | | организации и реше- | планировании, | планировании, организации | организации и решении |
| исследовательских | | нии конкретных | организации и решении | и решении конкретных | конкретных |
| задач в области физики | | исследовательских | конкретных | исследовательских задач в | исследовательских задач в |
| квантовых вычислений | | задач в области | исследовательских задач | области физики квантовых | области физики квантовых |
| (В3, СПК-3). | | физики квантовых | в области физики | вычислений | вычислений |
| (D3, CIIK-3). | | вычислений | квантовых вычислений | | |

| УМЕТЬ: | Отсутствие | Фрагментарное | В целом успешное, но не | В целом успешное, но | Успешное и система- |
|-----------------------|------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| анализировать альтер- | умения | проявление умения | систематическое | содержащее отдельные | тическое проявление |
| нативные варианты | | анализировать альтер- | проявление умения | пробелы проявление | умения анализировать |
| решения исследова- | | нативные варианты | анализировать аль- | умения анализировать | альтернативные варианты |
| тельских задач в | | решения исследова- | тернативные варианты | альтернативные варианты | решения исследова- |
| области физики | | тельских задач в | решения исследова- | решения исследовательских | тельских задач в области |
| квантовых вычислений | | области физики | тельских задач в области | задач в области физики | физики квантовых |
| и оценивать | | квантовых | физики квантовых | квантовых вычислений и | вычислений и оценивать |
| потенциальные | | вычислений и | вычислений и оценивать | оценивать потенциальные | потенциальные |
| выигрыши/проигрыши | | оценивать | потенциальные | выигрыши/проигрыши | выигрыши/проигрыши |
| реализации этих ва- | | потенциальные | выигрыши/проигрыши | реализации этих вариантов | реализации этих ва- |
| риантов (У1, СПК-1). | | выигрыши/проигрыши | реализации этих ва- | | риантов |
| | | реализации этих ва- | риантов | | |
| | | риантов | | | |
| УМЕТЬ: | Отсутствие | Фрагментарное | В целом успешное, но не | В целом успешное, но | Успешное и система- |
| осуществлять поиск, | умения | проявление умения | систематическое | содержащее отдельные | тическое проявление |
| критический анализ, | | осуществлять поиск, | проявление умения | пробелы проявление | умения осуществлять |
| обобщать и | | критический анализ, | осуществлять поиск, | умения осуществлять | поиск, критический |
| систематизировать | | обобщать и | критический анализ, | поиск, критический анализ, | анализ, обобщать и |
| научную информацию в | | систематизировать | обобщать и | обобщать и | систематизировать |
| области физики | | научную информацию | систематизировать | систематизировать научную | научную информацию в |
| квантовых вычислений | | в области физики | научную информацию в | информацию в области | области физики квантовых |
| (У2, СПК-2). | | квантовых | области физики | физики квантовых | вычислений |
| (5 2, CIIIX-2). | | вычислений | квантовых вычислений | вычислений | |
| | | | | | |
| <u>I</u> | | | | | |

| УМЕТЬ: | Отсутствие | Фрагментарное | В целом успешное, но не | В целом успешное, но | Успешное и система- |
|---|------------|--|--|---|--|
| организовывать и | умения | проявление умения | систематическое | содержащее отдельные | тическое проявление |
| планировать иссле- | | организовывать и | проявление умения | пробелы проявление | организовывать и |
| дования, ставить | | планировать иссле- | организовывать и | умения организовывать и | планировать иссле- |
| конкретные задачи | | дования, ставить | планировать иссле- | планировать исследования, | дования, ставить |
| научных исследований | | конкретные задачи | дования, ставить | ставить конкретные задачи | конкретные задачи |
| в области физики | | _ | конкретные задачи | научных исследований в | научных исследований в |
| квантовых вычислений, | | ний в области физики | научных исследований в | области физики квантовых | области физики квантовых |
| и решать их с помощью | | квантовых | области физики | вычислений, и решать их с | вычислений, и решать их с |
| современной аппа- | | вычислений, и решать | квантовых вычислений, | помощью современной | помощью современной |
| ратуры и оборудования | | их с помощью | и решать их с помощью | аппаратуры и оборудования | аппаратуры и оборудова- |
| (У3, СПК-3) | | современной аппа- | современной аппа- | | кин |
| (,) | | ратуры и оборудова- | ратуры и оборудования | | |
| | | ния | | | |
| ЗНАТЬ: | Отсутствие | Фрагментарное | В целом успешное, но не | В целом успешное, но | Успешное и система- |
| методы анализа и | знаний | проявление знаний | систематическое | содержащее отдельные | тическое проявление |
| оценки современных | | методов анализа и | проявление знаний | пробелы проявление знаний | знаний методов анализа и |
| научных достижений, а | | оценки современных | методов анализа и | методов анализа и оценки | оценки современных |
| также методы | | научных достижений, | оценки современных | современных научных | научных достижений, а |
| генерирования новой | | а также методов | научных достижений, а | достижений, а также | также методов генериро- |
| 1 1 1 | | | | | • • |
| физической инфор- | | генерирования новой | | | вания новой физической |
| физической информации при решении | | физической инфор- | генерирования новой | новой физической инфор- | вания новой физической информации при решении |
| мации при решении | | физической инфор- | | новой физической инфор- | = |
| мации при решении исследовательских и | | физической инфор- | генерирования новой физической информации | новой физической инфор- мации при решении | информации при решении |
| мации при решении исследовательских и практических задач в | | физической информации при решении исследовательских и практических задач в | генерирования новой физической информации при решении исследовательских и | новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в | информации при решении исследовательских и |
| мации при решении исследовательских и практических задач в области физики | | физической инфор- мации при решении исследовательских и | генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в | новой физической инфор- мации при решении исследовательских и практических задач в | информации при решении исследовательских и практических задач в |
| мации при решении исследовательских и практических задач в | | физической информации при решении исследовательских и практических задач в | генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в | новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в | информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых |

| ЗНАТЬ: | Отсутствие | Фрагментарное | В целом успешное, но не | В целом успешное, но | Успешное и система- |
|------------------------|------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| способы критического | знаний | проявление знаний | систематическое | содержащее отдельные | тическое проявление |
| анализа и системати- | | способов критическо- | проявление знаний | пробелы проявление знаний | знаний способов |
| зации научной | | го анализа и система- | способов критического | способов критического | критического анализа и |
| информации при | | тизации научной | анализа и системати- | анализа и систематизации | систематизации научной |
| решении исследова- | | информации при | зации научной | научной информации при | информации при решении |
| тельских задач в | | решении исследова- | информации при | решении исследовательских | исследовательских задач в |
| области физики | | тельских задач в | решении исследова- | задач в области физики | области физики квантовых |
| квантовых вычислений | | области физики | тельских задач в области | квантовых вычислений | вычислений |
| (32, СПК-2). | | квантовых | физики квантовых | | |
| (32, CIIIC 2). | | вычислений | вычислений | | |
| | | | | | |
| ЗНАТЬ: | Отсутствие | Фрагментарное | В целом успешное, но не | В целом успешное, но | Успешное и система- |
| методы организации и | знаний | проявление знаний | систематическое | содержащее отдельные | тическое проявление |
| планирования | | методов организации | проявление знаний | пробелы проявление знаний | знаний методов |
| исследований в области | | и планирования | методов организации и | методов организации и | организации и |
| физики квантовых | | исследований в | планирования | планирования | планирования |
| вычислений, включая | | области физики | исследований в области | исследований в области | исследований в области |
| способы решения задач | | квантовых | физики квантовых | физики квантовых | физики квантовых |
| с помощью | | вычислений, включая | вычислений, включая | вычислений, включая | вычислений, включая |
| современной | | способы решения | способы решения задач | способы решения задач с | способы решения задач с |
| аппаратуры и | | задач с помощью | с помощью современной | помощью современной | помощью современной |
| оборудования (33, СПК- | | современной | аппаратуры и | аппаратуры и оборудования | аппаратуры и |
| 3) | | аппаратуры и | оборудования | | оборудования |
| | | оборудования | | | |

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

- 1. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. М : Мир, 2006. С. 824.
- 2. Прескилл Д. и др. Квантовая информация и квантовые вычисления //М.: РХД. 2008. Т. 11.
- 3. Кронберг Д. А., Ожигов Ю. И., Чернявский А. Ю. Алгебраический аппарат квантовой информатики. 2011
- 4. Кронберг Д. А., Ожигов Ю. И., Чернявский А. Ю. Квантовая информатика и квантовый компьютер //М.: Макс пресс. 2011

Дополнительная литература

- 4. Богданов Ю. И. и др. Вычислительные задачи моделирования элементной базы квантовых компьютеров //Информационные технологии и вычислительные системы. 2013. С. 17.
- 5. Bernstein E., Vazirani U. Quantum complexity theory //SIAM Journal on computing. 1997. T. 26. №. 5. C. 1411-1473.
- 6. Ambainis A. Quantum walks and their algorithmic applications //International Journal of Quantum Information. − 2003. − T. 1. − №. 04. − C. 507-518.
- 7. Harrow A. W., Hassidim A., Lloyd S. Quantum algorithm for linear systems of equations //Physical review letters. 2009. T. 103. №. 15. C. 150502.
- 8. Ambainis A. Variable time amplitude amplification and a faster quantum algorithm for solving systems of linear equations //arXiv preprint arXiv:1010.4458. 2010.
- 9. Childs A. M., Kothari R., Somma R. D. Quantum linear systems algorithm with exponentially improved dependence on precision //arXiv preprint arXiv:1511.02306. 2015. T. 83.
- 10. Dürr C. et al. Quantum query complexity of some graph problems //SIAM Journal on Computing. 2006. T. 35. №. 6. C. 1310-1328
- 11. Hogg T. Adiabatic quantum computing for random satisfiability problems //Physical Review A. − 2003. − T. 67. − №. 2. − C. 022314.
- 12. Knill E., Laflamme R. Power of one bit of quantum information //Physical Review Letters. 1998. T. 81. №. 25. C. 5672.

11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

www.arXiv.org

12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для освоения дисциплины необходимо посещение интерактивных занятий (лекций и семинаров) и регулярная самостоятельная работа в течение семестра. Для большей части тем курса имеются электронные презентации, выложенные на сайте ЦКТ ФФ МГУ. Рекомендуется перед лекцией скачать соответствующую презентацию и иметь ее на интерактивном занятии на ноутбуке или планшете в режиме off-line или в распечатанном виде, используя как основу конспекта для собственных пометок и комментариев.

13. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости):

При реализации учебной работы в рамках дисциплины «Теория квантовых алгоритмов и вычислительной сложности» используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса в форме сайтов с материалами лекций и семинарских занятий. Курс имеет электронные версии (презентации) лекций. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика». Любая аудитория, оснащенная проекционным оборудованием с возможностью подключения к ноутбуку, экраном, и учебной доской.