

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЗНАВАЕМОСТИ МАССЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЙ РАЗЛИЧНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. АРИСТОТЕЛЬ – ГАЛИЛЕЙ – НЬЮТОН – ЭЙНШТЕЙН... ЧТО ДАЛЬШЕ?

Васильев Э.Ф.

*Васильев Эдуард Федорович – кандидат технических наук, пенсионер,
г. Сидней, Австралия*

Аннотация: в статье анализируется эволюция познаваемости массы со времен Аристотеля до наших дней. Масса как одна из важнейших величин в физике продолжает оставаться загадочным свойством, что не позволяет до конца понять устройство окружающего мира.

Ключевые слова: инертная масса, гравитационная масса, принцип эквивалентности, гравитация, Специальная и Общая теория относительности, темная материя.

На разных этапах развития человечества развитие физики, как способа познания, позволяло строить понимание и описание физической картины мира на основе существующего знания.

Существование Природы, Земли, Вселенной – все подчинено единым фундаментальным законам природы, открытие которых – это бесконечный процесс познания, характеризующий незавершенность научной картины Мироздания на каждом этапе.

Масса – фундаментальное свойство объектов и одна из важнейших величин в физике, остающаяся до конца неизведанным загадочным свойством, характеризующим объекты окружающего мира. Многовековая история познания массы и открытие фундаментальных законов природы связано с именами величайших ученых мировой истории.

АРИСТОТЕЛЬ (384 – 322 до н.э.)

Термин “физика” был введен древнегреческим философом Аристотелем, впервые определившего физику, как учение о природе, а природу, как начало движения [1].

В механике Аристотеля масса есть мера скорости падающего тела, скорость падения тела пропорциональна его весу – это понятие просуществовало 2000 лет вплоть до Галилея.

Движение тел разделяется на два вида – естественное - это движение тела к своему месту: падение тяжелого тела вниз, подъем легкого вверх, и насильственное - когда к телу приложена сила, которая с помощью воздуха, как своего рода орудия, передает движение.

Механика Аристотеля соответствовала знаниям того времени. Но ее значение в том, что в IV веке до н.э. им впервые была создана система понятий для определения движения, введены новые понятия-силы, скорости, начато изучение и классификация механических движений, заложившие начальные представления о физике движения тел.

Механика Аристотеля, ставшая предтечей физики, как науки, просуществовала, практически, без изменений две тысячи лет.

ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ (1564 – 1642)

История физики, как самостоятельной науки, начинается в XVII веке с опытов Галилея.[2] Галилей впервые в исследованиях применил экспериментальный метод познания, соединив опыт с логикой и математикой, за что его по праву считают основателем экспериментальной физики.

В ходе экспериментов, наблюдая за движением падающих объектов, Галилей определил практически одинаковое время достижения поверхности Земли тяжелыми и легкими шарами, из чего Галилеем был сделан логический вывод, что причина различной скорости падения тел разной массы заключается не в самой их массе, а зависит от внешних причин – сопротивления воздуха, при устранении которого, т.е. в вакууме, все тела вне зависимости от массы будут падать одинаково быстро.

Эксперименты Галилея по падению тел из-за несовершенства измерительного оборудования, отсутствия приборов для отсчета малых промежутков времени изучать было невозможно. Поэтому, чтобы достичь большей точности измерений, Галилей искал способы уменьшения скорости падения, что привело его к опытам качения по наклонной плоскости, где были значительно меньшие скорости и сопротивление воздуха.

Своими экспериментами наряду с гармоническим сочетанием теоретического мышления с логическим построением выводов Галилей убедительно доказал ошибочность многовековой теории о зависимости скорости тела от его массы и необходимость трансформации механики Аристотеля, заложив своими открытиями фундамент классической физики:

- Принцип инерции Галилея

Свойство тел сохранять состояние покоя или прямолинейного равномерного движения при отсутствии действия на него других сил.

Этот принцип Галилея послужил основой для установленного Ньютоном первого закона классической механики – Закона инерции. Хотя Галилей пришел к этому закону раньше Ньютона, как к

следствию из проведенных им опытов по наклонной плоскости, Ньютон поставил этот закон во главу всей своей теории. Первый закон Ньютона – это закон инерции Галилея, что и отмечал сам Ньютон: "Пользуясь первыми двумя законами и первыми двумя следствиями Галилея нашел, что падение тел пропорционально квадрату времени..." [3].

- Закон свободного падения

В отсутствие сопротивления воздуха гравитация заставляет все объекты, независимо от их массы, падать с одинаковым ускорением с постоянно растущей скоростью пропорционально времени и пройденным расстоянием пропорционально квадрату времени.

- Принцип эквивалентности между инертной и гравитационной массами, который Галилей определил экспериментально - ускорение падающих тел не зависит от их массы, что может быть только при равенстве инертной и гравитационной массы.

Теоретическое обоснование этого явления разработано впоследствии Ньютоном, который ввел понятия "инертной" и "гравитационной" массы.

- Принцип относительности Галилея.

ИСААК НЬЮТОН (1642 – 1727)

И. Ньютон – основатель классической механики, как цельной научной теории на основе открытых им трех основных законов механики и закона всемирного тяготения [3, 4].

Масса, как научный термин, была введена Ньютоном.

Во втором законе Ньютона масса характеризует инертные свойства тела – мера инертности тел или мера инертной сопротивляемости ускорению. $a = \frac{F}{m}$ (1) – Ускорение тела - а прямо пропорционально действующей силе F и обратно пропорционально массе тела m.

В законе всемирного тяготения масса характеризует гравитационные свойства тела – мера источника тяготения.

$F = G \frac{m_{\text{тп}} M_3}{R_3^2}$ (2), где G – гравитационная постоянная, $m_{\text{тп}}$ – гравитационная масса тела, M_3 – масса Земли, R_3 – радиус Земли. Всякое тело массы m вблизи поверхности Земли испытывает силу притяжения F прямо пропорциональной массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Рассматривая совместно оба закона Ньютона, определяется величина ускорения свободного падения и равенство инертной и гравитационной масс.

- в соответствии со вторым законом Ньютона тело массы $m_{\text{тп}}$ будет двигаться навстречу Земле массой M_3 с ускорением a, величина которого в уравнении 2 составит $a = G \frac{M_3}{R_3^2}$ или $a = g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$ – экспериментально подтвержденная величина ускорения свободного падения.

Законы Ньютона универсальны, действуют на Земле и в небесной механике. При значениях массы и радиуса других планет получим величины ускорения свободного падения для этих планет.

- под действием силы притяжения тело приобретает ускорение $a = \frac{F}{m_{\text{ин}}}$, где $m_{\text{ин}}$ – инертная масса. При значении F в соответствии с уравнением 2: $a = G \frac{M_3 m_{\text{тп}}}{R_3^2 m_{\text{ин}}} = g \frac{m_{\text{тп}}}{m_{\text{ин}}}$. Поскольку экспериментально доказано, что $a = g$, следовательно $m_{\text{тп}} = m_{\text{ин}}$.

Теория Ньютона доказала, что это не равенство двух различных масс, а одна и та же физическая величина, определяющая различные явления. Закон свободного падения и принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс были доказаны Ньютоном и проверены им экспериментально с высокой точностью.

Откачав воздух из стеклянной трубки и бросая сверху одновременно птичье перо, золотую монету, кусок свинца и пробку, Ньютон подтвердил точным опытом, что ускорение, сообщаемое телу силой тяжести при падении, от массы тела не зависит.

Сравнивая между собой колебания маятников одинаковых размеров, но с грузами из различных веществ, Ньютон доказал равенство инертной и гравитационной массы с точностью до 10^{-3} . Одно из последних экспериментальных исследований на борту спутника Microscope Национального центра космических исследований Франции показало, что отклонение инертной и гравитационной массы не может отличаться от 1 больше, чем на 10^{-14} .

Важным практическим аргументом подтверждения теории Ньютона послужил вывод на ее основе законов Кеплера [5].

И. Кеплер – немецкий математик, астроном, первооткрыватель законов движения планет Солнечной системы на базе изучения, констатации и обобщения результатов наблюдений, что не позволяло объяснить, чем обусловлено формирование орбит и удержание планет на орбитах, орбитальное движение планет в других звездных системах.

Ньютон доказал, что законы Кеплера выводятся из законов механики и закона всемирного тяготения, обеспечивая их обоснование, теорию формирования орбит планет и их удержания на орбитах, универсальность применения к любой планетной системе.

Ньютон свел воедино законы движения планет и законы движения в условиях Земли. На протяжении 200 лет целостная теория Ньютона – законы механики – закон эквивалентности инертной и гравитационной масс – закон всемирного тяготения – система методов для математического исследования – оставалась основой для современной физики.

На рубеже XIX и XX веков стало развиваться новое направление в физике – релятивистская механика – при скоростях близких к скорости света. Это требовало новых знаний природы явлений при скоростях близких к скорости света и природы тяготения, так как в законе всемирного тяготения, хотя количественная зависимость силы тяготения от масс и расстояния между ними точно установлена, природа тяготения оставалась загадкой, в том числе и для Ньютона: "...До сих пор я изъяснял небесные явления и приливы наших морей на основании силы тяготения... Причину этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю..." [3].

Следующий революционный шаг в развитии науки по этим направлениям был сделан Альбертом Эйнштейном.

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН (1879 – 1955)

"Основы физики претерпели неожиданные и радикальные изменения благодаря смелости молодого и революционно мыслящего гения."

Эти слова принадлежат выдающемуся физико-теоретику, одному из основателей квантовой механики Вернеру Гейзенбергу и относятся к Альберту Эйнштейну.

Он открыл новую физику, новые свойства массы, определяющей ранее не известные явления природы, изменил незыблемые представления об укоренившихся, не связанных друг с другом, постоянств пространства и времени, раскрыл природу тяготения.

Специальная теория относительности

Эйнштейн открыл фундаментальный закон природы – закон взаимосвязи энергии и массы - $E_0=mc^2$, где E_0 -энергия покоя, m -масса тела, c -скорость света [6].

В массе заключена огромная энергия, грандиозный резервуар энергии в природе. Масса – мера количества энергии. У массы есть присущая ей энергия, массу можно превратить в энергию, энергию можно использовать для создания ядерной энергетики и ядерного оружия, самого многообещающего направления в энергетике – управляемого термоядерного синтеза, в ускорителях заряженных частиц для открытия фундаментальных частиц, из которых состоит Вселенная. Стали объяснимыми реакции ядерного синтеза в ядре Солнца и звезд, благодаря которым существует жизнь на Земле и все химические элементы.

Величайшее уравнение, триумф науки XX века, изменившей окружающий мир.

Разгадав также закон природы по связи массы с энергией и импульсом, Эйнштейн вводит в Специальную теорию относительности основное соотношение - $E^2=p^2c^2 + m^2c^4$, где p -импульс тела, $P=\frac{vE}{c^2}$, v -скорость тела.

Указанная связь массы с энергией и импульсом обеспечивает выполнимость закона сохранения импульса и закона сохранения энергии во всех инерциальных системах отсчета, при котором разность $E^2-p^2c^2$ будет инвариантной для всех систем отсчета при разных значениях E и p в этих системах отсчета, что определяет важнейшее свойство массы – мера постоянства во всех системах отсчета независимо от скорости.

Общая теория относительности (далее - ОТО)

ОТО привела к новым представлениям об устройстве и эволюции Вселенной [7].

В основе ОТО, в сущности, лежит один экспериментальный факт, установленный еще Галилеем – все тела падают в поле тяжести с одинаковым ускорением.

Эйнштейн по-новому интерпретировал этот установленный факт – если при равенстве гравитационной и инертной масс все тела получают одинаковое ускорение, значит это ускорение связано не со свойствами тел, а со свойством самого пространства.

Поэтому ОТО исследует действие гравитации, не обращаясь к закону всемирного тяготения Ньютона.

Согласно ОТО Вселенная состоит из трех пространственных измерений и одного временного, вместе эти измерения образуют четырехмерную структуру, которую можно представить, как ткань пространства-времени.

ОТО определила зависимость пространства-времени от концентрации и движения материальных масс. Гравитационные эффекты обусловлены не силовым взаимодействием тел, а деформацией самого пространства-времени, которая связана с присутствием масс.

Массы, как мера влияния на геометрические характеристики пространства-времени, создают гравитационное поле в окружающем их пространстве и изменяют свойства пространства-времени, искривляют его.

Гравитационное поле – есть проявление искривления пространства-времени, т.е. это искривленное физическое пространство, создаваемое массами вещества. В гравитационном поле тела движутся как бы "сами по себе" по кратчайшим путям – геодезическим линиям – в искривленном пространстве-времени.

По образному выражению известного американского физика-теоретика Дж. Уилера “ вещество диктует пространству, как ему искривляться, а искривленное пространство указывает веществу, как ему двигаться в нем”.

Чтобы представить это в упрощенном виде проведите мысленный эксперимент. Ткань пространства-времени замените мягким резиновым ковриком с расчерченными вдоль и поперек прямыми линиями. Положите в середину коврика тяжелый шар, который продавит коврику и вызовет кривизну поверхности вокруг него. На некотором расстоянии от него положите легкий шарик, который будет скатываться “сам по себе” по искривленным линиям, не испытывая силу взаимодействия.

Триумфом ОТО, как научной доказательной базы, было объяснение аномального смещения перигелия Меркурия, ближайшей к Солнцу планеты. Это смещение оказалось первым движением небесного тела, которое не подчинялось закону всемирного тяготения Ньютона.

Ученые в течение более 50 лет безуспешно искали пути объяснения этого явления. Решение было найдено после разработки ОТО, из уравнений которого вытекало именно такое значение смещения, которое фактически наблюдалось.

Границы применения классической механики и теории относительности

Конечные положения фундаментальных теорий всегда имеют силу твердо установленного факта.

В рамках своих моделей фундаментальные теории отражают, описывают и объясняют окружающий мир и составляют основу для последующих теоретических и экспериментальных научных исследований.

Классическая механика – вид механики, основанный на законах Ньютона. Законы классической механики Ньютона – это фундаментальные законы природы, а законы природы никакая новая теория опровергнуть или отменить не может.

Предсказания классической механики становятся неточными для систем, скорость которых приближается к скорости света.

В пределах Земли и Солнечной системы, в которой находится планета Земля, максимально наблюдаемая скорость движения тел – это орбитальная скорость планеты Меркурий – 47,87 км/сек, Земля – 29,78 км/сек, при скорости света 300000 км/сек. Классическая механика в диапазоне скоростей значительно меньших скорости света обеспечивает достоверное описание физического мира, мира, в котором мы живем.

При какой величине массы-источника тяготения предсказания классической механики становятся неточными? Гравитационная потенциальная энергия массы m , находящейся на расстоянии R от источника тяготения массой M - $E_{\text{пот}}^{\text{гр}} = G \frac{Mm}{R}$. Разделив это уравнение на m , получим величину, характеризующую поле источника тяготения массой M , не зависящую от массы m – гравитационный потенциал - $\varphi = -G \frac{M}{R}$. Знак минус говорит о том, какую работу надо совершить над массой, чтобы вывести тело из поля тяготения массы M , т.е. эта работа, направленная противоположно полю тяготения.

Например, чтобы преодолеть гравитационный потенциал Земли и заставить тело двигаться по круговой орбите вокруг Земли требуется скорость 7,9 км/сек, а чтобы заставить его покинуть гравитационное поле Земли – 11 км/сек. И так далее, чем больше масса, характеризующая поле тяготения, тем большую работу надо выполнить, чтобы вывести тело из поля тяготения.

Но что такое масса Земли по космическим меркам – чрезвычайно малая величина. Масса Земли - 6×10^{24} кг, Солнца - 2×10^{30} кг – в 300000 раз больше массы Земли, масса галактики Млечный Путь, в которой находится Солнечная система, 10^{41} кг.

Масса Вселенной оценивается - $M_{\text{вс}} = 4 \times 10^{52}$ кг, гравитационный потенциал - $\varphi_{\text{вс}} = -3 \times 10^{16} \frac{\text{м}^2}{\text{сек}^2}$ [8, 9].

Если возвести в квадрат скорость света - 3×10^8 м/сек, получим $9 \times 10^{16} \frac{\text{м}^2}{\text{сек}^2}$ – практически совпадение с величиной гравитационного потенциала Вселенной – т.е., чтобы преодолеть гравитационное поле Вселенной требуется околосветовая скорость.

Если $\varphi_{\text{вс}} = -c^2$, тогда гравитационная потенциальная энергия массы m , находящейся в поле тяготения массы Вселенной:

$$-m\varphi_{\text{вс}} = -G \frac{M_{\text{вс}} m}{R_{\text{вс}}} = -mc^2$$

И здесь не обошлось без $E_0 = mc^2$

Если гравитационный потенциал источника тяготения значительно меньше c^2 и гравитационная потенциальная энергия тел много меньше mc^2 , то гравитационные взаимодействия можно достоверно описывать классической механикой – ньютоновским законом всемирного тяготения:

$$\varphi \ll c^2 \quad \frac{GM}{c^2 R} \ll 1$$

Этим ограничительным условиям полностью соответствует описание классической механикой гравитационных взаимодействий в пределах Земли и Солнечной системы.

Результаты, которые предсказывает ОТО, отличаются от результатов, предсказываемых законами Ньютона, только при наличии сверхсильных гравитационных полей, создаваемых гигантскими массами, начиная от звездных систем, галактик и заканчивая всей Вселенной.

Теория относительности не опровергает и не заменяет классическую механику, что подтверждается принципом соответствия, определяющего границы их применения.

СКРЫТАЯ МАССА, ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

Развитие мировой науки за всю историю человечества в познании материи-массы и строении и эволюции Вселенной оставляет массу до конца неизведанным, загадочным свойством, характеризующим объекты окружающего мира.

Миру известны четыре фундаментальных взаимодействия, которые объясняют и описывают весь спектр физических явлений в мире – сильное (атом-электрон-протон...), слабое (при радиоактивном распаде), электромагнетизм и гравитацию. Изучение этих взаимодействий происходит в двух непримиримых направлениях микро- и макромира:

-квантовая механика, из которой родилась Стандартная модель - теоретическая конструкция, описывающая сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия всех элементарных частиц;

-Общая теория относительности, описывающая четвертое взаимодействие – гравитацию.

Великим открытием XXI века является экспериментальное доказательство на Большом адронном коллайдере существования бозона Хиггса, предсказанного еще в 60-х годах прошлого века. Этим была решена одна из загадок Природы – откуда берется масса элементарных частиц - “строительных кирпичиков”, из которых состоит мир и завершено экспериментальное обнаружение всех предсказываемых Стандартной моделью элементарных частиц.

Но существует “нечто”, что не позволяет понять, что происходит в природе за пределами Стандартной модели.

В соответствии с законами Ньютона и Кеплера при движении звезд и планет выполняется соотношение – $V = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, где М-масса притяжения, R-расстояние от звезды, планеты до центра массы. Это соотношение показывает, что чем дальше звезда, планета находится от центра массы притяжения, тем ниже скорость ее движения.

Но в середине 30-х годов XX века швейцарским астрономом Ф.Цвикки была обнаружена загадка Природы, 100-летие которой не так далеко можно будет отмечать. Скорости, с которыми галактики одного из самых больших скоплений движутся вокруг общего центра, были гораздо больше, чем можно было ожидать, исходя из наблюдаемой массы скопления. Это означало, что истинная масса скопления гораздо больше видимой.

Через 40 лет, в 70-е годы, американским астрономом В. Рубин было обнаружено, что при движении от центра галактики скорость вращения галактических объектов остается почти постоянной на значительном удалении от центра. Для объяснения этого требовалось, чтобы этого невидимого “чего-то” было гораздо больше, чем обычного видимого вещества. Это “нечто” получило название “темная материя” [10].

И это остается интригующей загадкой физики до сих пор. Ученые определили, что темная материя составляет 95% массы Вселенной. Видимая, наблюдаемая масса – всего 5%. Мир, который воспринимался изученным и понятным - это всего лишь небольшая добавка к тому, из чего в действительности состоит Вселенная.

Прямыми методами подтверждается факт наличия массы в галактиках, которая остается невидимой и необнаруживаемой. Это какие-то неведомые частицы, которые не имеют собственного излучения и потому невидимые, но их масса проявляет себя. Как они взаимодействуют с нашим миром? Может это пятый неизвестный тип взаимодействия элементарных частиц?

Неизвестно фундаментальное свойство нашего мира, которое необходимо понять и осмыслить и распознавание которого может привести к новому пониманию устройства и эволюции Вселенной и открытию новых фундаментальных законов природы.

Возможно ли примирение ОТО и Стандартной модели, одной из главных проблем современной теоретической физики, без распознавания этой тайны природы?

Познание массы продолжается...

Решит ли Человек этот вызов Природы?

Аристотель – Галилей – Ньютон – Эйнштейн - ... Кто следующий?

Список литературы

1. Николаев П.Н. Законы механики: от Аристотеля до Ньютона. Московский государственный университет, 2016. Электронный ресурс. Дата обращения: 01.04.2021.

2. Закон инерции Галилея-Ньютона. Энциклопедия по машиностроению XXI. Электронный ресурс. Дата обращения: 01.04.2021.
3. *Ньютон И.* Математические начала натуральной философии. М.: Наука Изд-во АН СССР, 1989 (с. 50, 661, 662). Электронный ресурс. Дата обращения: 01.04.2021.
4. Ньютона законы движения. Энциклопедия по машиностроению XXI. Электронный ресурс. Дата обращения: 01.04.2021.
5. *Аносов Д.В.* От Ньютона к Кеплеру М. Изд-во МЦНМО 2006 Электронный ресурс. Дата обращения: 01.04.2021.
6. *Окунь Л.Б.* Формула Эйнштейна $E=mc^2$ Не смеется ли Господь Бог? Журнал “Успехи физических наук”, 178(5) 541-555, 2008 Электронный ресурс. Дата обращения: 01.04.2021.
7. Теория относительности. Джеймс Трефил. Энциклопедия. Электронный ресурс. Дата обращения: 01.04.2021.
8. Гравитация Вселенная Основные характеристики Электронный ресурс. Дата обращения: 01.04.2021.
9. *Тельнов В.И.* Механика и теория относительности Учебное пособие, 2015. Электронный ресурс. Дата обращения: 01.04.2021.
10. Темная материя. Джеймс Трефил. Энциклопедия. Электронный ресурс. Дата обращения: 01.04.2021.