

Научная статья  
УДК 004.658  
ББК 22.343  
ГРНТИ 20.01.07  
ВАК 2.3.8.  
PACS 01.40.Di  
OCIS 160.1190  
MSC 68P05

## Проектирование дистанционного курса по физике мезоскопических систем

В. М. Тимченко  <sup>1</sup>

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071,  
Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 7 апреля 2023 года  
После переработки 12 апреля 2023 года  
Опубликована 12 декабря 2023 года

---

**Аннотация.** Представлены результаты проектирования структуры тематических модулей курса и избранных элементов дистанционного курса по физике мезоскопических систем в системе управления обучением MOODLE. Приведено описание структуры элементов в виде лекций и элементов для контроля знаний в составе дистанционного курса по физике мезоскопических систем в системе управления обучением MOODLE.

**Ключевые слова:** курс, дистанционный курс, элемент курса, физика, мезоскопическая система, лекция, контроль знаний

---

### Введение

Актуальность исследования дистанционного курса по физике мезоскопических систем обусловлена тем, что изучение физики мезоскопических систем открывает широкие перспективы для профессиональной подготовки исследователей в области физики, способствует обмену опытом и развитию сотрудничества между образовательными учреждениями и преподавателями в области дистанционного обучения физике мезоскопических систем.

Цель исследования состоит в том, чтобы описать основные принципы проектирования дистанционного курса по физике мезоскопических систем в системе управления обучением MOODLE. Задачей исследования является всестороннее описание процесса проектирования модульной структуры и избранных элементов дистанционного курса по физике мезоскопических систем в системе управления обучением MOODLE для демонстрации преимуществ дистанционного обучения физике мезоскопических систем обусловлена, в том числе доступности и гибкости графика занятий по курсу физики мезоскопических систем, путём создания положительного имиджа курса физики мезоскопических систем.

---

<sup>1</sup>E-mail: lera.tim2002@icloud.com

Объектом исследования является курс физики мезоскопических систем. Предметом исследования является описание особенностей проектирования модульной структуры и избранных элементов дистанционного курса по физике мезоскопических систем в системе управления обучением MOODLE.

Научная новизна исследования состоит в том, что проектирование модульной структуры и избранных элементов дистанционного курса по физике мезоскопических систем происходит с учётом влияния использования различных технологий и методик дистанционного обучения в рамках дистанционного курса на профессиональное развитие студентов в области физики мезоскопических систем.

Гипотеза исследования состоит в том, что если применять элементы дистанционного обучения в курсе физики мезоскопических систем, то можно построить эффективную систему подготовки, которая будет эффективной и привлекательной для аудитории, а дистанционный курс по физике мезоскопических систем имеет ряд преимуществ перед другими формами обучения.

Теоретическая значимость исследования состоит в том, что происходит расширение теоретических знаний по мезоскопическим системам в рамках изучения дистанционного курса, углубление понимания физических процессов в мезоскопических системах и формирования профессиональных компетенций при использовании дистанционного обучения в области физики мезоскопических систем. Практическая значимость исследования состоит в том, что разработка дистанционного курса физики мезоскопических систем способствует внедрению методик и технологий дистанционного обучения для повышения эффективности и качества преподавания курса физики мезоскопических систем на основе опыта дистанционного обучения на основе мотивации студентов и преподавателей к использованию дистанционного обучения в своей профессиональной деятельности.

## Обзор

Наномеханика привнесла мезоскопическую физику в мир колебаний. Поскольку наномеханические системы малы, флуктуации значительны, колебания становятся нелинейными уже при сравнительно малых амплитудах колебаний и вступают в действие новые механизмы диссипации. В статье [1] представлен обзор мезоскопической физики наномеханических систем, включая диссипацию, флуктуации и нелинейные явления. В статье [1] обсуждаются теоретические идеи, объяснительные эксперименты и основные приложения в науке и технике. В то же время тонкое управление наномеханическими системами делает их платформой для изучения многих проблем классической и квантовой физики, далеких от теплового равновесия, в хорошо изученной обстановке. В статье [1] на концептуальном уровне описаны основные теоретические идеи и поясняющие эксперименты, относящиеся к мезоскопической физике наномеханических систем. Также обозначены основные применения наномеханики в науке и технике. Широкий спектр явлений, связанных с консервативной, а также диссипативной нелинейностью и флуктуациями, обсуждается в рамках объединяющей структуры. Они включают в себя линейный отклик одиночных и связанных колебательных мод, а также нелинейные эффекты периодического воздействия. Такое движение нарушает симметрию непрерывного перемещения во времени и детальный баланс, что приводит к заметным последствиям для флуктуаций, особенно при наличии бистабильности и мультистабильности, вызванных движением. Математические методы описаны в приложениях для введения в теорию. Непрерывный экспериментальный и теоретический прогресс делает наномеханические системы яркой областью исследований, в которой предстоит открыть множество новых явлений.

В статье [2] обсуждается использование статистического обучения для получения

оптимально прогнозируемого крупнозернистого описания двумерной кинетической модели Изинга ближайшего соседа с динамикой Глаубера.

В статье [3] обсуждается, как мезоскопические системы, в частности небольшие электрические цепи, работающие в квантовом режиме, могут быть использованы для исследования квантового транспорта и внесения вклада в статистическую физику. В статье [3] объясняется значение измерения шума при рассмотрении фундаментальных аспектов физических систем и описывается экспериментальная проверка флуктуационной теоремы в квантовом электронном интерферометре.

В статье [4] обсуждается разработка метода машинного обучения, называемого интеллектуальной диссипативной динамикой частиц, для построения мезоскопических силовых полей непосредственно из микроскопической динамики. В нем конкретно не упоминается изучение физики в мезоскопических системах.

В статье [5] представлен обзор мезоскопической физики и наноэлектроники, включая формулировку квантового транспорта в мезоскопических системах. В статье [5] дан последовательный обзор захватывающих областей и сложных областей исследований в области мезоскопической физики и наноэлектроники. Выяснена объединяющая роль теории  $S$ -матрицы или языка квантовой механики «вход–квантовый процесс–выход» в формулировке квантового транспорта в мезоскопической физике и наноэлектронике с применением не зависящей от времени теории  $S$ -матрицы к мезоскопическим системам с использованием теории  $S$ -матрицы, зависящей от времени по оси времени, в сочетании с решёточной формулировкой квантовой динамики электронов в твёрдых телах Вейля-Вигнера, которая применяется к сильно нелинейным, далеким от равновесия и высокоскоростным наноэлектронным устройствам. В устойчивом состоянии и около равновесия две независимые формулировки дают эквивалентные результаты. Технологическое влияние подхода квантовой функции распределения многих тел (типичным примером которого является функция распределения Вигнера) демонстрируется полным переходом от уровня базовой нелинейной физики квантового транспорта к инженерному инструменту автоматизированного проектирования интегральных схем. Это делается при выводе модели эквивалентной схемы для резонансно-туннельных устройств, включающей квантовую индуктивность. В обзоре [5] особое внимание уделяется основным разработкам в области квантового транспорта, вычислительной наноэлектроники, новым концепциям устройств и новым транспортным физическим явлениям, обнаруженным в небольших структурах, с потенциальными приложениями в устройствах и интегральных схемах, которые, скорее всего, окажут существенное влияние на будущие разработки наноэлектроники.

В статье [6] мезомасштабному моделированию многокомпонентных жидкостей. В статье [6] разработан метод мезоскопического моделирования, основанный на интеграции диссипативной динамики частиц, гидродинамики сглаженных частиц и вычислительной термодинамики. Исследовано кинетическое поведение смешивающихся и несмешивающихся жидкостей. Сила взаимодействия между многокомпонентными мезоскопическими частицами определяется свободной энергией системы. Коэффициент диффузии компонентов в неидеальном растворе определяется химическим потенциалом. Предложенный метод даёт убедительные предсказания влияния конвекции, диффузии и микроскопического взаимодействия на неравновесную эволюцию технических жидкостей и демонстрирует потенциал для моделирования более сложных явлений при обработке материалов.

В статье [7] представлен обзор некоторых интересных результатов в мезоскопической физике, иллюстрирующих нетривиальные идеи квантовой механики. В статье [7] рассмотрены общие принципы дефазировки (иногда называемой «декогеренцией») квантовомеханической интерференции путём связи со степенями свободы окружающей среды.

Затем более подробно обсуждается конкретный недавний пример дефазировки с помощью токопроводящей (неравновесной) системы. Эта система сама по себе является явно квантово-механической, и это ещё одна иллюстрация обнаружения без необходимости в «классических наблюдателях». В статье [7] кратко описывается недавняя проблема, связанная с орбитальным магнитным откликом электронов проводимости (ещё одна явно квантовомеханическая система). Некоторые недавние очень интригующие экспериментальные результаты по гигантской парамагнитной составляющей этого отклика объясняются с помощью особых состояний в нормальном слое.

Запутывание выступает в качестве фундаментального ресурса для многих приложений в квантовой коммуникации. В статье [8] предлагаются и теоретически анализируются методы получения и обнаружения перепутывания спинов электронов в мезоскопической среде. Представленный в статье [8] механизм образования запутанности основан на двух квантовых точках, соединённых со сверхпроводником, из которого спаренные электроны инжектируются посредством андреевского туннелирования. Затем спин-коррелированные электроны могут перепрыгнуть из квантовых точек в нормальные отведения. В статье [8] для обнаружения предлагается измерить дробовой шум, который производят запутанные электроны после того, как они прошли светоделитель. Увеличение шума в два раза оказывается уникальным признаком спинового синглета, максимально запутанного состояния. В другом случае запутанное основное состояние в двух туннельно-связанных квантовых точках обнаруживается посредством осцилляций Ааронова-Бома в котуннельном токе.

В статье [9] описана выдающаяся перспектива современных исследований в области нанофизики. Современные исследования показывают, что эта область активно развивается и полна проблем, которые интересуют самых разных физиков, чьи интересы варьируются от конденсированного состояния до квантовой информации и термодинамики.

В статье [10] описана мезоскопическая система, состоящая из нескольких частиц, которая может претерпевать изменения конфигурации, напоминающие фазовые переходы, но с неуниверсальным поведением. Ярким примером является ориентационное плавление, при котором локализованные частицы с дальнедействующими отталкивающими взаимодействиями, образующими двумерный кристалл, делокализуются по общим замкнутым траекториям. В статье [10] сообщается о наблюдении ориентационного плавления, происходящего в двумерном кристалле, содержащем до 15 ионов. В статье [10] измерены корреляции плотность-плотность, чтобы количественно охарактеризовать процесс плавления, и используем моделирование Монте-Карло для определения угловой кинетической энергии ионов. Добавляя пиннингую примесь, в статье [10] демонстрируется неуниверсальность ориентационного плавления и создаем новые конфигурации, в которых сосуществуют локализованные и делокализованные частицы. В статье [10] система представляет собой экспериментальный стенд для изучения изменений конфигурации в двумерных мезоскопических системах, а результаты открывают путь к изучению квантовых явлений в ансамблях делокализованных ионов.

## Результаты

Опишем результаты разработки модульной структуры и избранных элементов дистанционного курса по физике мезоскопических систем. Общая трудоёмкость курса по физике мезоскопических систем составляет 4 зачётные единицы или 144 часа.

Мезоскопическая физика — это раздел физики конденсированного состояния, который фокусируется на свойствах твёрдых тел в диапазоне размеров, промежуточном между объёмным веществом и отдельными атомами.

Дистанционный курс по физике мезоскопических систем содержит 12 тематических

модулей. Первый модуль посвящён изучению основных особенностей свойств мезоскопических систем и содержит форум, лекцию, семинар. Второй модуль посвящён изучению интерференционные эффекты, межчастичного взаимодействия в мезоскопических системах и содержит лекцию, семинар и задание. Третий модуль посвящён изучению основ теории баллистического транспорта в мезоскопических системах и содержит лекцию, семинар. Четвёртый модуль посвящён изучению эффекта Ааронова–Бома, незатухающих токов и содержит лекцию, семинар. Пятый модуль посвящён изучению кулоновского взаимодействия, зарядовых эффектов, кулоновской блокады в мезоскопических системах и содержит лекцию, семинар и задание. Шестой модуль посвящён изучению эффекта Холла в мезоскопических системах и содержит лекцию, семинар и задание. Седьмой модуль посвящён изучению квантовых состояний экситонов в мезоскопических системах и содержит лекцию, семинар и задание. Восьмой модуль посвящён изучению методов локального исследования электронных и оптических свойств мезоскопических систем, и содержит лекцию, семинар и задание. Девятый модуль посвящён изучению теории сверхпроводимости, физических свойств высокотемпературных сверхпроводников и содержит лекцию, семинар и задание. Десятый модуль посвящён изучению теории магнетизма сильнокоррелированных электронных систем и содержит лекцию, семинар и задание. Одиннадцатый модуль посвящён изучению электронного транспорта в металлах, теории локализации в мезоскопике, и содержит лекцию, семинар и задание. Двенадцатый модуль посвящён изучению макроскопических квантовых систем и содержит лекцию, семинар и чат.

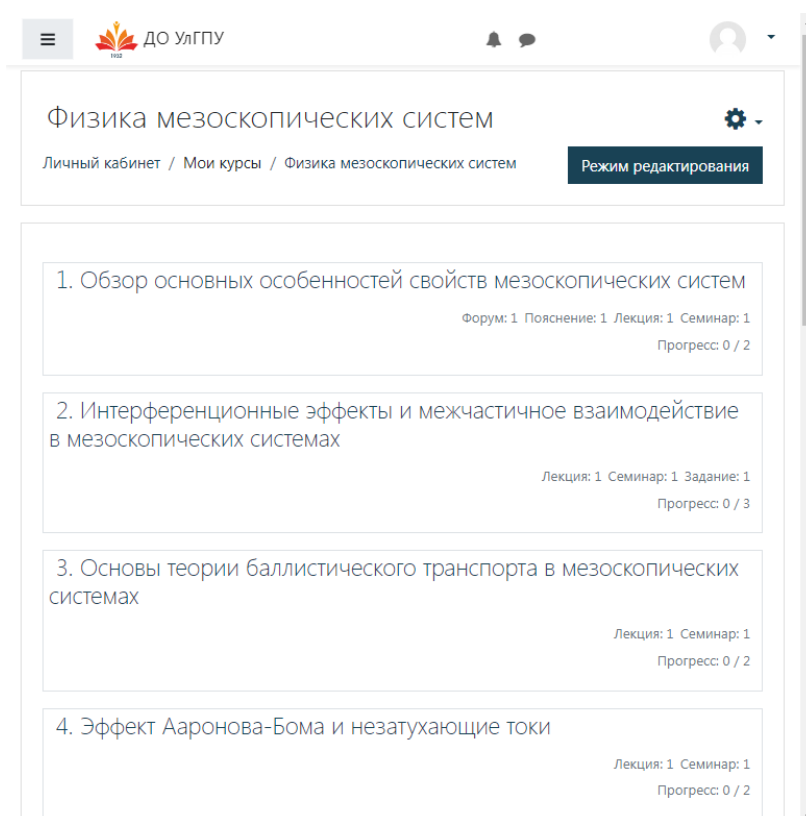


Рис. 1. Первая часть модульной структуры дистанционного курса по физике мезоскопических систем, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 1 приведено изображение страницы с первой частью модульной структуры дистанционного курса по физике мезоскопических систем, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

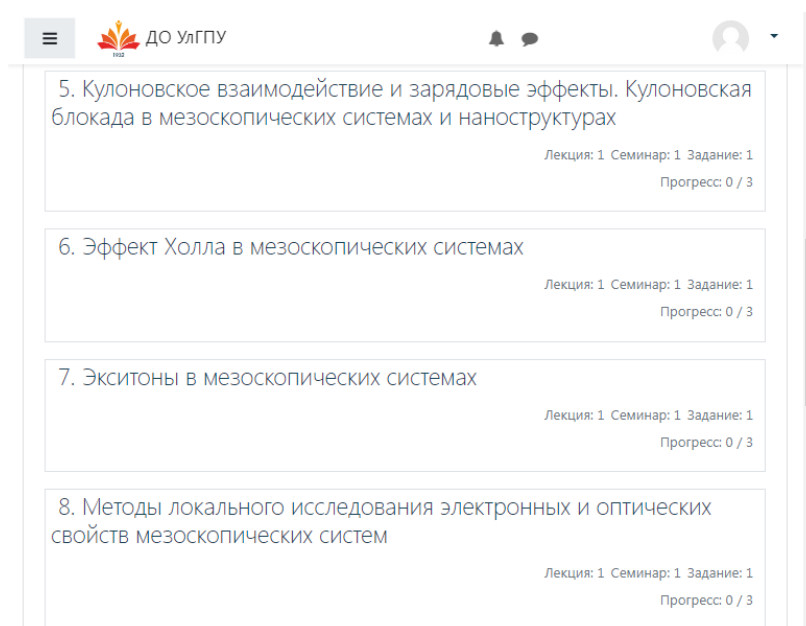


Рис. 2. Вторая часть модульной структуры дистанционного курса по физике мезоскопических систем, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 2 приведено изображение страницы с второй частью модульной структуры дистанционного курса по физике мезоскопических систем, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

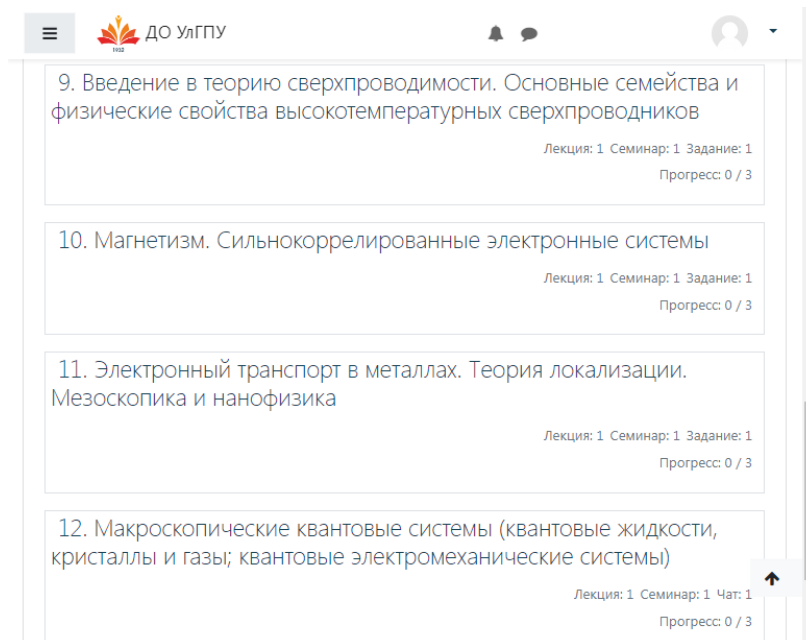


Рис. 3. Третья часть модульной структуры дистанционного курса по физике мезоскопических систем, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 3 приведено изображение страницы с третьей частью модульной структуры дистанционного курса по физике мезоскопических систем, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

Дистанционный курс по физике мезоскопических систем содержит 12 элементов

в виде лекций. Первая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению основных особенностей мезоскопических систем. Вторая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению интерференционных эффектов и межчастичного взаимодействия в мезоскопических системах. Третья лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению основ теории баллистического транспорта в мезоскопических системах. Четвёртая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению эффекта Ааронова–Бома и незатухающих токов. Пятая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению кулоновского взаимодействия и зарядовых эффектов, а также кулоновской блокады в мезоскопических системах и наноструктурах. Шестая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению эффекта Холла в мезоскопических системах. Седьмая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению теории квантовых состояний экситонов в мезоскопических системах. Восьмая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению методов локального исследования электронных и оптических свойств мезоскопических систем. Девятая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению теории сверхпроводимости и физических свойств высокотемпературных сверхпроводников. Десятая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению магнетизма сильнокоррелированных электронных систем. Одиннадцатая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению электронного транспорта в металлах, теории локализации в мезоскопике и нанофизике. Двенадцатая лекция является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым рассмотрению макроскопических квантовых систем таких, как квантовые жидкости, кристаллы и газы; квантовые электромеханические системы.

Дистанционный курс по физике мезоскопических систем содержит 12 элементов в виде семинаров. Первый семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым обсуждению основных особенностей свойств мезоскопических систем. Вторым семинаром является элемент дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым обсуждению интерференционных эффектов и межчастичного взаимодействия в мезоскопических системах. Третий семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым обсуждению основ теории баллистического транспорта в мезоскопических системах. Четвёртый семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым обсуждению эффекта Ааронова–Бома и незатухающих токов. Пятый семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым обсуждению кулоновского взаимодействия и зарядовых эффектов, а также кулоновской блокады в мезоскопических системах и наноструктурах. Шестой семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым обсуждению эффекта Холла в мезоскопических системах. Седьмой семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым обсуждению квантовых состояний экситонов в мезоскопических системах. Восьмой семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвящённым обсуждению методов локального исследования электронных и оптических свойств мезоскопических систем. Девятый семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, по-

священным обсуждению теории сверхпроводимости и физических свойств высокотемпературных сверхпроводников. Десятый семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвященным обсуждению магнетизма сильнокоррелированных электронных систем. Одиннадцатый семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвященным обсуждению электронного транспорта в металлах, теории локализации в мезоскопике и нанофизике. Двенадцатый семинар является элементом дистанционного курса по физике мезоскопических систем, посвященным обсуждению макроскопических квантовых систем на примере квантовых жидкостей, кристаллов и газов; квантовых электромеханических систем.

## Заключение

Дистанционное обучение мезоскопической физике является эффективным и привлекательным для студентов, что подтверждается высоким интересом к данному курсу и положительными отзывами обучающихся. Курс обладает рядом преимуществ перед другими формами обучения, такими как гибкость графика, доступность и возможность обучения в удобное время. Технология дистанционного обучения становится всё более популярной и востребованной образовательной технологией в условиях непрерывного развития современных образовательных технологий с учётом возможностей Интернета и видеоконференцсвязи. Технологии дистанционного обучения позволяют успешно использовать их для достижения высоких результатов в изучении физики мезоскопических систем.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если применять элементы дистанционного обучения в курсе физики мезоскопических систем, то можно построить эффективную систему подготовки, которая будет эффективной и привлекательной для аудитории, а дистанционный курс по физике мезоскопических систем имеет ряд преимуществ перед другими формами обучения, подтверждена полностью.

Эффективность дистанционного обучения подтверждается результатами анализа мотивации студентов, уровнем удовлетворенности обучающихся и влиянием курса на профессиональное развитие студентов. Результаты исследования могут быть использованы для разработки новых методик и подходов в обучении, а также для оптимизации учебного процесса в рамках дистанционного курса по физике мезоскопических систем.

## Список использованных источников

1. Bachtold Adrian, Moser Joel, Dykman M. I. Mesoscopic physics of nanomechanical systems // *Reviews of Modern Physics*. — 2022. — dec. — Vol. 94, no. 4. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/revmodphys.94.045005>.
2. Physics-based statistical learning approach to mesoscopic model selection / Soren Taverniers [et al.] // *Physical Review E*. — 2015. — nov. — Vol. 92, no. 5. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PHYSREVE.92.053301>.
3. Kobayashi Kensuke. What can we learn from noise? - Mesoscopic nonequilibrium statistical physics // *Proceedings of the Japan Academy, Series B*. — 2016. — Vol. 92, no. 7. — P. 204–221. — URL: <http://dx.doi.org/10.2183/PJAB.92.204>.
4. Ye Ting, Jing Baocai, Pan Dingyi. Intelligent dissipative particle dynamics: Bridging mesoscopic models from microscopic simulations via deep neural networks // *Journal of Computational Physics*. — 2023. — feb. — Vol. 475. — P. 111857. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcp.2022.111857>.



5. Buot Felix A. Mesoscopic physics and nanoelectronics: nanoscience and nanotechnology // *Physics Reports*. — 1993. — nov. — Vol. 234, no. 2–3. — P. 73–174. — URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0370-1573\(93\)90097-W](http://dx.doi.org/10.1016/0370-1573(93)90097-W).
6. Zhao Z. C., Moat R. J., Qin R. S. Mesoscale modelling of miscible and immiscible multicomponent fluids // *Scientific Reports*. — 2019. — jun. — Vol. 9, no. 1. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/S41598-019-44745-8>.
7. Imry Yoseph. Mesoscopic physics and the fundamentals of quantum mechanics // *Physica Scripta*. — 1998. — Vol. T76, no. 1. — P. 171. — URL: <http://dx.doi.org/10.1238/Physica.Topical.076a00171>.
8. Spin-entangled electrons in mesoscopic systems / G. Burkard [et al.] // *Physics-Uspekh*. — 2001. — oct. — Vol. 44, no. 10S. — P. 126–131. — URL: <http://dx.doi.org/10.1070/1063-7869/44/10S/S28>.
9. Sanchez David, Moskalets Michael. Quantum transport in mesoscopic systems // *Entropy*. — 2020. — sep. — Vol. 22, no. 9. — P. 977. — URL: <http://dx.doi.org/10.3390/e22090977>.
10. Orientational melting in a mesoscopic system of charged particles / Lucia Duca [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2023. — aug. — Vol. 131, no. 8. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.083602>.

**Сведения об авторах:**

**Валерия Максимовна Тимченко** — студент факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: lera.tim2002@icloud.com

ORCID iD  0009-0006-1685-9612

Web of Science ResearcherID  JRW-5516-2023

Original article  
PACS 01.40.Di  
OCIS 160.1190  
MSC 68P05

## Designing a distance course on the physics of mesoscopic systems

V. M. Timchenko 

*Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia*

Submitted April 7, 2023  
Resubmitted April 12, 2023  
Published December 12, 2023

---

**Abstract.** The results of designing the structure of thematic course modules and selected elements of a distance course on the physics of mesoscopic systems in the learning management system MOODLE are presented. A description of the structure of elements in the form of lectures and elements for monitoring knowledge as part of a distance course on the physics of mesoscopic systems in the learning management system MOODLE is provided.

**Keywords:** course, distance course, course element, physics, mesoscopic system, lecture, knowledge control

---

### References

1. Bachtold Adrian, Moser Joel, Dykman M. I. Mesoscopic physics of nanomechanical systems // *Reviews of Modern Physics*. — 2022. — dec. — Vol. 94, no. 4. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/revmodphys.94.045005>.
2. Physics-based statistical learning approach to mesoscopic model selection / Soren Taverniers [et al.] // *Physical Review E*. — 2015. — nov. — Vol. 92, no. 5. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PHYSREVE.92.053301>.
3. Kobayashi Kensuke. What can we learn from noise? - Mesoscopic nonequilibrium statistical physics // *Proceedings of the Japan Academy, Series B*. — 2016. — Vol. 92, no. 7. — P. 204–221. — URL: <http://dx.doi.org/10.2183/PJAB.92.204>.
4. Ye Ting, Jing Baocai, Pan Dingyi. Intelligent dissipative particle dynamics: Bridging mesoscopic models from microscopic simulations via deep neural networks // *Journal of Computational Physics*. — 2023. — feb. — Vol. 475. — P. 111857. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcp.2022.111857>.
5. Buot Felix A. Mesoscopic physics and nanoelectronics: nanoscience and nanotechnology // *Physics Reports*. — 1993. — nov. — Vol. 234, no. 2–3. — P. 73–174. — URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0370-1573\(93\)90097-W](http://dx.doi.org/10.1016/0370-1573(93)90097-W).
6. Zhao Z. C., Moat R. J., Qin R. S. Mesoscale modelling of miscible and immiscible multicomponent fluids // *Scientific Reports*. — 2019. — jun. — Vol. 9, no. 1. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/S41598-019-44745-8>.

7. Imry Yoseph. Mesoscopic physics and the fundamentals of quantum mechanics // *Physica Scripta*. — 1998. — Vol. T76, no. 1. — P. 171. — URL: <http://dx.doi.org/10.1238/Physica.Topical.076a00171>.
8. Spin-entangled electrons in mesoscopic systems / G. Burkard [et al.] // *Physics-Uspekhi*. — 2001. — oct. — Vol. 44, no. 10S. — P. 126–131. — URL: <http://dx.doi.org/10.1070/1063-7869/44/10S/S28>.
9. Sanchez David, Moskalets Michael. Quantum transport in mesoscopic systems // *Entropy*. — 2020. — sep. — Vol. 22, no. 9. — P. 977. — URL: <http://dx.doi.org/10.3390/e22090977>.
10. Orientational melting in a mesoscopic system of charged particles / Lucia Duca [et al.] // *Physical Review Letters*. — 2023. — aug. — Vol. 131, no. 8. — URL: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.083602>.

**Information about authors:**

**Valeria Maksimovna Timchenko** — student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: [lera.tim2002@icloud.com](mailto:lera.tim2002@icloud.com)

ORCID iD  0009-0006-1685-9612

Web of Science ResearcherID  JRW-5516-2023