

Секция 1

Педагогические науки

Научная статья
УДК 378.145
ББК 74.48
ГРНТИ 14.35.09
ВАК 13.00.02
PACS 01.40.gb
OCIS 000.2060
MSC 78A60

Результаты апробации элементов курса по основам теоретической космологии

Е. Е. Волкова  ¹

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

Поступила в редакцию 27 сентября 2022 года
После переработки 28 сентября 2022 года
Опубликована 12 декабря 2022 года

Аннотация. Рассматриваются основные теоретические и методические проблемы апробации элементов курса по основам теоретической космологии в очной магистратуре по магистерской программе «Приоритетные направления науки в физическом образовании» в педагогическом университете. Работа посвящена описанию результатов педагогического эксперимента по апробации элементов курса по основам теоретической космологии в очной магистратуре по магистерской программе «Приоритетные направления науки в физическом образовании» в педагогическом университете. При этом обсуждаются некоторые нерешённые проблемы современной теоретической космологии.

Ключевые слова: гравитация, лазер, гравитационные волны, астрофизика, космология, курс, элемент курса, педагогический эксперимент, когерентное излучение

¹E-mail: liza_volkova1999@mail.ru

Введение

Актуальность проблемы формирования системы теоретических знаний по астрофизике при помощи элементов курса по основам теоретической космологии, читаемого в очной магистратуре по магистерской программе «Приоритетные направления науки в физическом образовании» в педагогическом университете, на основе обобщения и систематизации теоретических знаний по астрофизике в процессе обучения в очной магистратуре объясняется, в первую очередь, ростом информации по астрофизике и теоретической космологии.

Объектом исследования является образовательный процесс в очной магистратуре по магистерской программе «Приоритетные направления науки в физическом образовании» в педагогическом университете.

Предметом исследования являются элементы учебной дисциплины по основам теоретической космологии в очной магистратуре по магистерской программе «Приоритетные направления науки в физическом образовании» в педагогическом университете.

Целью работы является апробация элементов учебной дисциплины по основам теоретической космологии в очной магистратуре по магистерской программе «Приоритетные направления науки в физическом образовании» в педагогическом университете.

Задачей исследования является возможность раскрыть методику использования элементов учебной дисциплины по основам теоретической космологии в очной магистратуре педагогического университета и разработать систему проверки знаний по основам теоретической космологии в очной магистратуре педагогического университета.

Гипотеза исследования состоит в выявлении особенностей того, каковы возможности проектирования системы элементов учебной дисциплины по основам теоретической космологии в очной магистратуре, состоящей из сочетания традиционных форм контроля с информационными технологиями, активными и интерактивными формами обучения, что делает процесс обучения теоретической космологии более эффективным.

Основным методом исследования является метод, который используется при описании и анализе материала педагогического эксперимента по апробации элементов курса по основам теоретической космологии в очной магистратуре по магистерской программе «Приоритетные направления науки в физическом образовании» в педагогическом университете.

Обзор

Возникновение идеи создания гравитонного лазера связывают с появлением оптических квантовых генераторов и открытием гравитационных волн. Предполагается, что, в силу универсального фундаментального физического принципа корпускулярно-волнового дуализма существуют кванты гравитационного излучения, которые называют гравитонами. Гравитоны должны обладать спином $s_G = 2$. Гравитоны, являясь квантами гравитационного излучения, как и кванты электромагнитного излучения фотоны, обладающие спином $s_\gamma = 1$), являются бозонами. Следовательно, теоретически можно создать физическое устройство для осуществления генерации и усиления гравитационного излучения, названное гравитонным лазером, подобное лазеру, предназначенного для генерации и усиления электромагнитного излучения оптического диапазона. Предполагается, что в природе физическое явление, подобное гравитонному лазеру, может существовать в окрестности чёрных дыр. В настоящее время, из-за чрезвычайной малости значения гравитационной постоянной, практическая генерация вынужденного гравитационного излучения не осуществлена. Обсуждаются лишь гипотетические возможные конструкции гравитонных лазеров.

Лазер работает по физическому принципу, согласно которому в генерирующей сре-

де, где квантовых возбуждённых состояний больше, чем невозбужденных, спонтанно испускаемые фотоны могут впоследствии стимулировать испускание большего количества фотонов, когерентных со стимулирующим фотоном. Процесс может каскадироваться несколько раз, создавая лавину когерентных фотонов. Если коэффициент усиления среды генерации достаточно высок, можно получить значительное усиление за один проход, в отражающих зеркалах нет необходимости.

Генерация лазерного излучения тесно связана с процессами генерации одиночных фотонов. На сегодняшний день гравитационные волны не обнаружены, и нет известных процессов, которые производят одиночные гравитоны (не говоря уже о том, что нет прямых доказательств того, что гравитационное поле вообще квантуется — только логические рассуждения, основанные на структуре общей теории относительности и квантовая механика экстраполируется на соответствующий режим).

Поскольку не известны какие-либо процессы для производства одиночных гравитонов, нет известных способов, с помощью которых можно было бы создать лазер на гравитационных волнах.

Связанное состояние нейтрона со всей Землей — это не то, с чем можно построить инвертированную населённость для создания лазера. Теперь, переходя к гравитационному аналогу лазера на свободных электронах, представляется, что появляется та же проблема. Гравитационная постоянная очень мала, и необходимо использовать нейтрального кандидата, чтобы эффект не был замаскирован электромагнитными изменениями, чтобы нельзя было понять, как можно попытаться создать резонатор только с гравитационными силами. Схема из-за изменения ускорения могла бы излучать когерентные гравитационные волны даже при работе с заряженными электронами, но из-за малости гравитационной постоянной они были бы очень слабыми и необнаружимыми. Разумеется, всё вышесказанное при допущении, что гравитация квантуется так же, как и остальные три силы.

Физический принцип работы лазера основан на генерации вынужденного излучения. Это лёгкая часть. В общей теории относительности есть близкий аналог вынужденного излучения — явление, известное как сверхизлучение. Короче говоря, если у вас есть вращающаяся чёрная дыра и вы излучаете в ней гравитационные волны с правильными параметрами, можно получить больше гравитационных волн. Чёрная дыра теряет угловой момент, чтобы питать энергию, необходимую для усиления гравитационных волн. Это всего лишь волновой аналог процесса Пенроуза. С очень эвристической точки зрения сверхизлучение чёрной дыры связано с вынужденным излучением, как излучение Хокинга связано со спонтанным излучением. Помимо чёрных дыр, было высказано предположение, что сверхизлучение возникает и у быстро вращающихся нейтронных звезд. Таким образом, теоретически известно, что существуют гравитационные системы, которые демонстрируют усиление гравитационных волн, не полагаясь на инверсию населенностей или подобные вещи.

Но лазер — это не только усиление волн, это устройство, которое стабильно работает с этим механизмом для получения когерентного света. И здесь теоретически умирает «гравитационный лазер». В обычном лазере нужен резонатор, который: а) обеспечивает механизм обратной связи, чтобы устройство было стабильным (то есть не прекращало работу из-за того, что популяция переходит в основное состояние) и б) выбирает заданную длину волны для получения когерентного света. И, как хорошо известно, поскольку гравитация взаимодействует со всем, не существует такой вещи, как гравитационная полость или зеркало для гравитационных волн. Таким образом, должно быть возможно производить гравитационные волны желаемой частоты и возможно усиливать волны, проблема в том, что вы не можете построить стабильное устройство. Это относится к обычной архитектуре лазеров, хотя не может исключать конструкцию лазера на сво-

бодных электронах, поскольку в ней отсутствует резонатор. Проблема заключалась бы в том, чтобы спроектировать эквивалент квадрупольного вигглера, о котором не известно, как он будет работать, но теоретически это не исключено.

Отклонение света в гравитационном поле Солнца является одним из наиболее фундаментальных следствий общей теории относительности, а также одним из её классических тестов, впервые проведённых Эддингтоном столетие назад. Однако, несмотря на его центральную роль в современной физике, ни один эксперимент не проверял его в якобы квантовом режиме, где и материя, и свет проявляют неклассические свойства. Взаимодействие, приводящее к искривлению света, также вызывает запутывание фотонов и материи, если гравитация и материя рассматриваются наравне с квантовой механикой. Квантовое искривляющее свет взаимодействие в рамках пертурбативной квантовой гравитации подчеркивает этот момент, показывая, что запутанные состояния могут быть созданы уже с когерентными состояниями света и материи, используя нелинейную связь, вызванную обменом гравитонами.

В статье [1] исследуется возможный способ получения гравитонов в лаборатории. В статье [1] оценивается сечение для электрона + фотона \rightarrow электрона + гравитона в рамках линеаризованной гравитации и анализируем эту реакцию, рассматривая фотон, исходящий либо от лазерного луча, либо от процесса комптоновского обратного рассеяния.

В статье [2] представлено исследование метода обнаружения стохастического фона гравитационных волн с помощью лазерно-интерферометрических гравитационно-волновых антенн. Стохастический фон гравитационных волн можно измерить, сопоставив выходные данные двух или более детекторов. Результаты в статье [2] могут быть применены к планируемому новому поколению интерферометров километровой длины, таких как лазерная интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория в США или аналогичные системы в других странах. Усовершенствованные детекторы смогут ограничить плотность фоновой энергии гравитационных волн на логарифмический интервал на частоте 100 Гц до $2 \cdot 10^{-10}$ раз плотности закрытия Вселенной. Обзор потенциальных источников показывает, что пара антенн сможет подтвердить или опровергнуть существование космических струн или обнаружить фон, создаваемый внегалактическими двойными нейтронными звездами. Приведены элементы оптимальной конструкции и ориентации интерферометра для обнаружения стохастического фона гравитационных волн или любой гравитационной волны. В частности, представлены критерии ориентации пары антенн, компромисс между чувствительностью и шириной полосы, а также влияние разнеса антенн на корреляцию. В статье [2] приведена процедура получения коррелированного сигнала от двух интерферометров. Представлена статистическая основа корреляционного эксперимента. Исследуются причина и следствие коррелированного шума. Также обсуждаются вопросы фильтрации и анализа данных.

В статье [3] показано, что гравитационные волны от астрономических источников оказывают нелинейное воздействие на детекторы лазерных интерферометров на Земле, эффект, которым до сих пор пренебрегали, но который имеет тот же порядок величины, что и линейные эффекты. Признаком нелинейного эффекта является постоянное смещение пробных масс после прохождения цуга волн.

Изучение генерации метрических возмущений в лаборатории дает возможность легче наблюдать и понимать механизмы, действующие в гравитации. В статье [4] представлены результаты исследования, которое сосредоточено на возмущении метрики, генерируемом световым импульсом, поскольку оно могло бы генерироваться современным лазером сверхвысокой мощности. Несмотря на очень небольшую величину, генерируемый таким образом потенциал имеет преимущества по сравнению с потенциалом, генерируе-

мым ускорением массы, такие как отсутствие шума из-за неравномерного ускорения или возможность масштабирования эксперимента. Действительно, масштабировать электромагнитное колебание легче, чем механический осциллятор, который должен быть либо с большой ускоряемой массой, либо с множеством малых масс, всё синхронно, причём ускорение должно быть четырёхполярным. Таким образом, генерация метрической деформации с помощью лазера может оказаться полезной для долгосрочного проведения лабораторного эксперимента по генерации и обнаружению гравитационных волн.

В статье [5] ожидается, что полоса частот гравитационных волн в миллигерцах будет содержать богатую симфонию сигналов с источниками, варьирующимися от галактических двойных белых карликов до спиралей с экстремальным соотношением масс. Многие из этих сигналов гравитационных волн не могут быть разрешены по отдельности. Вместо этого они будут некогерентно добавляться, создавая стохастический шум смещения гравитационных волн, частотный состав которого будет определяться динамикой источников. Угловая структура мощности шума путаницы будет модулироваться распределением источников по небу. Измерение этой структуры может дать важную информацию о распределении источников в галактическом и внегалактическом масштабах, их астрофизике и их эволюции в космических масштабах времени. Кроме того, поскольку шум путаницы является частью шумового бюджета космической антенны лазерного интерферометра, его картирование также будет иметь важное значение для изучения разрешаемых сигналов. В статье [5] представлен байесовский алгоритм для исследования углового распределения стохастического шума смещения гравитационных волн с помощью космической антенны лазерного интерферометра с использованием базиса сферических гармоник. В статье [5] разрабатывается метод, основанный на коэффициентах Клебша-Гордана, для математического ограничения сферических гармоник, чтобы получить неотрицательное распределение, делая их оптимальными для расширения мощности гравитационных волн и поддающимся байесовскому выводу. В статье [5] демонстрируются методы, используя серию симуляций и анализов, включая восстановление смоделированных распределенных и локализованных источников мощности гравитационных волн. В статье [5] также применяется этот метод для картирования переднего плана гравитационных волн от галактических белых карликов, используя упрощенную модель распределения галактических белых карликов.

Учитывая недавнее обнаружение гравитационных волн от отдельных источников, почти наверняка в будущем будет обнаружена какая-то форма фона гравитационных волн. Наиболее многообещающим кандидатом для такого обнаружения являются фоны, состоящие из некогерентной суперпозиции сигнала неразрешённых астрофизических явлений, или фоны, образованные более ранними космологическими событиями. Такие фоны также будут содержать анизотропии около среднего значения. Информация, содержащаяся в уровне фона и любых анизотропиях, будет чрезвычайно ценной в качестве астрофизического и космологического зонда. Таким образом, возможность реконструировать карты звёздного неба для сигнала станет важной по мере увеличения чувствительности. В статье [6] создаётся и тестируется основанный на пикселях инструмент для создания фоновых карт гравитационных волн с максимальным правдоподобием, который использует взаимную корреляцию наборов обобщенных базовых линий в качестве входных данных. Полученные карты представляют собой фоновую мощность гравитационных волн или «интенсивность» деформации неба. В статье [6] тестируется алгоритм, реконструируя известные входные карты с различными базовыми конфигурациями. В статье [6] также применяется картограф к подмножеству данных усовершенствованной лазерной интерферометрической гравитационно-волновой обсерватории.

За 100 лет после публикации общей теории относительности Альберта Эйнштейна произошло значительное развитие понимания теории, выявление потенциальных астрофизических источников достаточно сильных гравитационных волн и развитие ключевых технологий детекторов гравитационных волн. В 2015 году первые сигналы гравитационных волн были зарегистрированы двумя американскими приборами Advanced LIGO. В 2017 году детекторы Advanced LIGO и European Advanced Virgo зафиксировали слияние двойных нейтронных звезд, которое также наблюдалось в электромагнитном спектре. Область гравитационно-волновой астрономии только начинается, и в этой дорожной карте будущих разработок рассматривается потенциал расширения полосы пропускания и чувствительности будущих детекторов гравитационных волн, а также обсуждаются научные результаты, ожидаемые от будущих инструментов [7].

Волны гравитации подобны электромагнитным волнам. Место, где эта идея о использовании гравитационных волн для создания гравитационного лазера разваливается, заключается в том, как создаются эти волны. Гравитационные волны, исходящие от сливающейся пары чёрных дыр, могут быть перенаправлены массивными объектами, которые исследователи могут когда-нибудь использовать в качестве своего рода гравитационного «радара» для картирования невидимых обитателей Вселенной. Гладкий гравитационный потенциал отклоняет гравитационные волны, и угол отклонения легко может составить 180 градусов (например, если спроецировать луч света вблизи чёрной дыры с правильным параметром удара).

Электромагнитные волны, особенно те, которые генерируются в лазерах, создаются электронами, поглощающими или теряющими энергию. Аналогов гравитационным волнам нет. Поскольку лазеры требуют, чтобы электромагнитные волны излучались в основном синхронно с существующими волнами, и пока нет возможности сделать это с гравитацией, поэтому пока не может быть гравитационных лазеров.

Поскольку типичная гравитационная волна от астрофизических источников имеет частоту ≈ 1 Гц, её длина волны составит $\approx 10^8$ м, а это означает, что никакая обозримая технология не сможет создать метаматериал. Даже если бы могли создать это, обладая новой технологией, то отличие показателя преломления от 1 было бы невероятно малым. Для расчёта показателя преломления выводится соотношение $n = 1 - 4\pi G\chi$, где χ – это восприимчивость, в основном определяемая с точки зрения того, какой тензор энергии-импульса получается для данной величины кривизны Вейля. Предполагается, что лучший шанс увидеть это явление может быть в «распространении гравитационных волн через облака молекулярного газа галактического или межгалактического размера». Хотя $n - 1$ было бы невероятно мало, предполагается, что можно было бы увидеть эффект, накопленный за тысячи или миллионы световых лет.

Если принять, что гравитация будет успешно квантована, то на этот вопрос можно будет ответить так же, как и в случае с фотонами: гравитационная волна, возникающая в результате слияния гравитонов, аналогична электромагнитным волнам, возникающим в результате слияния фотонов.

Итак, в зависимости от длины волны (энергии гравитона) и сечения рассеяния гравитон-чёрная дыра, некоторые будут захвачены в пределах горизонта, внося свой вклад в массу чёрной дыры, а некоторые будут рассеяны вдали от неё, в зависимости от угла падения и спиновых квантовых чисел.

Электромагнитные волны связаны с электрическим зарядом, тогда как гравитационные волны связаны с массой. Таким образом, процесс генерации гравитационной волны должен сильно отличаться от стандартного процесса вынужденного излучения с созданием инверсии населённостей энергетических квазиуровней, используемого в обычном лазере.

Методы

Для повышения качества обучения на занятиях по учебной дисциплине по основам теоретической космологии в очной магистратуре использовался электронный образовательный ресурс в виде сайта по основам теоретической космологии. Использование электронного образовательного ресурса в виде сайта по основам теоретической космологии позволяет в динамическом режиме изучать как простые, так и сложные для понимания студентов теоретические закономерности явлений астрофизики и космологии.

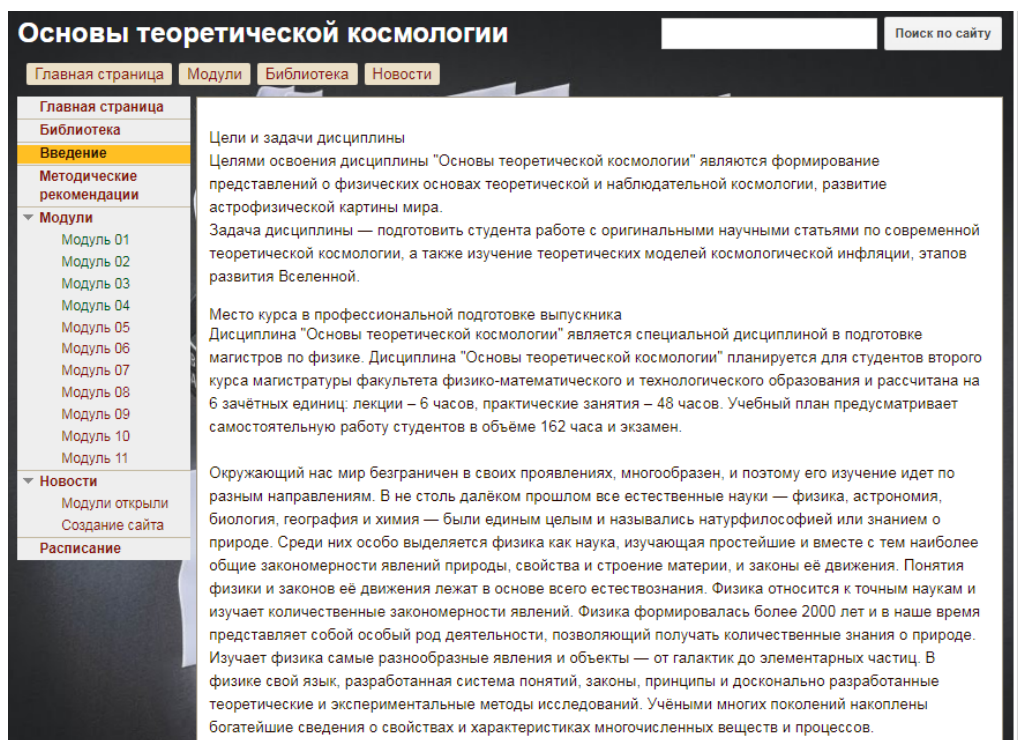


Рис. 1. Страница сайта по основам теоретической космологии, содержащая введение в курс.

На рис. 1 изображена страница сайта по основам теоретической космологии, содержащая введение в курс.

На рис. 2 изображена страница сайта по основам теоретической космологии, содержащая описание и элементы первой темы из первого модуля учебной дисциплины по основам теоретической космологии.

На рис. 3 изображена страница сайта по основам теоретической космологии, содержащая описание и элементы двенадцатой темы из пятого модуля учебной дисциплины по основам теоретической космологии.

На рис. 4 изображена страница сайта по основам теоретической космологии, содержащая описание и элементы тринадцатой темы из шестого модуля учебной дисциплины по основам теоретической космологии.

Использование электронного образовательного ресурса по основам теоретической космологии позволяет также осуществлять планомерный и систематический контроль успеваемости студентов в рамках тестового контроля по основам теоретической космологии. Для этого в составе электронного образовательного ресурса по основам теоретической космологии разработаны тесты по отдельным темам и контрольные тесты по всем разделам учебной дисциплины по основам теоретической космологии.

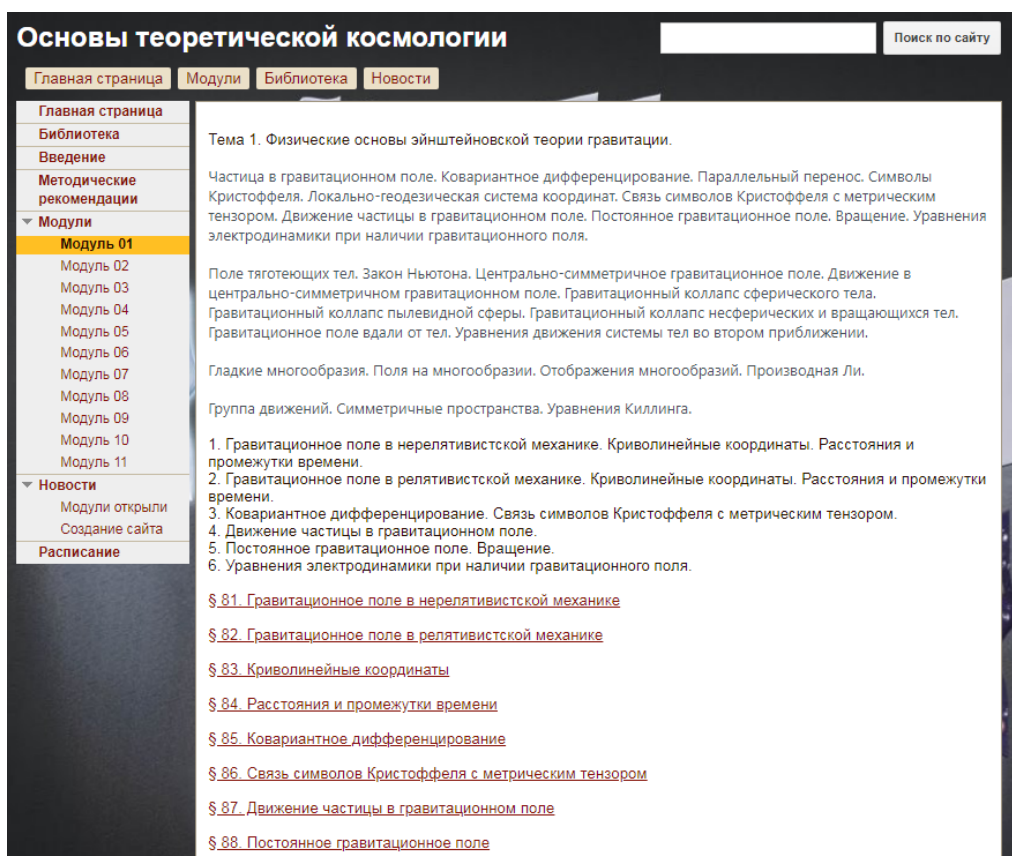


Рис. 2. Страница сайта по основам теоретической космологии, содержащая описание и элементы первой темы из первого модуля учебной дисциплины по основам теоретической космологии.

Результаты педагогического эксперимента

Педагогический эксперимент по апробации избранных элементов курса по основам теоретической космологии проводился в очной магистратуре педагогического университета с 2012 года по 2015 год.

На успешность результатов проведения педагогического эксперимента по апробации избранных элементов курса по основам теоретической космологии в очной магистратуре педагогического университета повлияли наличие необходимых технических средств обучения астрофизике и космологии, в том числе соответствующего инструментария и инвентаря. На стенах имеются плакаты, которые дают основные знания по астрофизике и теоретической космологии. Для воспроизведения визуальной информации в кабинете имеется проекционная аппаратура такая, как мультимедийный проектор, компьютер и экран.

Учебная дисциплина «Основы теоретической космологии» читалась в магистратуре по физике в группе МПФ-11 в 2012-2013 учебном году. Учебная дисциплина «Основы теоретической космологии» изучалась в группе МПФ-11 с 14 февраля 2013 года по 1 апреля 2013 года. Объём учебной дисциплины «Основы теоретической космологии» составлял 6 зачётных единиц. Аудиторная нагрузка учебной дисциплины «Основы теоретической космологии» включала в себя лекции в объёме 6 часов, практические занятия в объёме 48 часов. Формой итоговой отчётности по учебной дисциплине «Основы теоретической космологии» являлся экзамен в 2012-2013 учебном году. В период изучения учебной дисциплины «Основы теоретической космологии» с 14 февраля 2013 года по 1 апреля 2013 года студентами группы МПФ-11 было посещено 30% занятий от всех аудиторных занятий о учебной дисциплине «Основы теоретической космологии».

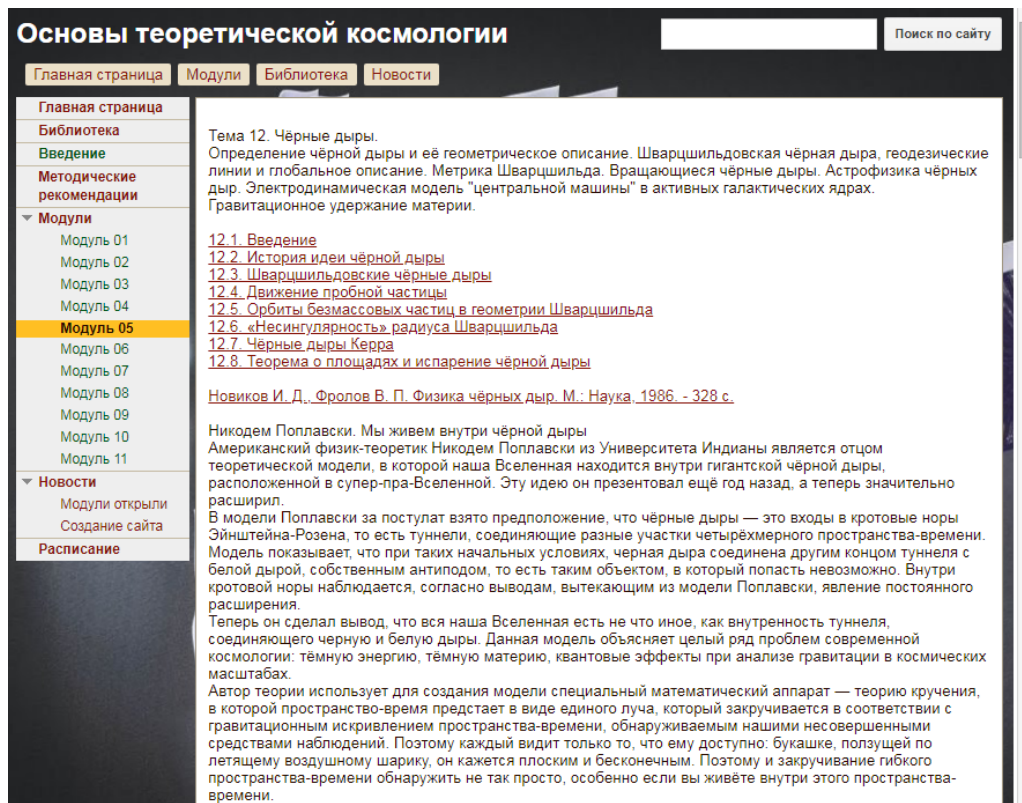


Рис. 3. Страница сайта по основам теоретической космологии, содержащая описание и элементы двенадцатой темы из пятого модуля учебной дисциплины по основам теоретической космологии.

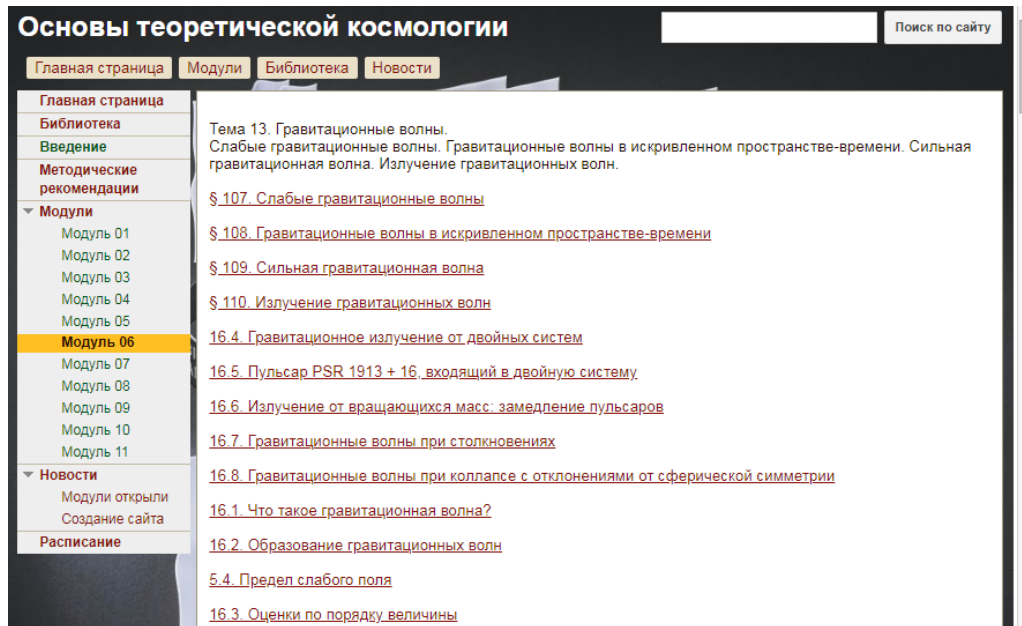


Рис. 4. Страница сайта по основам теоретической космологии, содержащая описание и элементы тринадцатой темы из шестого модуля учебной дисциплины по основам теоретической космологии.

По результатам итогового контроля по учебной дисциплине «Основы теоретической космологии» все студенты группы МПФ-11 успешно сдали экзамен. После окончания магистратуры один из двух студентов группы МПФ-11 продолжили обучение в очной аспирантуре по физике.

Учебная дисциплина «Основы теоретической космологии» читалась в магистратуре по физике в группе МПФ-12 в 2013-2014 учебном году. Учебная дисциплина «Основы теоретической космологии» изучалась в группе МПФ-12 с 22 февраля 2014 года по 10 апреля 2014 года. Объём учебной дисциплины «Основы теоретической космологии» составлял 6 зачётных единиц. Аудиторная нагрузка учебной дисциплины «Основы теоретической космологии» включала в себя лекции в объёме 6 часов, практические занятия в объёме 48 часов. Формой итоговой отчётности по учебной дисциплине «Основы теоретической космологии» являлся экзамен в 2013-2014 учебном году. В период изучения учебной дисциплины «Основы теоретической космологии» с 22 февраля 2014 года по 10 апреля 2014 года студентами группы МПФ-12 было посещено 44 % занятий от всех аудиторных занятий о учебной дисциплине «Основы теоретической космологии». По результатам итогового контроля по учебной дисциплине «Основы теоретической космологии» все студенты группы МПФ-12 успешно сдали экзамен. После окончания магистратуры два из трёх студентов группы МПФ-12 продолжили обучение в очной аспирантуре по физике.

Учебная дисциплина «Основы теоретической космологии» читалась в магистратуре по физике в группе МПФ-13 в 2014-2015 учебном году. Учебная дисциплина «Основы теоретической космологии» изучалась в группе МПФ-13 с 19 февраля 2015 года по 11 апреля 2015 года. Объём учебной дисциплины «Основы теоретической космологии» составлял 6 зачётных единиц. Аудиторная нагрузка учебной дисциплины «Основы теоретической космологии» включала в себя лекции в объёме 6 часов, практические занятия в объёме 48 часов. Формой итоговой отчётности по учебной дисциплине «Основы теоретической космологии» являлся экзамен в 2014-2015 учебном году. В период изучения учебной дисциплины «Основы теоретической космологии» с 19 февраля 2015 года по 11 апреля 2015 года студентами группы МПФ-13 было посещено 78 % занятий от всех аудиторных занятий о учебной дисциплине «Основы теоретической космологии». По результатам итогового контроля по учебной дисциплине «Основы теоретической космологии» все студенты группы МПФ-13 успешно сдали экзамен. После окончания магистратуры один из студентов группы МПФ-13 продолжил обучение в очной аспирантуре по физике.

Обсуждение результатов

В качестве интерпретации результатов проведённого педагогического эксперимента можно представить вывод о целесообразности использования разработанного электронного образовательного ресурса по основам теоретической космологии в очной магистратуре. Использование в учебном процессе электронного образовательного ресурса по основам теоретической космологии в очной магистратуре, содержащего все учебные и вспомогательные учебные материалы по основам теоретической космологии, позволяет обеспечить постоянную информационную поддержку изучения теоретической космологии в очной магистратуре педагогического университета. Получены положительные результаты педагогического эксперимента, подтверждающего эффективность использования электронного образовательного ресурса с элементами для проверки знаний по основам теоретической космологии в очной магистратуре, если проверка знаний реализуется в соответствии со сформулированными требованиями к проверке, организуемой в процессе учебно-познавательной деятельности. Полученные результаты педагогического эксперимента показывают необходимость внедрения и совершенствования электронных образовательных ресурсов по основам теоретической космологии в современных условиях в очной магистратуре педагогического университета.

Гипотеза исследования, состоящая в выявлении особенностей того, каковы возможности проектирования системы элементов учебной дисциплины по основам теоретиче-

ской космологии в очной магистратуре, состоящей из сочетания традиционных форм контроля с информационными технологиями, активными и интерактивными формами обучения, что делает процесс обучения теоретической космологии более эффективным, подтверждена полностью.

Получены положительные результаты педагогического эксперимента, что подтверждает эффективность проверки знаний по учебной дисциплине по основам теоретической космологии в очной магистратуре, если она реализуется в соответствии с сформулированными требованиями к проверке, организуемой в процессе познавательной деятельности по учебной дисциплине по основам теоретической космологии. Определены пути по совершенствованию существующей методики осуществления проверки знаний по учебной дисциплине по основам теоретической космологии в очной магистратуре.

Список использованных источников


1. Novaes S. F., Spehler D. Gravitational laser backscattering // *Physical Review D*. — 1993. — mar. — Vol. 47, no. 6. — P. 2432–2434. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevd.47.2432>.
2. Christensen Nelson. Measuring the stochastic gravitational-radiation background with laser-interferometric antennas // *Physical Review D*. — 1992. — dec. — Vol. 46, no. 12. — P. 5250–5266. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevd.46.5250>.
3. Christodoulou Demetrios. Nonlinear nature of gravitation and gravitational-wave experiments // *Physical Review Letters*. — 1991. — sep. — Vol. 67, no. 12. — P. 1486–1489. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.67.1486>.
4. Lageyre Paul, d’Humières Emmanuel, Ribeyre Xavier. Gravitational influence of high power laser pulses // *Physical Review D*. — 2022. — may. — Vol. 105, no. 10. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevd.105.104052>.
5. Mapping the gravitational-wave sky with LISA: a Bayesian spherical harmonic approach / Sharan Banagiri [et al.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2021. — sep. — Vol. 507, no. 4. — P. 5451–5462. — URL: <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2479>.
6. Renzini A. I., Contaldi C. R. Mapping incoherent gravitational wave backgrounds // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2018. — sep. — Vol. 481, no. 4. — P. 4650–4661. — URL: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty2546>.
7. Gravitational-wave physics and astronomy in the 2020s and 2030s / M. Bailes [et al.] // *Nature Reviews Physics*. — 2021. — apr. — Vol. 3, no. 5. — P. 344–366. — URL: <https://doi.org/10.1038/s42254-021-00303-8>.

Сведения об авторах:

Елизавета Евгеньевна Волкова — студент магистратуры факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: liza_volkova1999@mail.ru

ORCID iD  0000-0003-2849-7090

Web of Science ResearcherID  AAZ-9027-2020

Original article
PACS 01.40.gb
OCIS 000.2060
MSC 78A60

The results of testing the elements of the course on the basics of theoretical cosmology

E. E. Volkova 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted September 27, 2022
Resubmitted September 28, 2022
Published December 12, 2022

Abstract. The main theoretical and methodological problems of testing the elements of the course on the basics of theoretical cosmology in full-time magistracy under the master’s program “Priority directions of science in physical education” at the Pedagogical University are considered. The work is devoted to the description of the results of a pedagogical experiment on approbation of the elements of the course on the basics of theoretical cosmology in full-time magistracy under the master’s program “Priority directions of science in physical education” at the Pedagogical University. At the same time, some unsolved problems of modern theoretical cosmology are discussed.

Keywords: gravity, laser, gravitational waves, astrophysics, cosmology, course, course element, pedagogical experiment, coherent radiation

References


1. Novaes S. F., Spehler D. Gravitational laser backscattering // *Physical Review D.* — 1993. — mar. — Vol. 47, no. 6. — P. 2432–2434. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevd.47.2432>.
2. Christensen Nelson. Measuring the stochastic gravitational-radiation background with laser-interferometric antennas // *Physical Review D.* — 1992. — dec. — Vol. 46, no. 12. — P. 5250–5266. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevd.46.5250>.
3. Christodoulou Demetrios. Nonlinear nature of gravitation and gravitational-wave experiments // *Physical Review Letters.* — 1991. — sep. — Vol. 67, no. 12. — P. 1486–1489. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.67.1486>.
4. Lageyre Paul, d’Humières Emmanuel, Ribeyre Xavier. Gravitational influence of high power laser pulses // *Physical Review D.* — 2022. — may. — Vol. 105, no. 10. — URL: <https://doi.org/10.1103/physrevd.105.104052>.
5. Mapping the gravitational-wave sky with LISA: a Bayesian spherical harmonic approach / Sharan Banagiri [et al.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* — 2021. — sep. — Vol. 507, no. 4. — P. 5451–5462. — URL: <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2479>.

6. Renzini A. I., Contaldi C. R. Mapping incoherent gravitational wave backgrounds // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2018. — sep. — Vol. 481, no. 4. — P. 4650–4661. — URL: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty2546>.
7. Gravitational-wave physics and astronomy in the 2020s and 2030s / M. Bailes [et al.] // Nature Reviews Physics. — 2021. — apr. — Vol. 3, no. 5. — P. 344–366. — URL: <https://doi.org/10.1038/s42254-021-00303-8>.

Information about authors:

Elizaveta Evgenievna Volkova — Master’s 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: liza_volkova1999@mail.ru

ORCID iD  0000-0003-2849-7090

Web of Science ResearcherID  AAZ-9027-2020