**УДК 372.853**

**Проблема изучения темной материи и темной энергии в системе среднего общего образования**

**Морякова Дарья Алексеевна**

Студентка 2-го курса магистратуры по направлению «Физика и астрономия в системе среднего и профессионального образования» ЛГПУ им. П.П. Семенова-Тян-Шанского

Учитель физики
МАОУ Видновская СОШ №10

**Аннотация:** одной из современных научных проблем космологии является открытие темной энергии и темной материи, составляющих 96% массы всей Вселенной. Тысячи лет люди смотрели на ночное небо и верили, что освещенное вещество было всем, что выдумала наша Вселенная. Сейчас ученые понимают, что не то, что излучает свет, а то, что скрыто во тьме, содержит настоящие тайны нашего неба. Это таинственная темная материя, которая связывает звезды и галактики воедино. В связи с этим, в данной статье рассматривается изучение темной материи и энергии учащимися старших классов.

*Ключевые слова:* темная материя, темная энергия, физика, преподавание физики, астрономия.

**The problem of studying dark matter and dark energy in the system of secondary general education**

**Moryakova Darya Alekseevna**

**Abstract:** one of the modern scientific problems of cosmology is the discovery of dark energy and dark matter, which make up 96% of the mass of the entire universe. For thousands of years, people have looked up at the night sky and believed that consecrated matter was everything our universe had invented. Now scientists understand that not what emits light, but what is hidden in the darkness, contains the real secrets of our sky. This is the mysterious dark matter that binds stars and galaxies together. In this regard, this article discusses the study of dark matter and energy by high school students.

*Keywords:* dark matter, dark energy, physics, teaching physics, astronomy.

На настоящий момент современное образование принимает в себя инновационные методики преподавания и технологии, вместе с тем, возвращая в практику обучения некоторые давно известные методы и средства, отдельные темы и разделы, а также целые учебные предметы. На данный момент важной проблемой является внедрение такой дисциплины, как астрономия, являющейся довольно обширной и объемной наукой, ввиду чего ее изучение становится весьма затруднительным. В программу вошли общие темы, включающие в большинстве своем данные о солнечной системе, о ее структуре и многом другом. Однако в некоторых олимпиадных задачах, а также ЕГЭ иногда встречаются вопросы, требующие знаний о темной материи и темной энергии, не попадающей в поле изучения школьников ни на уроках физики, ни на уроках астрономии.

Первоначально, рассмотрим историю формирования понятий темной материи и темной энергии, а также их сущность.

В настоящее время достоверно установлено, что мы можем наблюдать не более 4% всей материи, существующей во Все­ленной. Остальные 96% материи и энергии от нас скрыты, так как мы не обладаем инструментами и средствами, с помощью которых можно было бы обнаружить и измерить их параметры. По этой причине было введено понятие скрытой массы или темной материи.

Темная материя не похожа ни на что, с чем мы когда-либо сталкивались на земле. Миллиарды необычных частиц проходят сквозь всё, с чем сталкиваются каждую секунду. Они настолько огромны по весу, что оказывают влияние на галактики, на то, как они образуются и как быстро вращаются. Данный вид материи не излучает и не поглощает свет, он никак не взаимодействует со светом, а, значит, не поддается наблюдению через телескоп.

Начиная с 1960-х годов, когда начался бурный прогресс наблюдательных средств астрономии, число аргументов в пользу существования тёмной материи быстро росло. При этом оценки её параметров, полученные из разных источников и разными методами, в целом, согласуются между собой. Отсутствие убывания скорости вращения звёзд оказалось не аномалией, а типичной ситуацией в мире галактик. При исследовании движения спутников галактик и близко расположенных шаровых скоплений было подтверждено, что общая масса каждой из них в несколько раз превышает суммарную массу её звёзд. Также было проведено изучение движения в системах двойных галактик и в галактических скоплениях, в результате чего оказалось, что в этих масштабах доля тёмной материи намного выше, чем внутри них. Звёздная масса эллиптических галактик, согласно расчётам, недостаточна для удержания входящего в нее горячего газа, если не учесть тёмную материю. Оценка массы скоплений галактик, осуществляющих гравитационное линзирование, даёт результаты, включающие вклад тёмной материи и близкие к полученным другими методами.

Большой вклад внесли в конце 1960-х и начале 1970-х годов астрономы Вера Рубин из Института Карнеги и Кент Форд — они были первыми, кто провёл точные и надёжные вычисления, указывающие на наличие тёмной материи. Они работали с новым, более чувствительным спектрографом, который мог гораздо точнее измерять скорость вращения диска спиральных галактик даже при виде «с ребра». Рубин и Форд заявили на конференции Американского астрономического общества в 1975 году об открытии: большинство звёзд в спиральных галактиках двигаются по орбитам примерно с одинаковой угловой скоростью, что приводит к мысли, что плотность массы в галактиках одинакова и для тех регионов, где находится большинство звёзд (балдж), и для тех регионов (на краю диска), где звёзд мало. Похожий вывод был сделан независимо в 1978 году. Астрономам удалось добиться прогресса в их теории и создать детальную карту темной материи при помощи гравитационного линзирования: когда свет проходит через темную материю, он преломляется, так же как он преломляется, проходя через стекло, и свет не делает различий между обычной материей и темной. Оба их вида искажают лучи света, идущие сквозь галактики. Как будто прокладывая маршрут на карте, астрономы определили тысячи источников света, излучение которых проходит сквозь темную материю. Это предоставило науке самую полную картину мест скопления темной материи в пространстве. Сравнив эту карту с расположением галактик, оказалось, что темная материя действительно играет роль каркаса, и вокруг нее собирается материя [1].

Считается, что темная материя составляет 23% Вселенной, тогда как обычная материя составляет всего 4%. Ее большая масса объясняет величину сил притяжения в скоплениях и галактиках.

Но что составляет остальные 73% Вселенной? Ученые были потрясены открытием новой таинственной темной энергии, доминирующей в космосе и приводящей к разбеганию галактик. Всегда считалось, что, хотя Вселенная расширяется, она рано или поздно замедлится. Силы притяжения окажутся сильнее первоначального импульса. С момента большого взрыва, породившего Вселенную, пространство между галактиками расширяется. Но не сами галактики. Земля не расширяется и Солнечная система тоже не расширяется. Темная энергия создает пространство и воздействует на галактики. Галактики постоянно разлетаются по ходу возникновения нового пространства.

Темная энергия – константа, которая не играла особой роли, когда Вселенная была горячая и плотная вначале, и тогда не было никакой разницы: существовала темная энергия или нет. Она существовала, но не выполняла никаких функций. Затем, когда Вселенная остыла, сила притяжения ослабла, и темная энергия вступила в действие.

Понимание природы темной энергии очень важно, поскольку может рассказать нам о будущем Вселенной, ее судьбе, а также о том, будет ли она расширяться бесконечно, пока не станет темной и холодной, или существует некоторый предел.

Какие же свойства темной энергии известны сегодня? Таких свойств немного, всего три [2]:

1. В отличие от темной материи темная энергия не скучивается, не собирается в объекты типа галактик.
2. Темная энергия заставляет Вселенную расши­ряться с ускорением.
3. Плотность темной энергии не зависит от времени.

Этого материала будет достаточно для первичных знаний о темной энергии и темной материи для того, чтобы не «потеряться» в заданиях, которые включают в себя эти понятия. Однако анализ школьных учебников физики и астрономии [3-8] позволяет сделать вывод о том, что представленные ранее теоретические данные не содержатся в необходимом количестве для изучения школьниками, могут отсутствовать в пособиях ввиду разных причин. К примеру, классический курс физики Г.Я. Мякишева, Б.Б. Буховцева и В.М. Чаругина [8] предполагает прохождение обучающимися тем, затрагивающих материал астрономии, но, вместе с тем, не содержит информации о рассматриваемых объектах. Изучение истории возникновения Вселенной и ее структуры осуществляется на базовом уровне.

Однако, при рассмотрении отдельного учебного пособия В.М. Чаругина по астрономии [9], заметим, что последняя глава, посвященная современным проблемам данной науки, имеет параграф, затрагивающий тему темной энергии. Автор обобщенно описывает проблему изучения темной материи, не переходя углубленно к сущности данного понятия и его особенностям.

Таким образом, рассматриваемые термины могут быть включены в изучение старшими школьниками в курсе астрономии, но только на базовом уровне. Следовательно, возникает новая проблема, заключающаяся в наличии в ЕГЭ и олимпиадах по физике заданий, основанных на понятиях темной материи и темной энергии.

Перейдем к рассмотрению задач, встречающихся в олимпиадах по физике, по данной теме. Чаще всего в них требуется определение плотности темной материи и ее различных зависимостей от других параметров. Примечательно, что подобного содержания вопросы встречаются преимущественно во всероссийских олимпиадах.

На региональном этапе Всероссийской олимпиады школьников по физике 2016 года [10] присутствует задание, предложенное для решения учащимся 11 класса. Ее содержание представлено ниже.

«*Скопления звёзд образуют бесстолкновительные системы – галактики, в которых звёзды равномерно движутся по круговым орбитам вокруг оси симметрии системы. Галактика NGC 2885 состоит из скопления звёзд в виде шара (ядра радиусом* $r\_{Я} = 4$ *кпк) и тонкого кольца, внутренний радиус которого совпадает с радиусом ядра, а внешний равен* $15r\_{Я}$*. Кольцо состоит из звёзд с пренебрежимо малой по сравнению с ядром массой. В ядре звёзды распределены равномерно.*

*Было установлено, что линейная скорость движения звёзд в кольце не зависит от расстояния до центра галактики: от внешнего края кольца вплоть до края ядра скорость звёзд* $υ\_{0} = 240$ *км/с. Такое явление может быть объяснено наличием несветящейся массы («тёмной материи»), распределенной сферически симметрично относительно центра галактики вне её ядра.*

*1) Определите массу* $M\_{я}$ *ядра галактики.*

*2) Определите среднюю плотность* $ρ\_{Я}$ *вещества ядра галактики.*

*3) Найдите зависимость плотности «тёмной материи»* $ρ\_{Т}(r)$ *от расстояния до центра галактики.*

*4) Вычислите отношение массы «тёмной материи», влияющей на движение звёзд в диске, к массе ядра.*

*Примечание:* $1 кпк = 1 килопарсек = 3,086·10^{19} м$*, гравитационная постоянная* $γ = 6,67·10^{–11}Н·м^{2} ·кг^{–2}$»

1. Учитывая, что выполняется равенство $\frac{υ\_{0}^{2}}{r\_{я}}=\frac{γM\_{я}}{r\_{я}^{2}}$, можем сразу определить массу ядра галактики. Пользуясь правилом пропорции, получим

$M\_{я}=\frac{υ\_{0}^{2}r\_{я}}{γ}=1,1\*10^{41}$ кг.

1. Для нахождения средней плотности материи в ядре галактике используем известную формулу $ρ\_{я}=\frac{M\_{я}}{V\_{я}}=\frac{M\_{я}}{\frac{4}{3}πr\_{я}^{3}}=\frac{3M\_{я}}{4πr\_{я}^{3}}$. Учитывая, что нам известно расстояние до центра галактики и ее масса, после подстановки этих значений получим, что средняя плотность составит $1,35\*10^{-20}$ кг/м3.
2. Выявим зависимость между плотность темной материи и расстоянием до центра галактики. Для этого воспользуемся формулой

$\frac{ν\_{0}^{2}}{r}=\left(\frac{γ}{r^{2}}\right)\left(M\_{я}+M\_{r}\left(r\right)\right)=> ν\_{0}^{2}r=γ\left(M\_{я}+M\_{r}\left(r\right)\right)$.

Дифференцируя данное выражение по $r$, получим

$ν\_{0}^{2}dr=γdM\_{r}\left(r\right)=4γρ\left(r\right)πr^{2}dr$,

из чего следует искомая зависимость

$ρ\left(r\right)=\frac{ν\_{0}^{2}}{4πγr^{2}}=\frac{M\_{я}}{4πr\_{я}r^{2}}$.

Таким образом, плотность темной материи обратно пропорциональна квадрату расстояния до центра галактики.

1. Для нахождения массы темной материи воспользуемся формулой $M\_{r}=\frac{15r\_{я}ν\_{0}^{2}}{γ}-M\_{я}$. Учитывая, что $\frac{15r\_{я}ν\_{0}^{2}}{γ}=15M\_{я}$, получим $M\_{r}=14M\_{я}$. Иными словами, $\frac{M\_{r}}{M\_{я}}=14$.

При подготовке к единому государственному экзамену также существует вероятность увидеть задание, основывающееся на знании материала, затрагивающего темную материю и темную энергию. В качестве примера, рассмотрим следующую задачу [11].

*«Выберите два типа объектов, которые присутствуют главным образом в гало нашей Галактики.*

1. *Магеллановы Облака;*
2. *тёмная материя;*
3. *гигантские молекулярные облака;*
4. *шаровые звёздные скопления;*
5. *межзвёздная пыль.»*

Основываясь на определении перечисленных объектов, можем сделать вывод о том, что присутствуют из них в гало нашей Галактики шаровые звездные скопления и темная материя. Отметим, что без знания рассматриваемого понятия учащиеся теряют возможность успешно выполнить данное задание.

Исходя из всего вышесказанного, мы можем определить ряд действий рекомендательного характера относительно вопроса изучения темной материи и темной энергии в школьном курсе физики и астрономии:

1. Прежде всего, в содержание раздела астрономии в школьном учебнике физике или раздела физики элементарных частиц необходимо включить темы, непосредственно, затрагивающие изучение рассматриваемых объектов. Понимая, что при добавлении новой темы возникает проблема отсутствия должного времени для ее прохождения, можем предложить объединение ее изучения с темой «Строение и эволюция Вселенной» на примере учебника Г.Я. Мякишева. Или, с другой стороны, для выделения отдельного урока по теме темной материи и энергии существует возможность объединить материал параграфов «Солнце» и «Внутреннее строение Солнца». Третьим вариантом, позволяющим получить возможность изучения рассматриваемых понятий, является использование резервного времени.
2. Включение понятий темной энергии и темной материи в курс физики с раскрытием их сущности и некоторых. Одновременно с этим, школьников необходимо познакомить с историей ее открытия и доказательствами существования, со свойствами темной материи (горячей, теплой и холодной). Для успешного написания олимпиад на углубленном уровне можно ввести формулу распределения плотности.

**Список использованной литературы**

1. **Долгов, А.Д.** Космология и элементарные частицы, или небесные тайны. / A.Д. Долгов // Физика элементарых частиц и амтоного ядра. – 2012. – Т.43. – Вып. 3.
2. **Эйнасто, Я.Э.** Темная материя и темная энергия [Текст] / Я.Э. Эйнасто, А.Д. Чернин. - Фрязино: Век 2, 2018. – 174 с.
3. **Воронцов-Вельяминов, Б. А.** Астрономия. 11 класс [Текст]: базовый уровень: учебник / Б. А. Воронцов-Вельяминов, Е. К. Страут. - 5-е изд., пересмотренное. - Москва: Дрофа, 2018. – 238 с.
4. **Кабардин, О. Ф.** Физика: учебно-справочное пособие / О. Ф. Кабардин. - Москва: АСТ: Астрель, 2008. – 573 с.
5. **Засов, А. В.** Астрономия. 10-11 классы [Текст]: [учебник] / А. В. Засов, В. Г. Сурдин. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2019. – 303 с.
6. **Касьянов, В.А.** Физика. 11 кл. Профильный уровень: учеб. для общеобразоват. учреждений / В.А. Касьянов. – 8-е изд., дораб. – М.: Дрофа, 2011. – 448 с.
7. **Громов, С.В.** Физика: оптика. Тепловые явления. Строение и свойства вещества. Строение Вселенной: учеб. для 11 кл. общеобразоват. учреждений / С.В. Громов, Н.В. Шаронова, Е.П. Левитан; под ред. Н.В. Шароновой. – 7-е изд., доп. и перераб. – М.: Просвещение, 2006. – 336 с.
8. **Мякишев, Г. Я.** Физика. 11 класс [Текст]: учебник для общеобразовательных организаций с приложением на электронном носителе: базовый уровень / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин ; под ред. Н. А. Парфентьевой. – М.: Просвещение, 2014. – 432 с.
9. **Ча­ру­гин, В. М.** Аст­ро­но­мия. 10–11 кл. Ба­зо­вый уро­вень: учеб. для об­ще­об­ра­зо­ват. орг. / В. М. Ча­ру­гин. – М.: Про­све­ще­ние, 2018. – 144 с.
10. Региональный этап всероссийской олимпиады школьников по физике [Электронный ресурс]. URL:

<http://vos2.olimpiada.ru/upload/files/Arhive_tasks/2015-16/region/phys/ans-phys-11-teor-reg-15-6.pdf> .

1. Открытый банк заданий Федерального института педагогический измерений [Электронный ресурс]. URL: <http://os.fipi.ru/tasks/2/a> .