Муниципальное общеобразовательное учреждение
«Лицей №9 имени заслуженного учителя школы Российской Федерации
А. Н. Неверова Дзержинского района Волгограда»

**Утверждено:**

Директор МОУ Лицей 9

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Жигульская И. В.

Приказ №\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2023 г.

**Кожевников Руслан Сергеевич**

**11 А**

**ПРИЛИВНЫЕ СИЛЫ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ**

(Индивидуальный проект)

**Научный консультант:**

учитель физики

Зубков Михаил Петрович

**Согласовано:**

Зам. директора

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Соколова Е.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2023 г.

Оценка\_\_\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /

Подпись \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / Соколова Е.В.

Волгоград 2023

Содержание

Введение…………………………………………………………………………...1

ГЛАВА I. Сущность понятия приливные силы…………………………………3

1.1.Законы Иоганна Кеплера……………………………………………………..4

1.2. Приливные силы……………………………………………………………...5

ГЛАВА II. Воздействия приливных сил на небесные тела…………………….7

2.1. Пояс астероидов………………………………………………………………7

2.2. Приливные силы во вселенной……………………………………………...8

ГЛАВА III. Практическая часть……………………………………………….....9

3.1. Опыт Эрстеда ………………………………………………………………...9

3.2Левитация кольца.……………………………………………………..............9

Заключение ………………………………………………………………………13

Список литературы ……………………………………………………………...14

Приложение……...……………………………………………………………….15

**Введение**

В природе существуют четыре фундаментальных взаимодействия (гравитационное, электромагнитное, и два ядерных: слабое и сильное), суперпозиция которых приводит к многообразию физических законов взаимодействия тел. Особенно выделяется приливной эффект, который характерен для случая неоднородных полей, когда поля могут меняться в пространстве, как по величине, так и по направлению. Приливная физическая сила является не самостоятельной, а лишь характерным проявлением каждой из упомянутых четырёх в тех случаях, когда нельзя пренебрегать конечным размером объектов взаимодействия. Наблюдаемые в природе приливные явления порой столь специфичны, что физики с полным правом называют приливное взаимодействие «пятой силой».

Приливные силы выходят на сцену в тех случаях, когда распределение ускорений, обусловленное распределением сил какого-либо взаимодействия, неоднородно в пространстве. Если в этой области пространства находится объект конечного размера, то разные его точки будут испытывать разное ускорение, что приведёт к деформации объекта: в твёрдом теле при этом возникнут внутренние напряжения, а у жидкого или газообразного тела одни его части начнут перемещаться относительно других. Именно это и происходит, когда морская вода опускается и поднимается у побережья вследствие движения Земли в неоднородных гравитационных полях Луны и Солнца.

Как наиболее древний из знакомых людям эффектов подобного рода, морские приливы дали своё название всему классу приливных явлений .

Другое направление в изучении приливного эффекта связано с явлением парения тел в поле тяготения Земли без видимой опоры, которое получило название явления левитации. Явление магнитной левитации имеет огромное практическое значение, в частности, активно применяется при разработке транспортных средств. Самым быстрым поездом, является поезд на магнитной подушке, построенный в Японии, который в состоянии развить скорость до 603 км/ч. В основе его работы положено явление левитации. Для демонстрации целого ряда опытов по электромагнетизму используется набор «Трансформатор универсальный», который позволяет, в частности, демонстрировать явление левитации проводящего кольца при подключении трансформатора к сети переменного тока. Взаимодействие магнитного поля с индуцированным током эффектно проявляется в опыте Э. Томсона («индукционная пушка»[8]). Трансформаторная катушка с сердечником через ключ подключается к источнику постоянного напряжения. Сверху на сердечник надевается металлическое кольцо. При замыкании ключа происходит резкое увеличение магнитного поля, что приводит к созданию из кольца магнита с противоположной полярностью. За счет их взаимодействия происходит «выстрел» – подбрасывание кольца над катушкой.

Как устроены приливные силы во Вселенной и что их создаёт? Каково влияние Луны на приливы на земной поверхности? Только ли вода подвергается влиянию приливных сил? Как их можно использовать? Как можно использовать неоднородное магнитное поле для создания магнитных ловушек и удержания в них частиц вещества? В чем состоит аналогия в возникновении приливных сил различной природы? На эти и на ряд других вопросов мы попытаемся найти ответ в нашем исследовании.

Актуальность данной проблемы связана с важной ролью приливных сил в движении Земли и Луны, физических систем разной природы при учете неоднородности сил взаимодействия.

Объект исследования: приливные взаимодействия.

Предмет исследования: приливные силы в природе и технике, обусловленные неоднородными гравитационным и магнитным полями.

Цель исследования: Изучить причины появления приливных сил в природе и в технике, а также их влияние на движение тел и условия их равновесия. Установить, в чем их сходства и различия, рассмотреть их влияние, на инерционное движение (прецессия, левитация).

Задачи исследования:

1)изучить сущность понятия приливных сил;

2)выяснить воздействие приливных сил на небесные тела;

3)проанализировать принцип работы приливных сил в технике;

4) подвести итог

Методы: наблюдение, фотографирование, эксперимент, анализ, описание.

Практическая значимость – результаты исследования могут быть использованы для демонстрации особенностей приливного взаимодействия, с целью показать возможность его применения в технических устройствах.

**ГЛАВА I. Сущность понятия приливные силы**

В древности приливы мало изучались. Цивилизации древних египтян, греков и римлян, от которых к нам дошли первые записи исторических фактов, развивались на берегах Средиземного моря, где приливы почти незаметны и потому практически не привлекают к себе внимания. Приливы и другие, связанные с океаном явления, не упоминаются в Библии.

Первое упоминание о приливах относится приблизительно к 425 году до н.э. и принадлежит древнегреческому историку Геродоту, который, описывая залив у побережья Аравии (вероятно, Красное море), заметил: *“*Там каждый день отступает и наступает прилив”.

Полутора веками позже Пифей из Массилии (современный Марсель) в 320 году до н.э., совершая плавание вокруг Европы, у берегов Британских островов заметил некую связь между приливами и Луной. Но ни Геродот, ни Пифей не дают объяснений этому странному явлению. К тому же Пифей не высаживался в Британии и, таким образом, не мог наблюдать с берега громадный подъем и спад уровня моря в Ла-Манше.

Большинство ученых Древнего Востока довольствовались чисто теоретическими представлениями. Некоторые из них считали Землю живым существом, а приливы - проявлением его дыхания. Другие полагали, что воды океана - это кровь Земли, приливы же - биение ее пульса. Аристотель, наблюдая влияние приливов на жизнь моря, пришел к выводу, что всякое живое существо умирает только во время отлива. Этот предрассудок кое-где не изжит и поныне.

Финикийцы, родная земля которых тянулась узкой полосой вдоль восточного побережья Средиземного моря, были самыми искусными мореходами древнего мира. Однако и они не оставили упоминаний о приливах, несмотря на то, что отваживались выходить в Атлантический океан, известный своими могучими приливами. Отчасти это может быть связано с тем, что для человека, находящегося на борту корабля в открытом море и не имеющего перед глазами неподвижного ориентира не берегу, приливы и отливы незаметны.

Юлий Цезарь и Александр Македонский, которые вели войны далеко за пределами бассейна Средиземного моря, неоднократно сталкивались с приливами и даже терпели от них бедствие, однако не смогли найти им сколько-нибудь удовлетворительного объяснения.

Первое описание приливов выполнил римский натуралист и писатель Плиний в 77 году н.э. в “Естественной истории”: “Многое было сказано о природе вод; но самое удивительное - это попеременное наступление и отступление приливов, проявляющееся по-разному, но всегда порождаемое Солнцем и Луной. Прилив дважды наступает и дважды отступает между каждыми двумя восхождениями Луны...”

Таким образом, Плиний впервые делает предположение о причинах приливов, отмечая их очевидную связь с фазами Солнца и Луны, хотя и он не был свободен от предрассудков.

К началу средних веков факт существования приливов и их связи с Луной стал общепризнанным. Английский ученый раннего средневековья Беда Достопочтенный утверждал, что прилив и Луна связаны теснейшими узами. Он отмечал, что море следует за Луной не только в ее восходах и закатах, но и в ее неизменно чередующемся прибывании и убывании. Прилив приходит каждый день позже, чем накануне и, как и Луна, то увеличивается, то уменьшается. Беда Достопочтенный отметил также некоторые географические различия приливов.

Однако в целом в эпоху средневековья приливы мало изучались. Ученые средневековой Европы были погружены во мрак суеверий и религиозных предрассудков и считали океан зловещей и необъяснимой силой. Даже викинги - самые искусные мореплаватели раннего средневековья, не оставили сколько-нибудь заметных свидетельств о приливах.

Не больше было известно о приливах и за пределами Европы. В Малой Азии, Индии и Китае приливы считались проявлением гнева морского божества, а мусульмане считали, что прилив создает ангел, сидящий над морем, спуская в него ногу, а когда он поднимает ее, наступает отлив.

С началом Эпохи Возрождения начали быстро развиваться науки и искусства, стал заметен прогресс и в науке о море. Особенно интенсивно она развивалась в Англии, и изучение приливов было неотъемлемой ее частью. Уже в XIII веке английские шкиперы вели специальные книги, в которые заносили сведения о приливах в Ла-Манше, о времени наступления полной и малой воды в важных портах и бухтах, о продолжительности подъема и спада воды. Эти книги, называемые “раттерами”, широко использовались в Англии в практике мореплавания. Первый печатный раттер вышел в 1528 году, и вскоре они стали так популярны, что их наполняли не только сведениями о навигации и приливах, но и различной светской хроникой, так что они послужили прообразами альманахов для семейного чтения.

С 1545 года стали использоваться круговые таблицы приливов (таблицы порта), содержавшие сведения о моментах наступления полной воды в определенном порту в зависимости от фазы Луны.

В 60-х годах XVI века было изобретено вычислительное устройство для предсказания приливов по измерениям их высоты в любой заданной точке и в любой момент времени. С середины того же XVI века стали широко применяться траверзные доски, позволявшие записывать курс корабля в открытом море вне видимости земли.

Однако все это были еще робкие и грубые попытки обобщить накопленные знания без понимания причин происходивших явлений. Различные теории, пытавшиеся объяснить связь приливов с движением Солнца и Луны, в большинстве своем основывались на суеверии. Высказывались умозрительные и часто курьезные объяснения, например, что свет Луны “гипнотизирует” воду и т.д. Вплоть до работ Ньютона представление о причинах приливов оставалось неясным.

**1.1.Законы Иоганна Кеплера**

Вся жизнь Кеплера была посвящена обоснованию и развитию гелиоцентрического учения Коперника. Важнейшим аргументом являются три закона Кеплера, положившие конец прежнему представлению о равномерных круговых движениях небесных тел. Солнце, занимая один из фокусов эллиптической орбиты планеты, является, по Кеплеру, источником силы, движущей планеты.

Законы Кеплера, навсегда вошедшие в основу теоретической астрономии, получили объяснение в механике И. Ньютона, в частности в законе всемирного тяготения.

Объяснил приливы и отливы земных океанов под воздействием Луны. Мировоззрение Кеплера не было чуждо мистике . Он считался одним из крупнейших астрологов своего времени, хотя занимался астрологией в основном для заработка.

**Первый закон**

Планеты обращаются по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

$$L\_{1}+L\_{2}=const$$

Первый закон Кеплера показывает, что все планеты движутся по траекториям в виде эллипса (приложение 1). Вытянутость эллипса зависит от:

-скорости движения планеты;

- расстояния, на котором находится планета от центра эллипса.

Изменение скорости небесного тела приводит к превращению эллиптической орбиты в гиперболическую, двигаясь по которой можно покинуть пределы Солнечной системы

**Второй закон**

Радиус - вектор планеты (спутника) за равные промежутки времени описывает равновеликие площади(приложение 2).

$$t\_{1}+t\_{2}=>S\left(t\_{1}\right)+S(t\_{2})$$

Второй закон Кеплера показывает равенство площадей, описываемых радиус–вектором небесного тела за равные промежутки времени. При этом скорость тела меняется в зависимости от расстояния до Земли (особенно хорошо это заметно, если тело движется по сильно вытянутой эллиптической орбите). Чем ближе тела к планете, тем скорость тела больше.

Для эллиптической орбиты планеты характерны относительно Солнца точки:

Перигелий (греч. пери – возле*, около*) ближайшая к Солнцу точка орбитыпланеты (для Земли 1-5 января*).* В перигелии южное полушарие Земли получает солнечной энергии на 6% больше, чем северное полушарие. *Афелий* (греч. апо – вдали) наиболее удаленная от Солнца точка орбиты планеты (для Земли 1-6 июля).

Учитывая греческие названия планет, характерные точки эллиптической орбиты ее спутников будут иметь собственные названия.

**Третий закон.**

Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся между собой как кубы больших полуосей их орбит (приложение 3).

$$\frac{a^{3}}{T^{2}}=const$$

**1.2.Приливные силы**

Приливные силы возникают в телах, свободно движущихся в неоднородном гравитационном поле. Такие силы возникают в системе Земля – Луна, и проявляются в виде такого явления как приливы и отливы. Силы тяготения максимальны для частей тела, ближних к тяготеющей массе, и минимальны для дальних частей. При этом приливные силы проявляются в виде разности между силами, действующими на крайние точки и на центр тела.

Можно также наглядно представить физическую сущность приливных сил через третий закон Кеплера, также описывающий движение тел в неоднородном поле тяготения (приложение 4).

Этот закон гласит, что периоды обращения тела в центральном поле тяготения соотносятся, как кубы больших полуосей их орбит; таким образом, тело (или часть его) находящееся ближе к источнику силового поля, будет двигаться по своей орбите с более высокой скоростью, чем расположенное дальше. В системе Земля — Луна таким источником приливных сил можно представить движение Земли по орбите вокруг общего центра масс системы Земля — Луна. Часть Земли, расположенная ближе к этому центру масс, будет стремиться двигаться быстрее, чем расположенная дальше, формируя, таким образом, приливы, особенно хорошо заметные в гидросфере (приложение 5).

Притяжение Солнца так же играет немалую роль, но по воздействию оно почти в два раза меньше лунных притяжений, так как находится от планеты намного дальше. Масса воды мирового океана под действием Луны с одной стороны, и под действием Солнца с другой, вытягивается ,и принимает форму овала.

Учеными доказано что притяжение действует не только на воду, земля так же подвержена искажению формы, но из-за того что она не настолько пластична, для людей деформация поверхности земли остается малозаметным. Под действием двух планет образуются две волны, бегущие к противоположным сторонам земного шара, тем самым создавая приливы и отливы. А поскольку положение Луны и Солнца по отношению к земной поверхности постоянно меняется, то изменяются и показатели приливно-отливных явлений.

 Для оценки степени неоднородности гравитационного поля воспользуемся выражением для гравитационного ускорения материальной точки a = Gm/r2. Для двух точек, удаленных друг относительно друга на Δr вдоль луча, проведенного из гравитирующего центра, разность ускорений равна Δa = 2GmΔr /r3 , а для перпендикулярного направления Δa = GmΔr /r3. Это приведет к возникновению силы, действующей на квадратную пластину со стороной Δr, в продольном направлении – силе растяжения, а в поперечном – силе сжимающей пластину.

**ГЛАВА II. Воздействие приливных сил на небесные тела**

Чтобы оценить относительную высоту приливных горбов сравнивают приливное ускорение и ускорение силы тяготения на поверхности объекта (приложение 6).

**2.1. Пояс Астероидов**

Пояс астероидов — область Солнечной системы, расположенная между орбитами Марса и Юпитера, являющаяся местом скопления множества объектов всевозможных размеров, преимущественно неправильной формы, называемых астероидами или малыми планетами.

 Эту область также часто называют главным поясом астероидов или просто главным поясом, подчёркивая тем самым её отличие от других подобных областей скопления малых планет, таких как пояс Койпера за орбитой Нептуна, а также скопления объектов рассеянного диска или облака Оорта.

 Суммарная масса главного пояса равна примерно 4% массы Луны, больше половины её сосредоточено в четырёх крупнейших объектах: Церера, (2) Паллада, (4) Веста и (10) Гигея. Их средний диаметр составляет более 400 км, а самый крупный из них, Церера, единственная в главном поясе карликовая планета, имеет диаметр более 950 км и вдвое превышает суммарную массу Паллады и Весты. Но большинство астероидов, которых насчитывается несколько миллионов, значительно меньше, вплоть до нескольких десятков метров. При этом астероиды настолько сильно рассеяны в данной области космического пространства, что ни один космический аппарат, пролетавший через эту область, не был повреждён ими

Причина такого состава пояса астероидов в том, что он начал формироваться непосредственно вблизи Юпитера, чьё гравитационное поле постоянно вносило серьёзные возмущения в орбиты планетезималей. Получаемый от Юпитера избыток орбитальной энергии приводил к более жёстким столкновениям этих тел между собой, что препятствовало их слипанию в протопланету и её дальнейшему укрупнению.

 В результате большинство планетезималей оказались раздробленными на многочисленные мелкие фрагменты, большая часть из которых либо была выброшена за пределы Солнечной системы, чем объясняется низкая плотность пояса астероидов, либо перешла на вытянутые орбиты, по которым они, попадая во внутреннюю область Солнечной системы, сталкивались с планетами земной группы. Столкновения между астероидами случались и после этого периода, что приводило к появлению многочисленных астероидных семейств — групп тел со сходными орбитами и химическим составом, в которые входит значительное число существующих на сегодня астероидов, а также к образованию мелкой космической пыли, формирующей зодиакальный свет.

 Помимо этого, гравитация Юпитера также создаёт области неустойчивых орбит, где из-за резонансов с Юпитером практически отсутствуют астероиды. Астероид, попадающий туда, за относительно короткое время будет выброшен с этой орбиты за пределы Солнечной системы или пополнит популяцию астероидов, пересекающих орбиты внутренних планет. Сейчас астероидов в таких областях практически не осталось, но орбиты многих небольших астероидов продолжают медленно изменяться под влиянием других факторов.

Большая гравитация у Юпитера свидетельствует о неоднородном магнитном поле вокруг него, вследствие чего происходят приливные силы.

8

**2.2. Приливные силы во вселенной**

Ио – самый близкий к Юпитеру из его остальных спутников: Европы, Ганимеда и Каллисто, открыт в 1610 году Галилеем. На нем зафиксирована самая высокая вулканическая активность по сравнению с другими планетами Солнечной Системы. Эту повышенную тектоническую активность объясняют разогреванием ее недр от воздействия на них приливных сил, порождаемых гравитационным взаимодействием Юпитера, Европы, Ганимеда и собственно, самого Ио.

Европа – спутник Юпитера покрыта сетью трещин, разломов. Гравитационное воздействие со стороны Юпитера и других спутников приводит к тому, что под корой изо льда находится жидкий океан. Приливные силы высвобождают достаточное количество энергии, чтобы поддерживать океан в жидком состоянии. «Мы знали в течение долгого времени, что свежая ледяная поверхность Европы, которая покрыта трещинами и хребтами и которая изменяет рельеф, является внешней сигнатурой огромного внутреннего соленого океана, — говорит Майк Браун, профессор планетарной астрономии. — Области хаотической местности показывают сигнатуры крупных ледяных плит, которые были разбиты, изменили позиции и снова замерзли. Эти регионы представляют особенный интерес, поскольку вода из океанов ниже могла подняться на поверхность через трещины и оставить там отложения. Это могло бы много поведать об активности на границе твердого ядра и океана».

При исследовании самого крупного спутника Сатурна – Титана были обнаружены очень большие твёрдые приливы – до 10 метров. Если считать, что Титан полностью состоит из скальных пород, то высота таких приливов была бы равна метру (гравитационное притяжение Солнца и Луны также вызывает вспучивание земной коры в виде твердых приливов, высота которых составляет около 50 сантиметров). Поэтому, было сделано предположение о наличие подповерхностного океана на Титане. Мощное приливное действие Сатурна приводит к разогреву ядра и поддержанию достаточно высокой температуры для существования жидкой воды на глубине примерно 100 км под поверхностью спутника.

Сталкивающиеся галактики высвобождают колоссальное количество энергии и перемещают массы звёзд, газовые и пылевые облака. Галактики, как призраки, проходят сквозь друг друга, редко приводя к непосредственному столкновению звёзд ввиду очень низкой плотности. Если происходит столкновение карликовой галактики с более массивной, то она притягивает отдельные звёзды. В результате формируется своеобразный "коридор" с газовыми облаками, который служит материалом для нового звездообразования. Самая близкая к нам пара сталкивающихся звездных островов находится в созвездии Ворона на расстоянии 63 миллиона световых лет.

Но более всего драматические события возникают при взаимодействии чёрных дыр с окружающими её в непосредственной близости звёздами. Это произошло в галактике RX J1242-1119A, в ее центре. Сверхмассивная центральная черная дыра (подобные объекта наблюдаются в очень многих спиральных галактиках) разорвала приливными силами пролетевшую слишком близко от нее звезду. Большая часть вещества звезды после этого была захвачена черной дырой, что вызвало яркую рентгеновскую вспышку.

**ГЛАВА III. Практическая часть**

**3.1. Опыт Эрстеда**

Собрав электрическую цепь, состоящую из:

- катушки, состоящей из n круговых витков (n=60;r=0.3м)

- амперметра,

-реостата,

-ключа,

-источника питания,

 мы измерили величину электрического тока (I=0.2025A) , при котором магнитная стрелка отклонилась от направления на северный и южный полюса Земли на угол 45 градусов.

Влияние электрического тока на магнитную стрелку впервые было обнаружено Эрстедом.

Используя формулу

$$B\_{n}=n\*\frac{Iμ\_{0 }}{2πr}$$

где $μ\_{0}$ магнитная постоянная, равная 4π\*$10^{-7}$ Гн/м. Применив принцип суперпозиции, мы можем определить результирующее магнитное поле в месте размещения стрелки и горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли (приложение 7)

$В\_{гз}$=$В\_{n}$=$\frac{4П\*10^{-7 }\*60\*0,2025}{2П\*0,3}$

$В\_{гз}$=0,8\*$10^{-6 }$Тл ≈ 1 мкТл. Горизонтальная составляющая магнитного поля Земли зависит от места наблюдения, увеличивается в областях магнитных аномалий, уменьшается внутри помещений, за счет экранировки. Величина обычно варьируется в диапазоне $2\*10^{-6}-7\*10^{-5}Тл$.

Землю можно рассматривать как магнитный диполь. Его южный полюс находится на географическом Северном полюсе, а северный, соответственно, на Южном. На самом деле, географический и магнитный полюса Земли не совпадают не только по "направлению". Ось магнитного поля наклонена по отношению к оси вращения Земли на 11,6 градуса.

Магнитное поле защищает жителей Земли и искусственные спутники от губительного воздействия космических частиц. К таким частицам относятся, например, ионизированные (заряженные) частицы солнечного ветра. Магнитное поле изменяет траекторию их движения, направляя частицы вдоль линий поля. Необходимость наличия магнитного поля для существования жизни сужает круг потенциально обитаемых планет (если мы исходим из предположения, что гипотетически возможные формы жизни похожи на земных обитателей).

Индукция магнитного поля земли свидетельствует о том, что существует магнитное поле. Приливные силы возникают в той среде, где существует неоднородное магнитное поле, которое наблюдается и в опыте Эрстеда.

**3.2. Левитация кольца**

Для изучения взаимодействия магнитного поля катушки с проводящим кольцом необходимо установить структуру магнитного поля. С это целью была экспериментально выполнена визуализация силовых линий с помощью металлических опилок, которая приведена на рис. Магнитное поле, создаваемое катушкой с сердечником, не является однородным, но обладает осевой симметрией. Рассмотрим по отдельности воздействие осевой и радиальной составляющих магнитного поля на кольцо (приложение 8).

Пусть индукция магнитного поля изменяется по синусоидальному закону: . Рассмотрим случай, когда магнитное поле возрастает (первая четверть периода), и осевая составляющая вектора магнитной индукции B0 направлена вверх. По закону электромагнитной индукции ее увеличение приводит к возникновению в кольце индукционного тока, создающего в свою очередь магнитное поле Bk, направленное против внешнего (приложение 9).

Сила Ампера согласно правилу левой руки будет направлена к центру кольца, то есть, будет его сжимать. При этом малейшее отклонение кольца от горизонтальной плоскости приводит к появлению момента сил, прижимающего кольцо к сердечнику.

Радиальная составляющая неоднородного магнитного поля, создаваемого катушкой, создает силу Ампера, направленную вертикально вверх (приложение 10).

Рассуждая аналогично, можно показать, что и в третьей четверти периода колебаний магнитного поля катушки при возрастании индукции магнитного поля в обратном направлении на кольцо будет действовать сила Ампера также направленная вверх.

Однако, во второй и четвертой четвертях периода, при уменьшении модуля магнитной индукции, сила Ампера будет направлена вниз, что вновь приводит нас к тому, что в среднем действие магнитного поля катушки на кольцо должно равняться нулю.

Тем не менее, следует учесть один существенный момент. Дело в том, что кольцо кроме активного сопротивления имеет еще и индуктивное сопротивление, что приводит к сдвигу фазы ϕ между ЭДС индукции, возбуждаемой в кольце осевой составляющей магнитного поля катушки, и током. Для наглядности, воспользуемся методом векторных диаграмм [11]. Напряжение на активном сопротивлении (UR) совпадает по фазе с током (I), а напряжение на индуктивном сопротивлении (UL) опережает ток по фазе на π/2 (приложение 11).

Значение сдвига фазы легко найти из получившегося треугольника напряжений:



Ток будет определяться по формуле:

.

А сила Ампера по формуле:

,

где L – длина окружности кольца.

Если совместить графики зависимости от времени радиальной составляющей магнитного поля, силы тока и силы Ампера (рис.), то можно наглядно продемонстрировать, что в связи со сдвигом фазы между полем и током график силы Ампера получается асимметричным относительно оси абсцисс. Это означает наличие выделенного направления в действии силы.

Усреднив по времени выражение (3), получим среднее значение силы Ампера:



Видим, что его значение отрицательно. Но выше мы выяснили, что в первой четверти периода сила Ампера направлена вверх, а в соответствии с построенным графиком в первой четверти сила отрицательна. Следовательно, среднее значение силы Ампера также направлено вверх и будет обеспечивать левитацию кольца.

Из полученной формулы для средней силы Ампера можно сделать вывод, что максимальное значение средней силы достигается при . Это будет иметь место при равенстве нулю активного сопротивления кольца, что возможно для сверхпроводящего кольца.

Время, в течение которого сила направлена вверх , равно:

.

В результате кольцо выталкивается из области сильного магнитного поля до тех пор, пока не наступит равновесие на некоторой высоте, для которой выполняется равенство .

**Заключение**

В ходе исследования мы определили, в чем состоит сущность понятия приливных сил, как они ведут себя во вселенной и что общего между «5 силой Сурдина» и левитацией.

Таким образом, можно предположить, если сейчас ось вращения нашей земли находиться на линии полярной звезды, то из-за приливных сил ось вращения может сместиться к звезде Вега, но это случится не раньше чем через 1000 лет.

**Список литературы**

**1.** Сурдин В.Г. Пятая сила Серия: «Библиотека «Математическое просвещение» М.:МЦНМО, 2002.—40с. : ил.

**2**. Сурдин В. Г. Приливные явления во Вселенной. - М.: Знание, 1986. - 64 с., ил. - (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Космонавтика, астрономия», №2).

**3.** Ходыкин С.А., Коробов В.Е., Сыродоев Г.А., Глазов С.Ю., Попов К.А. О левитации проводящего кольца в переменном магнитном поле // Физика в школе. 2017. № 2. С. 34-39.

**4**. Белецкий В. В. Очерки о движении космических тел. —М.: Наука, 1972, 1977.

**5**. Д а р в и н Дж. Г. Приливы и родственные им явления в Солнечной системе. — М.: Наука, 1965.

**6**. Новиков И.Д. Куда течёт река времени?.—М.:Молодая гвардия, 1990.

**7.** Пантелеев В. Л. Физика Земли и планет: Курс лекций. —М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, Физический факультет, 2001.http://www.astronet.ru/

**8**. Приливы и отливы // Энциклопедия Кругосвет. — М., 2002.http://www.krugosvet.ru/

**9**. Приливы и резонансы в Солнечной системе. — М.: Мир, 1975.

**10**. Сурдин В. Г. Рождение двойных звёзд // Соросовский образовательный журнал. 2001. No 8. С. 68—74.

**11**. Сурдин В. Г. Судьба звёздных скоплений // Природа. 2001.No 4. С. 44—50.

**12** Сурдин В.Г. Динамика звёздных систем. — М.: МЦНМО,2001.— Библиотека «Математическое просвещение». Вып. 12.

13. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. <http://school-collection.edu.ru>

**Приложение**

1)



Планеты обращаются по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

2)



Второй закон Кеплера показывает равенство площадей, описываемых радиус–вектором небесного тела за равные промежутки времени.

3)



Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся между собой как кубы больших полуосей их орбит.

4)



Наглядное представление физической сущности приливных сил через третий закон Кеплера, также описывающий движение тел в неоднородном поле тяготения.

5)



Система Земля — Луна.

6)



Таблица изменения форм тел под действием приливов.



7)

Зависимость горизонтальной составляющей магнитного поля Земли от места наблюдения.



8)

Моделирование силовых линий магнитного поля.

9)

*B0*

*Bk*

*I*

*FA*

*FA*

Воздействие осевой составляющей магнитного поля на кольцо.

10)

*Br*

*Br*

*I*

*FA*

*FA*

*Br*

*Br*

*FA*

*FA*

Воздействие радиальной составляющей магнитного поля на кольцо.

11)

*I*

*UR*

*UL*

*εi*

*φ*

Векторная диаграмма.