

АРГУМЕНТНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ – ВОЗМОЖНЫЙ МОСТ МЕЖДУ КЛАССИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ ФИЗИКОЙ

Данил ДУБОШИНСКИЙ

QUANTIX – Компания в области исследований и развития вибрационных технологий

Контакт с автором: dubochinski.danil@gmail.com

Аннотация

Открытие новых физических принципов квантования энергии в макроскопических системах, основанных на аргументных колебаниях и взаимодействиях, позволяет сбросить «оковы» формальной математики и ньютоновской физики и наметить основные направления объединения классической и квантовой физики.

Введение

Аргументные колебания, открытые в 1968 – 1969 годах [1 -12], демонстрируют явление квантования амплитуд в классических макроскопических колебательных системах*.

Аргументный макроквантовый осциллятор Дубошинского** [94] в классической физике представляет собой квантовый аналог гармонического осциллятора в квантовой механике. При этом рассматриваются не действующие силы, а их взаимодействие между собой, когда осциллятор частотно-фазово модулирует воздействующую на него периодическую силу, «разлагает» ее в ряд и «селектирует» ту составляющую спектра разложения, которая равна или близка к его собственной частоте (аргументный резонанс [95]). Наличие ряда спектральных компонент обуславливает потенциальную возможность реализации осциллятором дискретного ряда устойчивых, квантованных амплитуд, которые определяются начальными условиями.

Рассматриваемые в настоящей работе системы и процессы остаются в парадигме классической механики и электродинамики и, в то же время, они не вписываются в базовые принципы этих дисциплин: основное внимание уделяется вопросам взаимодействия объектов как между собой, так и с внешней средой.

Исследование реальных физических процессов и систем основывается на применении единого подхода, а конкретика введения новых механизмов и принципов опирается на здравый физический смысл, обусловленный выполненными экспериментальными и теоретическими исследованиями [1 – 70, 93].

Подробный обзор тождественных явлений, на которых базируется открытие макрофизического квантового эффекта (МКЭ) и создание аргументного осциллятора Дубошинского приведен в работах [87, 93] ***.

* Аргументные колебания и макрофизический квантовый эффект (МКЭ) были открыты в 1967 – 1968 годах Данилом и Яковом Дубошинскими, в то время студентами Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова.

** Аргументный или магнитный маятник Дубошинского [100 -123].

*** В работе использованы фрагменты статей, написанных совместно с доктором математических наук Джонатаном Тенненбаумом [65, 67 – 73, 82, 85, 89, 91, 92], с которым автора связывают многие годы совместной работы.

1. Аргументный маятник Дубошинского

Маятник (см. Рис. 1 и 2) состоит из двух взаимодействующих компонент:

- классического механического маятника, представляющего собой жесткий стержень с маленьким постоянным магнитом, прикрепленным к его свободно двигающемуся концу. Верхний конец маятника прикреплен к подшипнику качения. Собственная частота маятника $\sim 0,5$ Гц;
- неподвижного электромагнита (индуктивная катушка), жестко укрепленного на основании устройства под точкой равновесия траектории маятника и питаемого переменным током.

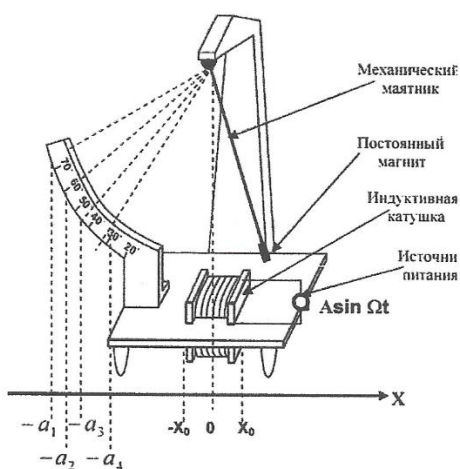


Рис. 1

Аргументный маятник

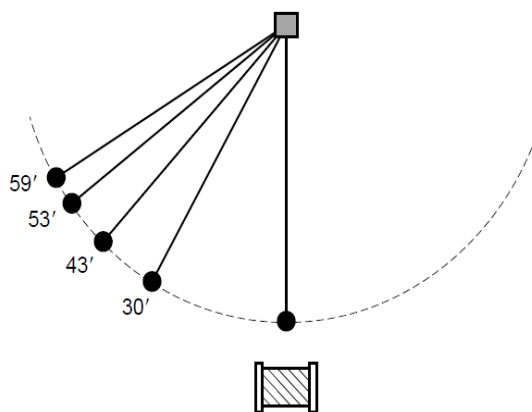


Рис. 2

Первые четыре устойчивые дискретные амплитуды колебаний аргументного маятника

Ширина электромагнита выбрана так, чтобы его воздействие на маятник происходило на небольшом отрезке траектории движения маятника в относительно небольшой зоне взаимодействия $[-X_0, X_0]$, примерно соответствующей ширине электромагнита

Электромагнит соединен с источником синусоидального переменного тока, частота которого f и напряжение которого могут варьироваться в широком диапазоне значений (в экспериментах f изменялась от 20 до 3000 Гц при собственной частоте маятника порядка 0,5 Гц). Когда амплитуда тока источника питания становится достаточной, чтобы обеспечить значительное взаимодействие между электромагнитом и маятником, наблюдаются следующие характерные явления.

Когда маятник запускается с произвольной высоты, его движение приближается к одному из режимов, принадлежащих дискретному множеству стационарных режимов колебаний с различными амплитудами, которые реализуются с периодом колебаний, близким к собственному периоду колебаний невозмущенного маятника (Рис. 2).

В каждом из этих режимов энергия, обусловленная трением во время движения маятника, компенсируется энергией переменного магнитного поля электромагнита за счет саморегулирования процесса их взаимодействия. «Выбор», который делает система из множества стационарных колебательных режимов, обусловлен начальными условиями.

Кроме того, аргументные колебания маятника Дубошинского отличаются от известных в классической механике типов колебаний тем, что «квантованные» амплитуды и соответствующие им стационарные режимы маятника существенно не изменяются, тогда как интенсивность внешней силы (в нашем случае, переменного поля электромагнита) меняется в широком диапазоне. Между тем, амплитуды очень чувствительны к изменениям частоты внешней силы. Чем выше эта частота, тем больше количество стационарных режимов, которые способен реализовать маятник (Таблица 1).

Таблица 1

Стационарные квантованные амплитуды маятника Дубошинского, которые наблюдались во время экспериментов, как функция частоты F магнитного поля.

Частота F магнитного поля (Гц)	Амплитуды маятника							
5					68°			
20	30°			59°		74°		85°
50	30°	43°	53°	59°	68°	74°	80°	85°

Было установлено также, что стационарные квантовые режимы колебаний маятника не зависят от размеров зоны взаимодействия $[-X_0, X_0]$ (ширины электромагнита) при условии, что эта зона при ее изменении остается меньше радиуса маятника.

Эти свойства, отличающиеся от свойств линейных осцилляторов классической механики, характеризуют такие квантовые процессы на микроскопическом уровне, как фотоэлектрический эффект и поглощение атомами и молекулами электромагнитных излучений*.

Квантованные режимы маятника в высшей степени стабильны по отношению к вибрациям и изменениям фрикционных и других параметров системы [93]. Значительные возмущения могут заставить маятник «перескочить» из одного режима в другой, подобно «квантовым скачкам» в атомной физике.

* Фотоэффект (фотоэлектронная эмиссия) – явление, связанное с испусканием электронов веществом под воздействием электромагнитных излучений (света). Обнаружено, что энергия испускаемых электронов не зависит от интенсивности (амплитуды) светового потока, но изменяется в зависимости от его частоты. Энергетический уровень, до которого атом или молекула могут возбуждаться под воздействием светового потока, зависит от частоты света, но не от его интенсивности, если только она не слишком высока. В основном, чем выше частота, тем шире диапазон дискретных состояний, которые могут быть возбуждены, вплоть до ионизации.

Квантованные режимы маятника в высшей степени стабильны по отношению к вибрациям и изменениям диссипативных и других параметров системы. Значительные возмущения могут заставить маятник «перескочить» из одного режима в другой, подобно «квантовым скачкам» в атомной физике.

Этот эффект не зависит от каких-либо специальных деталей конструкции или от материалов, использованных для изготовления электромагнита и маятника. Описанная система – лишь один из примеров целого класса макроскопических колебательных систем, проявляющих подобное «квантовое» свойство [101 - 123]. Некоторые из таких систем технически сложнее реализуемы, но более естественны с точки зрения теоретической физики. К ним очень близки системы теоретически идеализированных «элементарных осцилляторов» в электромагнитном поле, которые Планк изучал в своих исследованиях закона излучения абсолютно черного тела. *Вполне можно допустить, что историческое развитие квантовой физики пошло бы иначе, если бы Планк и его современники знали о явлении, которое доказывает аргументный маятник.*

Примечательно, что, несмотря на большое академическое и общеобразовательное внимание к так называемым «нелинейной динамике», «теории хаоса», «синергетике», «самоупорядочению», «диссипативным системам» и т. д. в течение последних десятилетий не уделено должного внимания этому простому, элементарному и в тоже время фундаментальному примеру. Это обстоятельство, несомненно, обусловлено тем фактом, что основная масса исследований «нелинейности» имела отношение, скорее, к абстрактным математическим изысканиям, чем к познанию физической реальности. Глубинная же причина – непонимание истинного смысла нелинейности. Действительно, нелинейный процесс по своей природе не может быть адекватно представлен какими-либо формальными математическими методами.

2. За пределами классической парадигмы

На первый взгляд, процессы, исследуемые при реализации аргументных колебаний, вполне можно отнести к области классической (макроскопической) механики. Для физика или инженера не представит труда составить простое дифференциальное уравнение, описывающее движения маятника, применяя стандартный лагранжевый метод для правильного выбора математической функции, описывающей воздействие внешней силы на маятник как функцию временных и пространственных координат (см. Вставку «Дифференциальное уравнение аргументного маятника» в конце настоящего параграфа). По этой причине сложилось ложное представление, что исследование аргументного маятника является лишь учебной задачей или экспериментом, не представляющим фундаментального интереса.

Однако, ситуация более сложная, чем может показаться.

Во-первых, с чисто «технической» точки зрения дифференциальное уравнение (3), представляющее аргументный маятник в соответствии с парадигмой классической механики, не может быть решено с помощью какого-либо из известных методов математического анализа. Более того, экспериментально наблюдаемые квантованные амплитуды не присутствуют в решениях дифференциального уравнения, полученных путем обычных численных методов при компьютерном моделировании.

Во-вторых, не считая связанных с этим математических трудностей, пространственное изменение силового поля в аргументном маятнике (и аналогичных системах) означает, что внешняя сила, воздействующая на маятник в каждый момент времени, зависит не только от времени, но также и от положения самого маятника. Эта зависимость внешней силы от положения маятника, о которой ничего не говорится в классических учебниках по так называемым «вынужденным колебаниям», позволяет маятнику в некотором смысле регулировать свой обмен энергией с внешним источником. Это ключевая характеристика «квантового поведения» аргументного маятника. Термин «аргументные колебания» для описания общего случая обусловлен тем, что пространственно-временная *конфигурация* колебательной системы выступает в качестве переменной в функциональном выражении для внешней воздействующей периодической силы. Возможность саморегулируемого обмена энергией является основной характеристикой аргументных колебаний.

В-третьих, несмотря на то, что авторами открытия были разработаны математические методы для анализа механизма квантования амплитуд и других свойств аргументных колебаний, те, кто стремится объяснить это явление с помощью математических выводов на основе «законов классической механики», рискуют разочароваться. Это связано с тем, что предложенному авторами теоретико-математическому анализу аргументных колебаний [1 – 24, 38, 87] как бы недостает «фундаментальности», которая характерна для трактовки линейных осцилляторов, например, в учебниках аналитической механики.

Действительно, если бы у создателей аргументного маятника не было прямых экспериментальных доказательств, подтверждающих, что явление квантования амплитуд действительно существует, то выдвинутые аналитические аргументы вряд ли выглядели убедительными. Однако, многолетние экспериментальные исследования реальных колебательных систем и их успешное подтверждение исследователями многих стран [100 – 122] позволяют утверждать, что созданный теоретико-математический аппарат может претендовать на существование как дополнение к базовым представлениям аналитической механики.

Не утверждая, что свойство (явление) квантования амплитуд аргументного маятника вытекает из «законов классической физики», можно, тем не менее, с уверенностью утверждать, что речь идет о существовании нового физического принципа, который не входит в классическую физику в ее традиционном понимании. Этот факт послужил причиной определенного скепсиса в признании открытого явления и требует небольшого экскурса в методологию, прежде чем подробнее рассмотреть аргументные колебания.

Вставка: Дифференциальное уравнение аргументного маятника

Классическое дифференциальное уравнение для кругового маятника имеет вид:

$$ml\ddot{\varphi} = -mg \sin \varphi \quad (1)$$

где φ – угловое смещение маятника от вертикальной позиции, а l – длина маятника.

Выражение $-mg \sin \varphi$ представляет собой составляющую гравитационной силы в направлении движения маятника.

Обычно уравнение выглядит так:

$$\ddot{\varphi} + \omega_0^2 \sin \varphi = 0,$$

где $\omega_0 = (g/l)^{1/2}$

Для малых колебаний $\sin \varphi \approx \varphi$ и соответствующее уравнение $\ddot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = 0$ имеет решениями простые синусоидальные колебания $\varphi = a \sin(\omega_0 t + b)$ с частотой $f_0 = \omega_0 / 2\pi$ (называемой собственной частотой маятника).

В уравнении (1) не принимается во внимание диссипация энергии маятником, обусловленная трением в подшипнике качения; для этого необходимо ввести слагаемое $-\beta\dot{\varphi}$ в правую часть уравнения (1), где β – коэффициент трения. Таким образом, получаем уравнение

$$\ddot{\varphi} + \beta\dot{\varphi} + \omega_0^2 \sin \varphi = 0 \quad (2)$$

Кроме того, в случае аргументного маятника в уравнение нужно ввести внешнюю периодическую силу, действующую на маятник в «зоне взаимодействия» $[-\varphi_0, \varphi_0]$. Эта сила может быть представлена в виде $A\varepsilon(\varphi) \sin \nu t$, где $\varepsilon(\varphi) = 1$ для $|\varphi| \leq \varphi_0$, $\varepsilon(\varphi) = 0$ для $|\varphi| \geq \varphi_0$. $\varphi = \nu / 2\pi$ – частота внешнего поля, A – амплитуда.

Таким образом, полное уравнение для аргументного маятника примет вид:

$$\ddot{\varphi} + \beta\dot{\varphi} + \omega_0^2 \sin \varphi = A\varepsilon(\varphi) \sin \nu t. \quad (3)$$

При малых колебаниях, когда маятник находится в зоне взаимодействия, уравнение может быть сокращено до следующего:

$$\ddot{\varphi} + \beta\dot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = A \sin \nu t,$$

что является классическим уравнением для «вынужденных колебаний» затухающего гармонического осциллятора.

3. Некоторые аспекты современного состояния науки

Влияние *Аналитической Механики* Лагранжа на научное образование в течение последних двухсот лет определило широко распространенное предположение о том, что «классическая механика» представляет собой пример полной физической теории. С точки зрения физических принципов считается, что ничего фундаментально нового в этой области открыть уже нельзя.

Строго говоря, открытие Планком кванта действия и последовавшая за этим разработка так называемой волновой механики Шредингером, конечно, уже означали основательную корректировку классической механики. Однако, в большинстве учебных пособий по физике сообщается, что эта корректировка, хоть она и была знаменательной в области микроскопических физических объектов, может совершенно не приниматься в расчет, когда речь идет о системах макроскопических тел. Причина, на которую при этом ссылаются – ничтожно малое значение постоянной Планка по отношению к величинам воздействий при движении макроскопических тел. К последним можно отнести аргументный маятник и другие макроскопические системы [1 - 125], относящиеся к традиционной области «классической механики».

Многие поколения инженеров и физиков, которым внушили математический формализм Лагранжа и Гамильтона, часто считают само собой разумеющимся, что макроскопическая механическая система, в принципе, совершенно эквивалентна соответствующему множеству дифференциальных или интегральных уравнений, выведенных из методов аналитической механики Лагранжа и Гамильтона. Встречаются также добавления о том, что, разумеется, на практике всегда имеют место всяческие упрощения, аппроксимации и идеализации, призванные сделать математические уравнения более гибкими. Однако, эта практика носит чисто прагматический характер и не противоречит принятому принципу эквивалентности между математическими и физическими системами.

В последнее время эта точка зрения была доведена до крайности теми, кто утверждал, что в целом в физике уже не осталось места для фундаментальных открытий. Всё уже открыто, и всё, что остается делать – решать уравнения! Этот подход уже находит свое отражение в преподавании физики, и даже в экспериментальной физике, и проявляется в растущей тенденции к замене реальных экспериментов на эксперименты виртуальные, проводимые с помощью компьютера. Следующим этапом может стать создание «виртуальных лабораторий», которыми будут руководить «виртуальные ученые»!

Тенденция ко все большему использованию компьютерного моделирования с целью замены дорогостоящих по времени и средствам исследований реальных экспериментальных систем уже неоднократно приводила к неприятным последствиям. Так, опасная динамическая нестабильность знаменитого автомобиля «класса А», разработанного и протестированного с помощью компьютера компанией Mercedes-Benz, была выявлена в 1997 г. после того, как машина несколько раз перевернулась во время проведения независимых

испытаний, в то время как ее производство уже было поставлено на поток. Точно также в США в конце 90-х годов произошла целая серия неудач при запуске ракетных систем, прошедших испытания с помощью компьютера, а также полный провал двух исследовательских миссий NASA на Марс, которые показывали прекрасные результаты при моделировании «виртуальной реальности». Можно привести еще целый ряд подобных примеров.

Проблема не просто в числовой точности, а в качестве: математические методы в физике, хоть они и необходимы опытным инженерам и физикам, *по своей природе* неспособны представить физическую реальность как таковую. Успешное применение технологий всегда зависит от уникальных возможностей человеческого разума, который способен осмыслить какой-либо физический процесс во всей совокупности в терминах его основополагающих принципов и вводить поправки на ошибки, которые неизбежно вытекают из всякого слепого использования формальных математических и подобных методов. Именно эти творческие способности и позволяют ученым с оригинальными идеями обнаруживать аномалии в тех областях науки, которые считаются полностью осмысленными общепризнанной научной теорией, и открывать новые физические принципы, не учтенные существующими формальными учениями.

Именно эта проблема стала (два века назад во Франции) объектом весьма значимых споров о будущем науки между приверженцами Монжа, Карно, Ампера, Араго и Френеля с одной стороны и учеными, которых представляли Лаплас, Коши и другие, с другой. К сожалению, Лапласу и его единомышленникам удалось достичь своей цели: заменить программу знаменитой Высшей Политехнической школы, в которой делался акцент на физическую геометрию, на программу, сосредоточенную на аналитической механике в ее самой абстрактной форме, включающую, в частности, *Небесную механику Ньютона - Лапласа*.

Политическое навязывание *Небесной механики* Лапласа в качестве «стандарта» для математической физики не имеет никакого отношения к ее научной ценности. Напротив, полная неспособность *Небесной механики* объяснить самое важное свойство нашей солнечной системы — квантование планетарных орбит по гармоническим принципам, открытое Кеплером два века назад, показывает, что система математической физики Ньютона – Лапласа ошибочна по своей сути и не соответствует реальности.

Нам удалось, используя модельные и теоретические результаты исследования аргументных процессов представить и рассмотреть квантование планетарных орбит в солнечной системе как астрономическое проявление того же принципа квантования амплитуд, экспериментально доказанного в лабораторных условиях с помощью маятника Дубошинского. Были вычислены значения планетарных орбит, исходя из предположения, что эти орбиты представляют собой форму аргументных колебаний [48, 49, 81].

4. Педагогический аспект

Представляется весьма важным педагогическое значение аргументного маятника для анализа ньютоновской концепции силы, которая посеяла глубоко укоренившиеся предубеждения не только в умах физиков, но и в целом в культуре: Ньютон, а позднее и Лагранж внесли в физику фундаментальное заблуждение по отношению к оригинальной и более правильной точке зрения Кеплера. Это заблуждение включает в себя по меньшей мере три концептуальных изъяна.

Во-первых, по сей день главенствующая концепция силы, восходящая к Ньютону, подразумевает идею строгого, «принудительного» подчинения систем внешней прилагаемой силе, которое в действительности не существует в природе. Вторая идея утверждает, что действующая сила не поддается влиянию системы, на которую она воздействует. Третий закон Ньютона о действии и противодействии недостаточен, чтобы исправить это заблуждение, поскольку он предполагает упрощенную форму силы направленного действия между двумя точками, которая не существует в реальности. Наконец, главная ошибка кроется в попытке разложить взаимодействие физических систем на сумму элементарных действий от точки к точке.

Из учений Кеплера и Лейбница, такие силы, как, например, гравитационная не существуют в виде изолированных явлений, как это упрощенно представлено в физике Ньютона. Эти силы являются лишь проявлениями единой геометрической физики Вселенной Кеплера. Когда мы поднимаем камень с поверхности Земли, мы оказываем воздействие на организацию всей солнечной системы, а не только на некое отдельно взятое элементарное поле гравитационной силы Земли.

Точно так же, идея внешней силы, которая может, по выражению Лейбница, служить «полезным предположением» для разрешения некоторых задач механики, не должна восприниматься, как нечто большее. «Внешняя сила» – это упрощенное представление того, что в действительности является взаимным действием физических систем друг на друга, проистекающим из того обстоятельства, что взаимодействующие системы не существуют как изолированные части, а представляют собой подсистемы Вселенной, которая является единым органическим целым.

Эти рассуждения приводятся для того, чтобы предостеречь читателя от возможной путаницы, связанной с «противоречивым» характером работ по исследованию аргументных взаимодействий. С одной стороны, мы используем инструменты классической механики для анализа аргументных колебаний, с другой стороны, полученные результаты по теоретическому и экспериментальному обоснованию квантования амплитуд в макрофизических системах предполагают радикальный уход от некоторых концепций, которые стали практически очевидными в академическом преподавании и практике физики.

5. Режимы работы аргументного маятника

Чтобы приблизиться к пониманию того, почему аргументный маятник ведет себя настолько отлично от того, чего можно было бы ожидать, основываясь на классических представлениях, необходимо различать два рабочих режима маятника, которые обладают различными геометрическими и физическими характеристиками.

Первый режим имеет место при малых амплитудах, когда маятник находится в зоне взаимодействия с электромагнитом; второй – при больших амплитудах, когда маятник движется вне зоны взаимодействия. Этот случай очень похож на то, что в учебниках называется «вынужденными колебаниями осциллятора под воздействием внешней периодической силы».

Представим себе, что маятник отпускают из почти вертикального положения в пределах зоны взаимодействия (см. Рис. 1). При почти однородном в этой зоне магнитном поле, ускоряющее или замедляющее действие электромагнита практически не зависит от положения маятника. При малых колебаниях маятник ведет себя почти как идеальный линейный осциллятор, реагирующий на внешнюю силу, создаваемую электромагнитом.

Стандартный классический анализ приводит к заключению, что, когда частота тока, питающего электромагнит, велика по сравнению с частотой колебаний маятника, результирующее воздействие переменного поля на движение маятника будет малым, а изменение амплитуды маятника будет незначительным по сравнению с тем, если бы электромагнит не был подключен к источнику питания. Именно такое поведение наблюдается в эксперименте: быстро сменяющиеся ускорение и замедление стремятся уравновеситься за период колебаний маятника.

Поведение маятника в таком режиме слабых колебаний хорошо подтверждает то, что говорится в учебниках. Значительная передача энергии переменного поля движению маятника происходит, только если частота электромагнитного поля близка к собственной частоте маятника. Это классический случай возбуждения резонансных колебаний осцилляторов. При этом, амплитуда маятника увеличивается одновременно с увеличением амплитуды внешней силы, которая пропорциональна напряжению переменного тока, и может принимать любое значение в непрерывном диапазоне значений. На макроскопическом уровне квантование амплитуд не происходит. В этой классической форме резонансные колебания осциллятора жестко «привязаны» к внешней силе.

Однако, поведение маятника становится более интересным, как только он обладает достаточной энергией, чтобы покинуть зону взаимодействия (второй режим). Вне этой зоны воздействие электромагнита на маятник резко уменьшается, и движение маятника становится практически свободным, невозмущенным.

Таким образом, при больших амплитудах колебаний маятника необходимо различать три зоны, через которые он проходит (Рис. 3): зона 1 взаимодействия и ближайшее к ней пространство, в котором переменное магнитное поле оказывает значительное воздействие на маятник; внешняя зона 2 слева от электромагнита; внешняя зона 3 справа от электромагнита. В двух последних зонах взаимодействие между магнитным полем и маятником ничтожно. Наличие этих трех зон подразумевает, в случае больших амплитуд, что внешняя сила, воздействующая на маятник, зависит от того, в какой зоне маятник находится в данный момент.

Такая трактовка принципиально меняет возможные формы и характер обмена энергией между маятником и переменным магнитным полем. Важнее всего, что эффект «нейтрализации» чередующихся ускорений и замедлений маятника переменным полем в зоне взаимодействия, прекращается, как только маятник покидает эту зону.

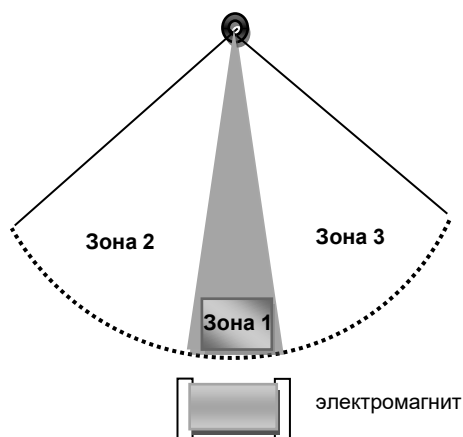


Рис. 3

Зона 1 – зона взаимодействия, зоны 2 и 3 – внешние зоны

Если переменное поле электромагнита совершает целое число циклов за время, когда маятник пересекает зону взаимодействия, то воздействие положительных и отрицательных полупериодов маятника нейтрализуются. Если же количество циклов, совершаемых полем, не является целым числом, то нейтрализации может не произойти, а произойдет результирующая передача энергии маятнику полем электромагнита.

Очевидно, что знак и интенсивность обмена энергией зависят от фаз переменного поля, создаваемого электромагнитом, в моменты, когда маятник входит в зону взаимодействия и выходит из нее. Например, если маятник входит в эту зону, когда магнитное поле начинает цикл колебаний, а покидает ее в середине последующего цикла, т.е. через нечетное количество полупериодов, то произойдет ненулевая результирующая передача энергии (Рис. 4).

Рассмотрим случай, когда направление движения маятника таково, что начальный полупериод поля производит ускоряющий эффект. В этом случае, поскольку общее количество замедляющих полупериодов на один меньше, чем

количество ускоряющих, после нейтрализации пар противоположных полупериодов результирующее воздействие будет эквивалентно результирующему воздействию первого полупериода. В этом случае маятник приобретет энергию и ускорится. Если маятник входит в поле в той же фазе тока, но в противоположном направлении движения, результирующим эффектом будет потеря энергии и его замедление.



Рис. 4

Представление процесса взаимодействия маятника с электромагнитом

Значение времени пребывания маятника в зоне взаимодействия между моментами входа и выхода зависит не только от скорости и направления входа в зону взаимодействия, но также и от фазы входа, поскольку время ее прохождения меняется в зависимости от изменения скорости, вызванного переменным полем электромагнита. Таким образом, количество энергии, полученной или потерянной за время прохода маятника через зону взаимодействия, есть сложная функция скорости и фазы входа.

Исследования показали [2 - 10], что для определенных скоростей входа маятника в зону взаимодействия всегда существуют фазы входа, обеспечивающие результирующий прирост энергии маятника, также как и фазы, при которых имеет место результирующая потеря энергии. Возможность прироста энергии означает, что маятник, в той мере, в какой он может «выбирать» нужные ему фазы входа в зону взаимодействия, способен извлекать ровно столько энергии из переменного поля электромагнита, сколько ему необходимо, чтобы компенсировать свои потери на трение, и тем самым поддерживать устойчивый режим колебаний.

Тем не менее, общее поведение маятника будет зависеть от кумулятивного эффекта нескольких прохождений через зону взаимодействия. Фазы входа в зону взаимодействия могут меняться от одного прохождения к другому. Любая попытка предсказать поведение маятника с точки зрения механики приведет нас в бесконечный лабиринт сложностей, типичный для того, что называют «нелинейными задачами». Не имея адекватных, общих теоретических принципов

решения таких задач, промышленная технологическая практика вынуждена прибегать, в каждом конкретном случае, к специальным комбинациям математических исследований, компьютерного моделирования и экспериментов, зачастую тратя на эти цели большие средства.

Так же и в рассматриваемом случае, единственный верный подход – реально сконструировать такой маятник и исследовать его поведение. Сочетание гипотезы, эксперимента и теоретического анализа позволило выявить некоторые ключевые характеристики процесса, связанные с возникновением дискретного ряда устойчивых квантованных амплитуд маятника. Эти характеристики, в действительности, свойственны гораздо более широкому классу колебательных систем [18, 21, 22, 24, 43, 48, 49, 56, 57, 61, 84 - 86, 89], объединяемых общим принципом «аргументных взаимодействий».

6. Скоростная модуляция

Рассмотрим мысленную модель, которая сыграла ключевую роль в открытии аргументного принципа взаимодействия механического классического маятника с внешней периодической силой.

Если предположить, что период маятника (при определенной амплитуде) несоизмерим с периодом переменного тока, подаваемого на электромагнит, то следует ожидать, что фаза поля в момент вхождения маятника в зону взаимодействия должна случайно, т.е., равномерно, распределяться между всеми возможными значениями фаз от 0 до 360 градусов. В таком случае, можно заключить, что конечный результат взаимодействия за большое число периодов маятника должен быть равен нулю. Действительно, для каждой данной фазы входа, обратная полярность поля (по отношению к направлению движения маятника) будет наступать одинаково часто, и, поскольку воздействующие на маятник силы, как функция времени, прямо противоположны соответствующим обратным полярностям, их воздействие будет в среднем нейтрализоваться.

Однако, в этом рассуждении не учитывается уже упоминавшийся ранее эффект изменений в результирующей скорости маятника и, следовательно, во времени, в течение которого маятник находится в зоне взаимодействия с электромагнитом. Как оказывается, этот эффект приносит поразительную асимметрию в процесс, что приводит к ситуации, когда маятник может извлекать полезную положительную энергию из электромагнита даже без строгого соответствия фаз.

Этот принцип показан на Рис. 5. Синусоидальная кривая иллюстрирует ускоряющее или замедляющее воздействие поля электромагнита относительно движения маятника; вертикальная линия слева и стрелки справа указывают моменты входа и выхода маятника из зоны взаимодействия. Очевидно, что результирующее изменение скорости маятника между моментами входа и выхода из зоны взаимодействия будет равно интегралу силы, воздействующей на него в этой зоне, т.е., общей площади, ограниченной кривой между

моментами входа и выхода (притом, что значения под осью x считаются негативными).

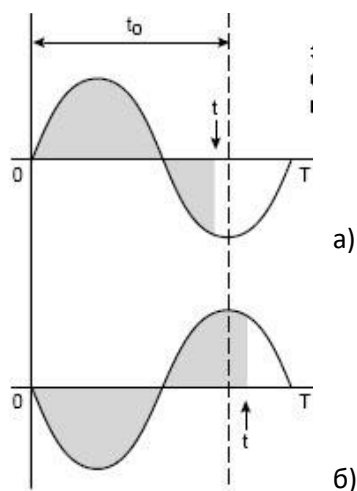


Рис. 5

Эффект вариации скорости для противоположных фаз
(стрелки указывают моменты выхода маятника из зоны взаимодействия).

Введем следующие обозначения: d - ширина зоны взаимодействия, V_0 - скорость маятника в момент входа в зону взаимодействия и T - период колебаний тока, питающего электромагнит. Таким образом, если бы питание электромагнита отключили, то маятник пересекал бы зону взаимодействия за время t_0 , равное d/V_0 .

Рассмотрим возможные соотношения между «временем прохождения» t и периодом поля электромагнита T . Очевидно, что, если t в точности равно полному периоду T источника питания электромагнита, то воздействие при положительной и отрицательной фазах поля будет уравниваться, и маятник покинет зону взаимодействия с той же скоростью V_0 , с какой он входил в зону.

Для бóльшей скорости V_0 (бóльшей амплитуды), мы будем иметь $t < T$. Предположим, для чисто иллюстративных целей, что $t_0 = \frac{3}{4}T$. Этот случай представлен на Рис. 5. На первом графике « а) » рассматривается условие, когда маятник входит в зону взаимодействия в самом начале ускоряющей фазы электромагнита. Поскольку маятник испытывает воздействие целой ускоряющей фазы и лишь части замедляющей фазы, то очевидно, что конечным результатом будет ускорение маятника. Это ускорение маятника приведет к тому, что реальное время его пребывания в зоне взаимодействия уменьшится. Аналогичное сравнение с воздействием поля для обратной фазы (см. график « б) » на Рис. 5) показывает, что маятник испытает результирующее замедление и его пребывание в зоне взаимодействия увеличится. Если же время взаимодействия было бы одинаковым в обоих случаях, то эти два воздействия были бы равны и противоположны друг другу. Заметим, однако, что в первом

случае а), в результате увеличения скорости маятника, «время прохода» t маятника уже не будет равно t_0 , но будет немного меньше, с последующим эффектом замедления движения маятника.

Во втором случае замедление также заставит маятник оставаться в зоне взаимодействия немногим больше времени t_0 . В результате, площади, ограниченные кривыми с момента входа до момента выхода из зоны взаимодействия, уже не будут равны и противоположны друг другу: результирующий ускоряющий эффект (т.е., результирующее увеличение кинетической энергии маятника) в случае а) будет больше, чем результирующий замедляющий эффект в случае б). Вместе взятые, они дадут чистый прирост энергии маятника.

Таким образом, имеет место отклонение реального времени взаимодействия t относительно t_0 или (в терминах теории систем с отклоняющимся аргументом) происходит запаздывание (см. Рис. 5, «а») или опережение (см. Рис. 5, «б»)) невозмущенного времени t_0 .

Что произойдет, когда маятник войдет в зону взаимодействия в другой фазе переменного тока, нежели чем в начале цикла? Анализ всех возможных случаев [8, 11, 87] показывает, что, хотя одни фазы порождают чистое ускорение, а другие – чистое замедление, эффект скоростной модуляции, усредненный за большое количество фаз, распределенных по случайному закону, приводит к общему результирующему приросту энергии маятника.

Эта ситуация была резюмирована в работах [8, 11] следующим образом: предположение о том, что колебания осциллятора, возбуждаемые гармонической силой, всегда принимают частоту этой силы или значение, кратное этой частоте, широко используется в теории и практике механических колебаний. Однако, инерционный и другие эффекты, зачастую не принимаемые во внимание, порождают временные сдвиги между движущей силой и динамическими функциями колебаний, и могут привести к асинхронному возбуждению незатухающих колебаний. Когда частота колебательной системы не соответствует частоте внешней периодической силы, результирующий позитивный вклад энергии (усредненный за некоторое количество колебаний) возможен, когда система изменяет время прохождения зоны взаимодействия довольно значительно.

В частности, эти результаты подразумевают, что колебательная система (в нашем случае маятник) может извлекать энергию из переменного поля гораздо более высокой частоты с тем, чтобы компенсировать свои потери на трение и даже увеличить амплитуду в ходе большого количества колебаний.

Подсчеты средней результирующей передачи энергии показали [93], что она может принимать поочередно и отрицательные, и положительные значения в зависимости от соотношения между номинальным временем t_0 прохождения зоны взаимодействия и периодом T переменного поля *электромагнита*.

Если, например, t_0 равно не $\frac{3}{4}T$, а $\frac{1}{4}T$, то можно легко убедиться, что средний эффект будет являться скорее преимущественной потерей энергии маятником,

чем вкладом энергии. Поскольку полные циклы поля в результате не оказывают никакого эффекта на скорость маятника, то значения $t_0 = \frac{1}{4}T + T, \frac{1}{4}T + 2T, \frac{1}{4}T + 3T$ и т. д., и $t_0 = \frac{3}{4}T + T, \frac{3}{4}T + 2T, \frac{3}{4}T + 3T$ и т. д., дадут тот же знак этого эффекта. Таким образом, будет иметь место общее результирующее замедление движения маятника в зоне взаимодействия с полем электромагнита при условии $t_0 = \frac{1}{4}T + nT$ или общее результирующее ускорение при $t_0 = \frac{3}{4}T + nT$ соответственно.

Эта разница в поведении, зависящая от времени прохождения маятником зоны взаимодействия, т.е., от скорости V_0 , которая, в свою очередь, является функцией амплитуды маятника, уже указывает на возможный механизм выбора, или квантования амплитуд: амплитуды, при которых энергия преимущественно теряется, будут уменьшаться, тогда как амплитуды, при которых из источника извлекается энергия, будут поддерживать сами себя.

Фазовая синхронизация

Подробные экспериментальные исследования аргументного маятника [2 – 12, 87] обнаружили еще одно ключевое явление, связанное с возникновением четко определенных, дискретных амплитуд и поразительной стабильностью квантованных режимов. После того, как маятник начинает движение с определенной амплитудой, фазы входа в зону взаимодействия перестают распределяться случайно. Маятник регулирует свое движение таким образом, что его вход в зону синхронизируется со специфической фазой переменного поля электромагнита. Эта «самосинхронизация» маятника аналогична эффекту «группирования по фазе» электронов или других заряженных частиц в высокочастотном электромагнитном поле в приборах СВЧ или ускорителях, о чем уже упоминалось выше. Анализ показывает [2 – 10, 87], что тенденция маятника к самосинхронизации сама по себе тесно связана с механизмом скоростной модуляции, который был рассмотрен выше. Теперь рассмотрим, как эта тенденция к синхронизации в свою очередь приводит к появлению дискретного ряда амплитуд у маятника.

Прежде всего, заметим, что за каждый полный период колебаний маятник проходит зону взаимодействия дважды – по одному разу в каждом направлении. Между двумя последовательными проходами маятник свободно движется во внешней зоне до максимальной высоты, а затем возвращается в зону взаимодействия в противоположном направлении. Этот процесс имеет определенную длительность между моментом, когда маятник выходит из зоны взаимодействия, и моментом, когда он в нее возвращается. Следовательно, фаза переменного поля в момент входа маятника в зону взаимодействия зависит от фазы в момент предыдущего выхода маятника из этой зоны и от длительности времени между этими двумя моментами.

Обратим также внимание на тот важный факт, что длительность между последовательными входом и выходом маятника из зоны взаимодействия, а также отношение между фазами последовательных входов зависят от амплитуды движения маятника. При движении с большими амплитудами

маятнику требуется больше времени, чтобы вернуться из своей крайней позиции в зону взаимодействия вблизи нижней точки своего движения. Это связано со свойством кругового маятника, которое обычно называют асинхронностью: период колебаний маятника непостоянный, но зависит от амплитуды колебательных движений маятника.

Зависимость длительности периода колебаний маятника от его амплитуды открывает для рассматриваемой системы новую возможность, которая отсутствует в классических колебательных системах: возможность использовать свою переменную амплитуду для регулирования соотношения фаз в зависимости от характеристик переменного поля.

Также важно отметить, что даже номинально линейный осциллятор, испытывающий воздействие скоростной модуляции со стороны пространственно неоднородного переменного поля, может приобрести асинхронные свойства, которые позволят ему регулировать соотношение фаз подобно аргументному маятнику.

Возвращаясь к маятнику, предположим, для конкретности, что частота переменного поля F равна 50 Гц, а собственная частота маятника (частота для очень малых его амплитуд) равна 0,5 Гц (период в 2 секунды).

На Рис. 6 представлена зависимость частоты маятника от его амплитуды.

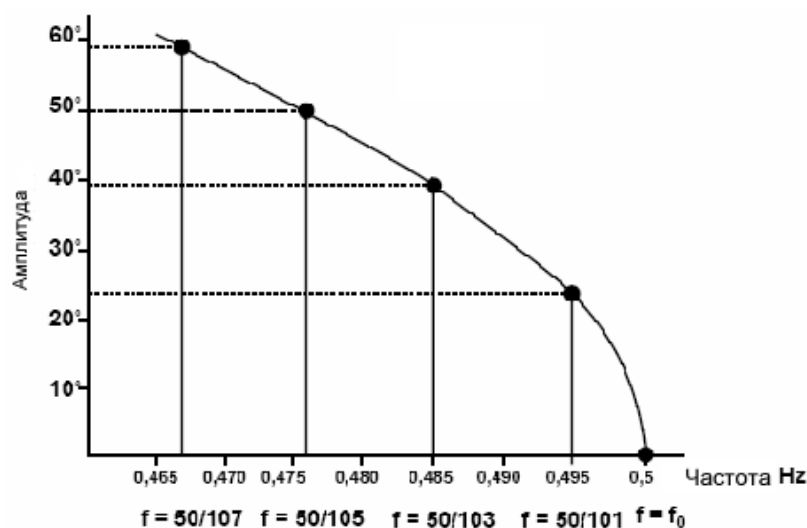


Рис. 6

Зависимость частоты кругового маятника от амплитуды.

Приближенная формула: $a \approx 162\sqrt{1 - (f / f_0)^2}$, где f – частота, f_0 – собственная частота маятника (для малых колебаний), которая в нашем примере равна 0.5 Гц

Обратим внимание, что для некоторых значений амплитуды частота переменного поля (50 Hz) является целым кратным частоты маятника – в тех случаях, когда переменное поле совершает целое число колебаний за один период маятника. В результате, фазы переменного поля, в которые маятник

входит в зону взаимодействия и выходит из нее, будут повторяться при каждом цикле движения маятника, что и делает возможным поддерживать «устойчивый» режим.

Первый пример этого явления имеет место при «ничтожно малых» колебаниях маятника с частотой $f = 0,5$ Гц. Соотношение частот составляет $F/f = 50/0,5 = 100$. В данном случае маятник остается в пределах зоны взаимодействия и ведет себя в основном так, как ему «полагается» по классической теории резонанса: поскольку частота внешней силы во много раз больше собственной частоты маятника, внешняя сила практически не оказывает воздействия на усредненные движения маятника, и квантования амплитуды не происходит.

При больших амплитудах период колебаний маятника немного увеличится, а его частота – уменьшится, что даст большее значение отношения F/f . Следующее целое значение после 100 достигается соотношением $F/f = 101$, которое имеет место, если частота маятника $f = 50/101$ Hz = приблизительно 0,495 Гц. На Рис. 6 этому значению соответствует угол отклонения от вертикали (амплитуда) в 23° .

В этом случае маятник выходит за пределы зоны взаимодействия; за каждый период маятник проходит зону дважды – по одному разу в каждом направлении. Время между моментом входа в зону в одном направлении и моментом входа в противоположном направлении соответствует полупериоду маятника, т.е., $101/2 = 50,5$ колебаний переменного поля электромагнита (Рис. 7). Таким образом, за время между двумя последовательными прохождениями зоны взаимодействия переменное поле осуществляет целое число циклов плюс один полупериод. Это значит, что маятник, возвращаясь в зону взаимодействия после некоторого перемещения, встретит переменное поле в фазе, сместившейся на 180° , т.е., в фазе, которая противоположна фазе его предшествующего перемещения. Поскольку маятник перемещается также и в обратном направлении, произойдет ускорение (или замедление) маятника настолько же, насколько и при предыдущем перемещении. Другими словами, прирост или потеря энергии маятника будут совершенно одинаковыми для двух последовательных прохождений маятником зоны взаимодействия.

Как отмечалось ранее [8], всегда существуют фазы входа в зону взаимодействия, для которых происходит результирующий прирост (или результирующая потеря) энергии маятника. Если трение маятника не очень велико, то имеет место фаза, для которой прирост энергии при его перемещении через зону взаимодействия полностью компенсирует потери на трение за один полупериод колебаний маятника. Если отпустить маятник с подходящей амплитуды (например, 23° , как было установлено выше) и в подходящий момент (так, чтобы он вошел в зону взаимодействия в соответствующую фазу), то он вернется в зону взаимодействия, совершив один полупериод в противоположном направлении и в противоположной фазе, компенсирует свою потерю энергии и снова вернется в зону в подходящей фазе, совершив еще один полупериод колебаний. Таким образом, будет иметь место «стационарный режим», при котором маятник поддерживает постоянную амплитуду и получает ровно столько энергии, сколько ему необходимо для компенсации потерь на трение.

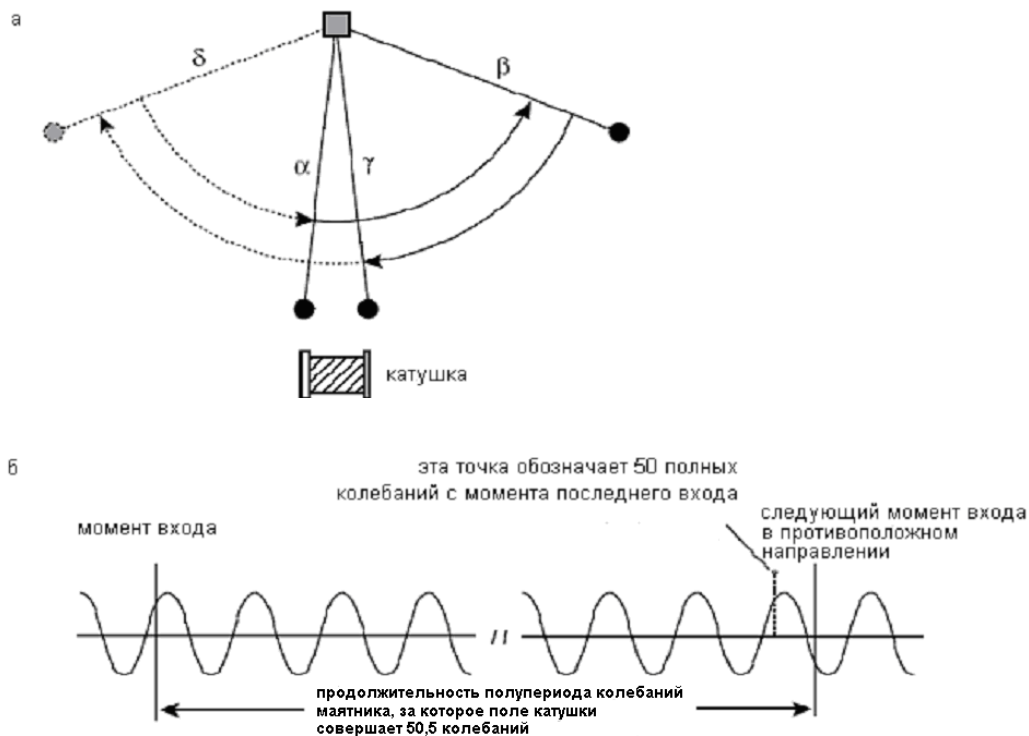


Рис. 7

а) Движение маятника в течение одного полупериода между двумя последовательными входами в зону взаимодействия. Маятник входит в зону в точке α , пересекает зону, достигает своего наибольшего отклонения β и входит в зону взаимодействия в противоположном направлении в точке γ . В следующем полупериоде маятник проделает путь из γ в δ и из δ в α .

б) Колебания синусоиды магнитного поля катушки между последовательными входами маятника в зону взаимодействия, где видно, что второй вход происходит в противоположную фазу (смещенную на 90° по отношению к первому входу).

Здесь необходимо обратить внимание на следующие факты.

Во-первых, выше проведенное исследование указывает на потенциальное существование не одного стационарного режима, а дискретного ряда устойчивых режимов. При этом, определяющим параметром является отношение частот переменного поля к частоте маятника, например, устойчивый режим возможен при соотношении частот $n = F/f = 101$. Однако, нетрудно заметить, что это возможно также, если соотношение частот n равно другим целым нечетным числам, например, 103, 105, 107 и т.д. Для частоты, например, $F=50$ Гц получаем следующие значения: $f = 504 / 103$ Гц = 0,485 Гц ; $f = 50 / 105$ Гц = 0,476 Гц ; $f = 50 / 107$ Гц = 0,467 Гц и т. д. Значения амплитуд маятника, соответствующие этим частотам, представлены на Рис. 6.

Во-вторых, в наших рассуждениях мы не учитывали незначительные изменения мгновенного изменения амплитуды и частоты маятника, вызванные взаимодействием с электромагнитом за один полупериод.

По этой и другим причинам, хотя приведенное выше исследование и свидетельствует о возможности существования множества устойчивых режимов, оно ни в коем случае не доказывает, что последние могут быть получены на практике. Например, как маятник «находит» «подходящие» амплитуды и фазы? Экспериментально маятник доказывает наличие у него такого свойства, но исчерпывающее теоретическое объяснение этому явлению было дано значительно позже [38, 87, 93].

Саморегулирование

Фактически, амплитуды, теоретически вычисленные выше, достаточно близки к «квантованным амплитудам», которые действительно наблюдаются в маятнике Дубошинского (таблица 2).

Таблица 2

Сравнение экспериментальных стационарных амплитуд и амплитуд, рассчитанных на основе математического анализа стационарных режимов, для $F = 50$ Гц.

Соотношение F/f	101	103	105	107	109	111
Экспериментальная амплитуда	30°	43,2°	53,2°	59,9°	68°	74,2°
Расчетная амплитуда	22,8°	39,1°	50°	58,6°	65,9°	72,1°

Самые большие расхождения, вызванные, главным образом, трением и изменениями скорости в зоне взаимодействия, обнаруживаются в случае самой малой наблюдаемой амплитуды, угол которой составляет 30° вместо 23°.

С другой стороны, квантованные движения, реально наблюдаемые в маятнике Дубошинского, не точно соответствуют вышеописанным идеальным стационарным движениям, а являются более сложными. Они лишь в среднем соответствуют идеальным движениям. Происходит примерно следующее: действительные фазы входа в зону взаимодействия колеблются около значений, соответствующих «чистым» стационарным движениям.

Эти явления, наблюдаемые экспериментально, наилучшим образом представлены диаграммой «фазовой плоскости» (Рис.8).

При возмущении системы ее траектория фазовой плоскости начинает «двигаться по орбите» вокруг движения, соответствующего стационарному режиму. Если возбуждение незначительно, то эта «орбита» постепенно уменьшается, и траектория фазовой плоскости системы становится спиралью, которая сходится к небольшому движению, колеблющемуся в окрестностях стационарного режима. Однако, сильное возмущение может «отбросить» маятник в совершенно иную область фазовой плоскости. В некоторых случаях маятник может совершать «квантовый скачок» к другой квантованной амплитуде.

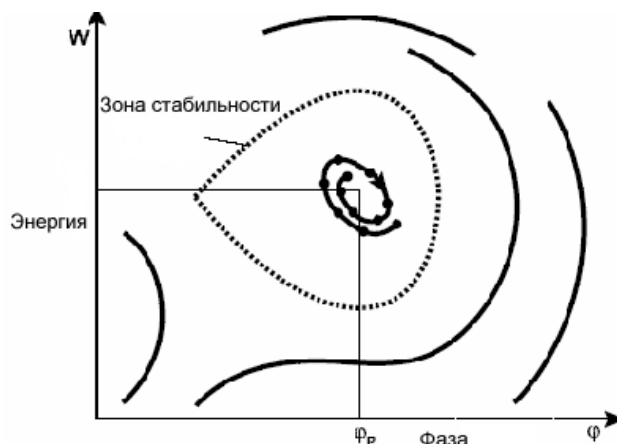


Рис. 8

Траектория маятника в фазовой плоскости. φ_p – фаза, соответствующая «стационарному режиму».

В действительности, в зависимости от исходных условий возможно гораздо более сложное поведение, например движение, которое спонтанно «скачет» туда и обратно между квантованными амплитудами, имитируя поведение некоторых атомных систем квантовой физики. Тем не менее, стационарные квантованные амплитуды являются «основными» режимами маятника Дубошинского, и их гораздо легче продемонстрировать.

Наконец, отметим, что теоретический анализ устойчивых колебаний, главным образом, основан на двух свойствах маятника : а) его асинхронности, которая позволяет системе удовлетворять условию «соотношение $F/f =$ целое нечетное число», регулируя значение частоты f , и б) наличии диссипативных потерь энергии на трение, которые определяют устойчивость квазисобственных режимов. Тем не менее, реальные эксперименты показали, что квантование амплитуд происходит даже при отсутствии этих условий – физический факт, который математические методы не объясняют. И здесь мы снова сталкиваемся с очевидностью нового физического принципа.

Свойства стабильности

Экспериментально было установлено [2 – 10, 87, 93, 100], что квантованные режимы маятника Дубошинского и других, специальным образом сконструированных аргументных осцилляторов демонстрируют исключительную стабильность по отношению как к большим колебаниям движущей силы (т.е., силы тока в электромагните), так и к различным внешним возмущениям. Обе эти характеристики являются ключевыми для технологического применения аргументных колебаний.

В экспериментах с аргументным маятником напряжение, подаваемое на электромагнит, варьировалось в широком диапазоне, начиная с некоторого минимального значения, когда начинали появляться устойчивые квантованные колебания, и до значения, в 20 раз превышающего начальное. Частоты квантованных режимов были строго постоянны, а амплитуды варьировались менее чем на 1 процент.

Выполненные многочисленные экспериментальные исследования позволили раскрыть механизм этой необычной «приспособляемости» маятника, которая применима к аргументным колебаниям в целом: благодаря «сдвигу» фазы входа в зону взаимодействия, в то время как частота и амплитуда относительно постоянны, маятник способен поддерживать свой «режим», компенсируя изменения внешней силы посредством регулирования режима взаимодействия с электромагнитом. Эта же способность маятника «различать» фазы позволяет ему сохранять его квантованные режимы – разумеется, в определенных пределах – в условиях различных внешних возмущений.

Одна из основных характеристик аргументных взаимодействий между высокочастотным источником и низкочастотным осциллятором состоит в том, что осциллятор «приспосабливается» к источнику, в основном, посредством изменений фазы, тогда как его фактический период колебаний остается близким к собственному периоду.

В этом контексте, как показали многочисленные исследования с различными механическими, электромеханическими и электронными устройствами, диапазон частот, которые могут эффективно взаимодействовать друг с другом таким способом, может быть огромным : например, маятник Дубошинского, чья «собственная» частота составляет $\sim 0,5$ Hz, может поддерживать свои устойчивые колебания примерно той же (собственной) частоты, извлекая энергию из источника (электромагнита), питаемого источником энергии с частотой 1000 Hz и более. В других устройствах соотношение частот может быть даже гораздо бóльшим. Как отмечалось выше, диапазон устойчивых дискретных режимов осциллятора является функцией частоты силы, с которой он взаимодействует, и становится тем богаче (шире), чем больше соотношение между внешней частотой и «собственной» частотой осциллятора.

Эти свойства делают возможным «питание» одним высокочастотным источником большого количества колебательных систем с различными собственными частотами.

Аргументные колебания и квант действия Планка

Как уже отмечалось выше, маятник Дубошинского – лишь удобный педагогический пример широкого класса колебательных систем [18 - 24, 43, 48, 49, 56, 57, 61, 84 - 86, 89, 100 - 122], в которых «внешняя сила» зависит не только от времени, но и от положения (или конфигурации) системы в определенный момент. Более естественным с точки зрения теоретической физики, но гораздо более сложным для реализации в простой механической модели является пространственно растяжимый осциллятор (в данном случае в виде тела, зафиксированного на пружине), взаимодействующий с электромагнитным полем высокой частоты (рис. 9).

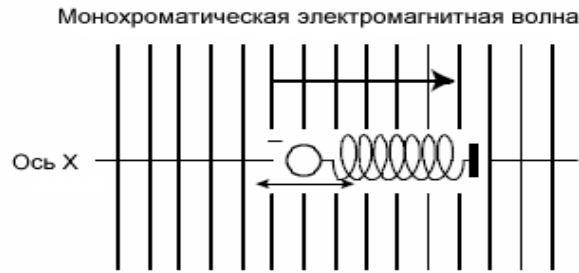


Рис. 9

Схема аргументного осциллятора Планка.

Дифференциальное уравнение согласно классической физике :

$$\ddot{\varphi} + \beta\dot{\varphi} + \omega_0^2 \sin \varphi = A \sin(\nu t - kx), \text{ где } k - \text{ волновое число.}$$

Не считая одного важного отличия, этот осциллятор очень похож на модель «элементарных осцилляторов», использованных Планком в его исследованиях излучения абсолютно черного тела. Излучение абсолютно черного тела гипотетически понималось как равновесное поле излучения, возникающее в результате испускания и поглощения электромагнитного излучения большим количеством атомов или молекул в полости с отражающими стенками. Рассматривая атомы в первом приближении как множество «элементарных электромагнитных осцилляторов», Планк противопоставил гипотетическое спектральное распределение излучения черного тела как функцию температуры, вычисленную на основании общепринятых «законов электродинамики» Максвелла, совершенно отличным спектральным характеристикам, наблюдавшимся экспериментально. Чтобы объяснить это расхождение, Планк выдвинул гипотезу о новом физическом принципе – «элементарном кванте действия», который управляет взаимодействием между осцилляторами и полем излучения, противореча положениям физики Ньютона - Максвелла. Универсальный характер гипотезы Планка о кванте был впоследствии подтвержден множеством экспериментов.

Однако, гипотетический «элементарный осциллятор», от которого отталкивался Планк в своем первоначальном анализе, был, по сути дела, аналогичен осциллятору, который соответствовал классическому случаю «вынужденных колебаний». В частности, пространственное положение осциллятора не принимается во внимание при описании его взаимодействия с полем излучения.

Что произойдет, если отбросить это произвольное допущение и предположить, что амплитуда осциллирующего тела не меньше длины волны поля? В этом случае, во время движения тело будет подвергаться воздействию поля в разных положениях и в разное время. Таким образом, перед нами колебания несколько иного типа, чем у маятника Дубошинского, но которые, согласно аргументному принципу, также будут обладать серией «квантованных» амплитуд. Значения этих амплитуд могут быть вычислены на основе разработанных нами методов [6, 15, 21, 24,45, 93].

Важно еще раз отметить, что аргументный принцип возбуждения колебаний [6, 15, 45, 87]. не зависит явно от кванта действия Планка, как и не предполагает, что рассматриваемая система является системой микроскопического масштаба.

Выполненные экспериментальные исследования [15, 21, 93] с макроскопическими колебательными системами, имитирующими исследуемую идеализированную систему, демонстрируют квантованные амплитуды, значения которых очень близки к значениям, рассчитанным с помощью разработанных нами теоретических методов. Это наводит на мысль, что открытие аргументных колебаний и макрофизического квантового эффекта (МКЭ) отражает более общий принцип, нежели квант действия Планка в его сегодняшнем понимании, принцип, который включил бы в себя микроскопический квант действия, макроскопическое квантование, продемонстрированное маятником Дубошинского, и квантование в астрономических системах, включающих не только планетарные орбиты, но и такие явления, как ветви спиральных галактик и скорости вращения различных астрономических объектов [48, 49]. В действительности, предпосылки такого общего принципа уже содержались в трудах Иоганна Кеплера. Это открывает большое поле для будущих исследований.

Необходимо подчеркнуть фундаментальное отличие между подходом, приведшим к открытию аргументных колебаний и МКЭ, и подходом многих математиков и физиков, которые годами пытались вывести «квантование» микроскопических систем из классической механики, более или менее произвольно вводя «нелинейные» элементы в уравнения движения. Как уже отмечалось выше, аргументное квантование амплитуд и МКЭ – это экспериментально подтвержденное открытие физического явления, которое не может быть выведено математическим путем из классической механики. Кроме того, авторы открытия МКЭ не претендовали на то, что законы излучения абсолютно черного тела или законы квантовой механики могут быть выведены из аргументного принципа; было лишь обращено внимание на поразительную аналогию между микроскопическим квантом и свойствами «аргументных колебаний» на макроскопическом уровне.

Математическое моделирование

В соответствии с результатами экспериментальных исследований, при математическом моделировании необходимо было учесть следующие важные условия:

- осциллятор (например, маятник) осуществляет собственные (или квазисобственные) колебания при взаимодействии с пространственно неоднородной силой,
- квазипериодические движения осциллятора сопровождаются (или, точнее, обеспечиваются) варьированием его амплитуды и фазы взаимодействия, приспособляясь к полю,
- периодическое движение осциллятора через пространственно неоднородное поле «модулирует» временную функцию внешней силы, которая воздействует на осциллятор таким образом, что возникает множество частот,

спектр которых «разделен» целым кратным основной частоты самого осциллятора (см. Рис.10). Если внешняя частота равна целому кратному невозмущенной частоты осциллятора, то эта «собственная» частота будет фигурировать среди составляющих спектра. В результате, маятник может привести себя в резонанс с «сигналом» [95], генерируемым его собственной пространственно-временной модуляцией внешнего поля, тем самым извлекая из него энергию, необходимую для поддержания устойчивого режима колебаний.

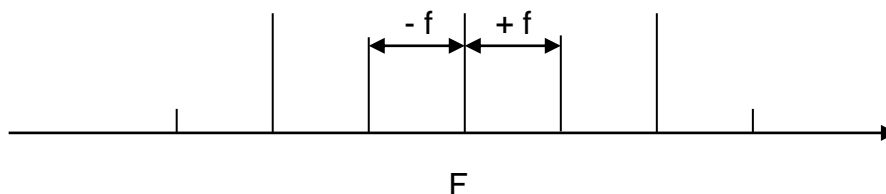


Рис. 10

Спектр частот автогенерируемых магнитным полем при движении маятника в зоне взаимодействия. Спектральные составляющие представлены частотами, которые в первом приближении могут быть определены из соотношения $F \pm nf$, где $n = 1, 2, 3, \dots$.

В общем виде уравнение движения осциллятора, соответствующее выше перечисленным условиям, может быть представлено в виде

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x + f(x) = \Phi(x, t), \quad (1)$$

где: x - обобщенная координата; β - коэффициент, характеризующий диссипативные потери энергии осциллятора; ω_0 - собственная частота малых колебаний осциллятора (т.е., когда $\Phi(x, t) = 0$); $f(x)$ - функция, характеризующая нелинейность колебательной системы; $\Phi(x, t)$ - внешняя воздействующая периодическая сила, нелинейная по координате x .

Рассматриваются два основных вида взаимодействия между периодической силой и колебательной системой.

Первый вид взаимодействия соответствует случаю, когда периодическая сила может быть задана, например, в виде

$$\Phi(x, t) = A\varepsilon(x) \sin(\Omega t + \varphi), \quad (2)$$

где: A и Ω - соответственно амплитуда и частота воздействующей силы,

$\varepsilon(x)$ - функция, характеризующая нелинейность силы по координате x ,

φ - фазовый угол.

В этом случае основное дифференциальное уравнение (1) примет вид:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x + f(x) = \Phi(x, t) = A\varepsilon(x) \sin(\Omega t + \varphi). \quad (3)$$

В этом случае уравнением (3) описываются колебания нелинейного осциллятора.

Функция $\varepsilon(x)$ задается соотношением

$$\varepsilon(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } |x| \leq x_0 \\ 0, & \text{если } |x| > x_0. \end{cases} \quad (4)$$

Подробная процедура исследования уравнения (3) при условии (4) представлена в работах [2, 6, 15, 21, 24, 38].

Другие формы представления функции $\varepsilon(x)$ были рассмотрены в работах [21, 38, 87].

Теоретические исследования подтвердили, что независимо от форм представления функции $\varepsilon(x)$, полученные решения уравнения (3) содержат дискретный ряд устойчивых амплитуд на частотах, близких к собственной частоте осциллятора. Теоретические значения полученных частот и амплитуд находятся в хорошем согласии с данными экспериментальных исследований.

Предложенная нами методика расчета квантованных дискретных амплитуд, которая подробно представлена в работах [45, 93], была подтверждена другими исследователями (см., например, работы [108 - 121]).

Второй вид взаимодействия соответствует случаю, когда периодическая сила представляет собой бегущую волну, например

$$\Phi(x, t) = A \sin(\Omega t + \phi - kx), \quad (5)$$

где: A - амплитуда, Ω - частота, k - волновой вектор ($k = 2\pi/\lambda$) и λ - длина волны, ϕ - фазовый угол.

В этом случае основное дифференциальное уравнение (1) примет вид:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x + f(x) = \Phi(x, t) = A \sin(\Omega t + \phi - kx), \quad (6)$$

В работах [21, 24, 87] рассмотрен случай, когда дифференциальное уравнение (6) описывает взаимодействие электромагнитной волны со слабо диссипативным нелинейным осциллятором: электрический заряд q массы m колеблется вдоль оси x под действием нелинейной возвращающей силы около некоторой неподвижной точки. Электромагнитная волна распространяется в направлении оси x и имеет продольную составляющую электрического поля E . Тогда, уравнение движения осциллятора, взаимодействующего с волной, может быть представлено в виде:

$$m(\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x + f(x)) = \Phi(x, t) = Eq \sin(\Omega t + \phi - kx), \quad (7)$$

которое преобразуется в (6), если обе части уравнения разделить на m , где β - коэффициент затухания осциллятора, ω_0 - собственная частота малых колебаний заряда, $A = Eq / m$. Рассматривался случай, когда $\Omega > \omega_0$ и

$$\omega_0^2 x + f(x) = \omega_0^2 \sin x.$$

Были получены следующие результаты.

Устойчивые периодические движения осциллятора реализуются на собственной или близкой к ней частоте с амплитудами a_i ($i = 1, 2, 3, \dots$), которые соответствуют экстремумам (аргументам z) функции Бесселя первого рода и в предположении $N = \Omega / \omega_0$ ($N = 1, 2, 3, \dots$) определяются из соотношения

$$z = ka_i = j_{N,i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots)$$

где $j_{N,i}$ - i -ый экстремум функции Бесселя $J_N(Z)$ первого рода.

Исследования показали, что решения обобщенной задачи (6) не зависят от изменения в широких пределах коэффициента β , характеризующего диссипативные свойства осциллятора, и амплитуды A внешней силы. Численные исследования на ЭВМ подтвердили [93], что один и тот же дискретный ряд $i (i = 1, 2, 3, \dots)$ устойчивых амплитуд a_i осциллятора реализуется и тогда, когда β принимает любые положительные или отрицательные значения, или равно нулю.

Таким образом, полученные результаты теоретических и численных (на ЭВМ) исследований позволяют сделать следующие основные выводы. Непрерывная монохроматическая волна произвольной фиксированной частоты в процессе аргументного взаимодействия с осциллятором может поддерживать его собственные устойчивые режимы с дискретным рядом квантованных амплитуд. Каждый из указанных выше режимов характеризуется тем, что энергия волны поглощается осциллятором определенными порциями, компенсирующими его диссипативные потери энергии за каждый период или полупериод колебаний. Устойчивый режим обмена энергией между осциллятором и внешним волновым воздействием обеспечивается механизмом саморегулирования. Этот механизм обмена энергией включает следующие основные составляющие:

- частотно-фазовое и амплитудное модулирование осциллятором монохроматической волны и селектирование составляющей спектра частот волны (порожденного этой модуляцией), близкой к его собственной частоте, которые зависят от начальных условий,
- автоматическое поддержание на неизменном, в среднем, уровне поглощаемой осциллятором (за каждый период его колебаний) порции энергии путем варьирования фаз, характеризующих начальные моменты его взаимодействия с волной.

Основные особенности механизма аргументных взаимодействий для случая внешнего периодического воздействия, представленного волной, практически полностью аналогичны тем, что нами были рассмотрены выше для случая взаимодействия осциллятора с «сосредоточенной» гармонической силой.

Заключение

Полученные результаты выполненных нами исследований позволяют сформулировать следующие основные положения:

- практическая реализация аргументного принципа взаимодействия открывает надежно обоснованные возможности для совершенно нового подхода к проблемам, которые связаны с изучением возможных механизмов функционирования и структуризации объектов колебательной природы;
- эти объекты представляют собой осцилляторы (различного уровня сложности и агрегации), способные вступать в резонансные взаимодействия с другими объектами, частоты которых могут быть как близки между собой, так и отличаться в большое число раз. Можно сказать, что такие объекты формируют «новую резонансную Вселенную», способную функционировать в режиме самоадаптации и «социального» саморегулирования [82, 83, 92 - 100];

- рассмотренные эвристические и физические модели и условия аргументного взаимодействия объектов колебательной природы (осцилляторов) позволили сформулировать основное уравнение, описывающее эти процессы. В отличие от известных классических уравнений (Ван-дер-Поля, Дуффинга, Лагранжа, Мейснера, Матье, Релея, Хилла, Эйлера и др.) уравнение аргументных колебаний содержит в явном виде элементы, потенциально способные «запустить» (при определенных начальных условиях) механизм взаимодействия осциллятора с внешним периодическим воздействием. Этот механизм характеризуется саморегулированием процесса энергообеспечения осциллятором квази-собственных резонансных колебаний с дискретным рядом устойчивых «квантованных» амплитуд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. О расширении возможностей моделирующих систем в биофизике. Материалы 2-го Международного Симпозиума «Колебательные процессы в биологических и химических системах». Пуцзино на Оке, 1969.
2. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. и др. Колебания с саморегулируемым временем взаимодействия. ДАН СССР, Т. 24, 1972 [Sov. Phys. Doklady 17, 541 (1972). USA] http://ufn.ru/ufn73/ufn73_2/Russian/r732j.pdf
3. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б., Галкин Ю.В. Аргументные колебанияб. Ученые записки ВГПИ, Серия «Физика», Владими[р, 1972. Т. 40, Вып. 6, стр. 50 - 57.
4. Дубошинский Д.Б. Аргументные автоколебания. Ученые записки ВГПИ, Серия «Физика», Владимир, 1972. Т. 40, Вып. 6, стр. 71 - 74.
5. Дубошинский Д.Б. и др. Влияние изменения времени взаимодействия в переменных полях. Ученые записки ВГПИ, Серия «Физика», Владимир, 1972. Т. 40, Вып. 6, стр. 81 - 84.
6. Дубошинский Д.Б. и др. Возбуждение незатухающих асинхронных колебаний. Успехи Физических Наук. Т. 109, Вып. 402.1973 [Sov. Phys. Usp. 16, 158 (1973). USA].
7. Doubochinski D.B., Penner D.I., Doubochinskyi J.B. Über die Erzeugung mechanischer asynchroner Schwingungen. Experimentelle Technik der Physik, XXI, 5, Berlin, 1973. S.74.
8. Дубошинский Д.Б. Об одной модели механизма ускорения Ферми в одномерном случае. Сборник «Некоторые вопросы возбуждения незатухающих колебаний». ВГПИ, Владимир 1974..
9. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. Новые явления в области физики колебаний – Квантовый макрофизический эффект, Группирование осцилляторов в устойчивые формирования и др. Выступление на Общественном Физическом Семинаре Академика П.Л. Капицы. Январь 1974.
10. Дубошинский Д.Б. и др. Возбуждение асинхронных незатухающих колебаний в системе с одной степенью свободы. Сборник «Вопросы возбуждения незатухающих колебаний» Владимир, 1974. Стр. 55 – 59.
11. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б., Ашкеназе С.И. Введение в физику аргументных колебаний. Сборник «Вопросы возбуждения незатухающих колебаний», № 2. Владимир, 1974. Стр. 53 – 37.
12. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. Аргументные колебания – радиофизический аспект. Сборник «Вопросы возбуждения незатухающих колебаний», № 2. Владимир, 1974. Стр. 38 – 44.
13. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. и др. Аргументный мотор с множеством скоростей. Сборник «Вопросы возбуждения незатухающих колебаний», № 2. Владимир, 1974. Стр. 60 – 69.
14. Дубошинский Д.Б. и др. Численный анализ на ЭВМ режимов работы аргументного двигателя. Сборник «Вопросы возбуждения незатухающих колебаний», № 2. Владимир, 1974. Стр. 70 – 80.
15. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б., Пеннер Д.И. Аргументные колебания. Известия АН СССР- Механика твердого тела, № 1, 1975, с. 18 [Sov Phys. Isv. 7, 54(1975). USA].

16. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Ashkenaze S.I. Sens physique de la déviation de l'argument pour certains systèmes à un degré de liberté. Compte-rendu de la IVeme Conférence internationale sur la théorie et les applications des équations différentielles à argument variable. Kiev. URSS, 1975. pp. 44-46
17. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B. et al. Questions d'interactions non-linéaires. Comptes-rendus du I Symposium international sur la spectroscopie acousto-optique. Tachkent, URSS, 1975. pp. 44
18. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B. et al. A propos du caractère des interactions ondulaires. Revue "Izvestia AN Ouzbekskoi SSR". 1976. Série des sciences physico-mathématiques. No. 4, pp.39-44.
19. Doubochinski D.B., Doubochinsky J.B. et al. Quantification des amplitudes et de l'énergie absorbée par les systèmes oscillatoires macroscopiques sous l'action de la force périodique. Comptes rendus de la Xeme Conférence Internationale sur l'acoustique électronique. Tachkent, URSS, 1978.
20. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B. et al. A propos d'un principe d'intensification des processus mécano-chimiques. Comptes-rendus du VII Symposium International sur l'émission mécanique et la chimie mécanique des solides. Tachkent, URSS, 1979.
21. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б., Шабанский В.П. О дискретных стационарных колебаниях системы в поле неоднородной высокочастотной силы. ЖТФ, 49, 6, 1160, 1979. [Sov. Phys.-Tech. Phys. 24, 642(1979). USA].
22. Дубошинский Д.Б., Турсунов Ш.С. Возбуждение аргументных колебаний в электрических системах. Межвузовский сборник научных трудов „Радиопомехи КНЧ диапазона и их природа“. Владимир, 1980. Стр. 59 - 64.
23. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. и др. Аргументный маятник. Всесоюзный Сборник «Физика в школе». 1981, N3, стр.14 - 20.
24. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. О возбуждении волной колебаний осциллятора с дискретным рядом устойчивых амплитуд. ДАН СССР, 1982, т. 265, N°3, стр. 605 – 607; [Sov. Phys. Doklady 46, 149 (1982). USA].
25. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N. Absorption par l'oscillateur d'une portion d'énergie en interaction avec l'onde électromagnétique. Comptes-rendus de l'Académie Bulgare des Sciences, 1984, Vol. 37, No. 6, pp. 745 - 747.
26. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N. Amorçage argumentaire des oscillations entretenues. Comptes-rendus de l'Académie bulgare des Sciences, 1984, Vol. 37, No. 5, pp. 586.
27. Doubochinski D.B., Doubochinsk J.B., Damgov V.N. Interaction argumentaire des forces avec des systèmes oscillatoires. Recueil "Comptes rendus de la Xeme Conférence Internationale sur les oscillations non-linéaires", Varna, Bulgarie, 1984.
28. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N. Amorçage des oscillations argumentaires. Travaux du 5ème Symposium international sur la théorie des chaînes. Sarajevo, Yougoslavie, 4-7 septembre 1984, pp. 130-134.
29. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N. Argumentaire Excitation of Continuous Oscillations. 27-th Midwest Symposium on Circuits and Systems Morgan Town, USA. June 1984.
30. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N. Phénomène d'attraction des fréquences, différent de l'entraînement et de la synchronisation de la fréquence. Comptes-rendus de la XI Session scientifique consacrée à la Journée de la Radio. Editions "Radio et communication", URSS, 1985, p. 119.
31. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N., Amorçage des oscillations entretenues avec la série discrète des amplitudes stables. Comptes-rendus de l'Académie Bulgare des Sciences. Tome 39, No. 9, 1986.
32. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N., Amorçage des mouvements oscillatoires stationnaires par la force périodique non linéaire en coordonnée. Comptes-rendus de l'Académie Bulgare des Sciences. Tome 39, No. 10, 1986, pp. 63 - 65.
33. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N. Générateur d'énergie électronique micro-ondulaire submillimétrique. Travaux de la 17ème Conférence internationale sur les micro-ondes. Budapest, Hongrie, 25-29 août 1986, pp. 363-364.
34. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N. Energetics of the excitation of stable oscillations by a coordinate-nonlinear periodic force. Comptes-rendus de l'Académie Bulgare des Sciences, Vol. 40, No. 4, 1987, pp. 57 - 60. The ADS is Operated by the Smithsonian Astrophysical Observatory under NASA Grant NNX09AB39G. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1987BIDok..40..57D>

35. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N. Phénomène d'attraction des fréquences, différent de l'entraînement. Comptes-rendus de l'Académie Bulgare des Sciences, Tome 40, No. 5, 1987.
36. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B., Damgov V.N. Maintien adapté de l'orthogonalité de coordonnées. Travaux de la Conférence internationale sur les oscillations non-linéaires. Budapest, Hongrie, 1987, pp. 30-31
37. Doubochinski D.B. Effet macrophysique quantique. Le Discours lors de la Conférence, E.D.F., Centre de recherches, Clamart, France, 8 Juin 1989.
38. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B. Amorçage argumentaire d'oscillations entretenues avec série discrète d'amplitudes stables. E.D.F.- BULLETIN de la direction des études et recherches - Série C, N°1, France. 1991.
39. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. и др. Способ возбуждения электрических сигналов. Авт.свид. СССР № 390654, 1973.
40. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. и др. Стабилизатор переменного напряжения. Авторское свид. СССР № 807249, 1981.
41. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. и др. Преобразователь частоты. Авторское свид. СССР № 1140219, 1985.
42. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б. и др. Реактивный электродвигатель. Авторское свид. СССР № 1138897, 1985.
43. Дубошинский Д.Б., Дубошинский Я.Б., Дамгов В.Н. Микроволновый генератор. Авторское свид. Болгарии № 80259, 1988.
44. Doubochinski D.B. Nouveaux mécanismes de transfert d'énergie. Conférence en Centre National d'étude spatial, Siège Générale, France. 12 Septembre 1991.
45. Doubochinsky D.B., Doubochinsky J.B. Amorçage argumentaire d'oscillations entretenues avec série discrète d'amplitudes stables. E.D.F.- BULLETIN de la direction des études et recherches - Série C, N°1, France. 1991.
46. Doubochinski D.B. Applications pratiques des nouveaux mécanismes de transfert d'énergie. Conférence en Centre National d'étude spatial, Unité Technique de base – Toulouse, France. 19 Décembre 1991
47. Doubochinski D.B., Doubochinski J.B. Quelques systèmes oscillatoires mal connus. Monographie. Moscou, Russie, 1991 - 1992 (Première Partie).
48. Doubochinski D.B., Damgov V.N. On the wave nature and dynamical quantization (in the large) of the solar system planet and satellite arrangement. NASA ADS Astronomy Abstract Service. Report (ISSN 0861-1459), vol. 45, no. 2, 1992, p. 27-30.
49. Doubochinski D.B., Damgov V.N. The wave nature and dynamical quantization of the solar system. NASA ADS Astronomy Abstract Service. Earth, Moon, and Planets (ISSN 0167-9295), vol. 56, no. 3, March 1992, p. 233-242.
50. Doubochinski D.B., Process for producing an inverse parametric effect. Organisation mondiale de la propriété intellectuelle. Bureau international. Numéro de publication internationale : WO 93/11598, Juin 1993.
51. Doubochinski D.B. Effet quantique macroscopique. Conférence – séminaire a l'Ecole National Supérieure d'Arts et Métiers. Septembre 1993.
52. Doubochinski D.B. Conversion asynchrone d'énergie électrique. Industries et Techniques N°753, Paris, France. Octobre 1994
53. Doubochinski D.B. Les Applications des nouveaux procédés de transfert d'énergie dans le domaine pétrolier. Conférence dans Centre de recherches ELF à Salaise. France. Octobre 1996.
54. Doubochinski D.B. Nouveau procédé d'accélération électrique des masses importante : application de l'Effet quantique macroscopique. Conférence en Centre de recherches de la Compagnie AEROSPATIAL – Missiles. France, 24 Mai 1997.
55. Doubochinski D.B. Les phénomènes quantiques macroscopiques. Conférence à l'Ecole nationale des ponts et chaussées, 7 mai 1998.
56. Doubochinski D.B. Method and device for preparing an emulsion from immiscible constituents. Organisation mondiale de la propriété intellectuelle. Bureau international. Numéro de publication internationale : WO 99/08783, 25 Février 1999.
57. Doubochinski D.B. Method and vibrating device for conditioning, air- conditioning, cooling and decontaminating, disinfecting and sterilizing physical media. Numéro de publication internationale : WO 01/41817 A2, 14 Juin 2001.

58. Doubochinski D. Moteur électrique linéaire pour accélération des satellites pendant leurs lancements. Le Conférence lors du CNES (Centre national d'études spatial). Paris le 07 Novembre 2001. Paris – France.
59. Doubochinski D. Les applications d'un nouveau phénomène de la conversion d'énergie dans les domaines de refroidissement et de séparation des milieux physiques. Le Conférence lors de la Commission européenne le 05 Février 2001. Bruxelles – Belgique.
60. Doubochinski D., Peyrot J.-P. Equipements de soudage par arc électrique, avec une compatibilité électro - magnétique améliorée. Bureau international. Numéro de publication internationale : WO [WO2004000498A3](#), 31 Décembre 2003.
61. Doubochinski D.B., Touzova T.A. Vibration method of separating a fluid mixture into a carrier fluid and a complementary component. N° de publication Internationale: WO 2004/078308 A1, 16 September 2004.
62. Doubochinski D. Les oscillations argumentaires – Effet macroscopique quantique. Le Discours lors de la Conférence à l'ISMANS (Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancées), LE MANS - France44, 30.09.2004.
63. Tennenbaum J. Amplitudes quantiques – une propriété élémentaire des systèmes vibratoires (découvert de Doubochinski). FUSION, La science, passionnément, N° 85, Paris, France. 2001.
64. Doubochinski D.B. Applications industriels des nouveaux procédés de conversion d'énergie. Conférence organisée par le groupe IINTERTECHNIQUE, 30 mai 2005, Paris, France.
65. Tennenbaum J. Amplitudes Quantization – As an Elementary Property of Macroscopic Vibrating systems vibratoires. 21st CENTURY. SCIENCE & TECHNOLOGY. Winter 2005 – 2006.
66. Doubochinski D.B. Applications industriels de nouveau procédé de refroidissement. Conférence organisé par la Compagnie AREVA en Centre technique FRAMATOM. 23 Jyin 2005, Paris, France.
67. Doubochinski D., Tennenbaum J. Physique d'interaction : une nouvelle approche à la compréhension et à l'utilisation techniques des effets de quantification dans le macro- et micro-monde. Portail : International Scientifique Ecole de développement durable (numéro d'enregistrement d'état 0220712064). Une unité interdisciplinaire permanente «La science contemporaine», Octobre 21, 2006.
http://www.uni-dubna.ru/departments/sustainable_development/Portal/scientific-rrangements/modern_science_problems21-10-06/
68. Doubochinski D., Tennenbaum J. The Macroscopic Quantum Effect in Nonlinear Oscillating Systems : a Possible Bridge between Classical and Quantum Physics. Presentation at the International Workshop on Atomic Structure – New Ideas and Perspectives, Moscow, Russia, 15 January 2007.
69. Tennenbaum J. Doubochinski D., The fundamental role of phase-coupling and phase-modulation in living processes: Theory and demonstration of an electromechanical model for the quantum behaviour of biological systems. INTERNATIONAL INSTITUTE OF BIOPHYSICS, Summer School 2007. Symposium: "Biophotonics and Applications of Biophotons" .Neuss, Germany. August, 2007.
70. Doubochinski D., Tennenbaum J. Demonstration of a New Type of Interaction between Oscillating Systems. Second International workshop "Atomic structure: new ideas and perspectives". September 24-26, 2007, Moscow – Russia.
71. Doubochinski D., Tennenbaum J. The Role of Frequency-Phase Modulation in the Self-Organization of Matter. International workshop "Atomic structure: new ideas and perspectives" September 24-26, 2007, Moscow – Russia.
72. Doubochinski D., Tennenbaum J. The Macroscopic Quantum Effect in Nonlinear Oscillating Systems: A Possible Bridge between Classical and Quantum Physics. Cornell University Library «ARXIV», November 2007. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0808/0808.1205.pdf>
73. Tennenbaum J., Doubochinski D. A new conception of interaction of physical systems - implications for Biology and Medicine. International Institute of Biophysics, Sommer School 2008 "Biophotonics and applications of Biophotons. From August 17th to 22nd 2008. Station Gombrich, Neuss, Germany.
74. Doubochinski D.B. New Physical Principle of Self-Organizing Systems. A two-day online conference conducted by the Institute of ISRO, "Teacher's newspaper», № 21, 20 May 2008.
<http://www.ug.ru/archive/24012>

75. Doubochinski D.B., Tennenbaum J. "Physics of interactions. New approach to understanding and technical usage of quantisation phenomenon of in the macro-and micro-world". High technology, applied research, industry: collection of works of the Eighth International Scientific and Practical Conference "Research, development and application of high technologies in the industry." 27-28 Oct-2009, Saint-Petersburg, Russia / Ed. A.P.Kudinov. Petersburg.: Polytechnic Univ. publ., 2009.
76. Doubochinski D.B. Application area of the Doubochinski quantum macrophysics effects. Cite of the Doubochinski, Wikipedia, 2010.
77. Doubochinski D.B., Tennenbaum J. Physique de l'interaction : Technologie innovante de refroidissement vibratoire" Xème International conférence scientifique et pratique Recherche, développement et application des hautes technologies dans l'industrie ». Décembre, 2010, Pétersbourg, Russie.
78. Doubochinski D.B., Tennenbaum J. Cool! A New Principle Promses to Revolutionize the Tecnnology of Air Conditioning and Refrigeration. SciTecLibrary 29.09.2011.
<http://www.sciteclibrary.ru/eng/catalog/pages/11385.html>
79. Doubochinski D.B. Présentation de l'une des applications issue de la découverte «Effet Quantique Macro-Physique» dans le domaine de refroidissement. Conférence internationale «Technologies of dream». Exposition Internationale "POLUTEC", Paris, France. 01 Décembre 2011.
<http://www.sciteclibrary.ru/eng/catalog/pages/11385.html>.
80. Doubochinski D.B. Principaux domaines d'intervention dans lesquels il y a des problèmes techniques fondamentales. International séminaire «Les frontières de connaissances scientifiques» réalisé par l'Institut Scientifique des Stratégies Innovantes de développement de l'enseignement général. 28 – 30 Novembre 2011. Moscou – Russie.
http://www.epistemoteka.com/index.php?option=com_content&view=article&id=175&Itemid=15
81. Doubochinski D.B., The Macrophysics Quantum Model of the Solar System. SciTecLibrary, April 07, 2011. <http://www.sciteclibrary.ru/eng/catalog/pages/10998.html>
82. Doubochinski D.B., Tennenbaum J. The Universe as a Social Process: A New Dynamical Conception of Physical Objects and their Interactions. Sciteclibrary, June 12, 2012.
<http://www.sciteclibrary.ru/eng/catalog/pages/12067.html>
83. Doubochinski D.B., A New Dynamic Concept of Development of the Nature: The Effective Mecanisms of Energy Conversion. Sciteclibrary, June 12, 2012.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12068.html>
84. Doubochinski D.B. ,DMKE, History of Discovery. Heuristic and Analog Models and their Development. Sciteclibrary, June 12, 2012.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12064.html>
85. Doubochinski D.B., Tennenbaum J. Factor-of-Ten Reduction in Energy Requirements for Cooling. International Conference on Frontiers of Mechanical Engineering, Materials and Energy (ICFMEME 2012).
86. Doubochinski D.B. Creation of High-Tech Development Based on the Fundamental Achievements of Science and Access to Western Technology Markets. Innovation Centers Eurasia Conference, Academpark, TEC, Novosibirsk, Russia. September 13 - 16, 2012. <http://i2012.interra-forum.ru/RU/SitePages/Directions/TerritoryOfInnovations/Activity.aspx?Id=3c2cbd75-1de1-4a3e-8995-d86dcb7622a3>
87. Doubochinski D.B. Doubochinski's Macrophysical Quantum Effect (DMQE): Experimental and Theoretical Argumentation. Monographe. Sciteclibrary, June 12, 2012.
<http://www.sciteclibrary.ru/eng/catalog/pages/12065.html>,
88. Doubochinski Danil B. and Tennenbaum Jonathan. New Physical Effect Permits Factor-of-Ten Reduction in Energy Requirements for Cooling. International Conference on Advanced Material and Manufacturing Science (ICAMMS 2012) December 20-21, 2012.
[http://www.informatica.sip.ipn.mx/evidenciaspnpc/documentos/000906/c\)%20Personal%20Academico/Criterio%209%20LGACs/Evidencias%20criterio%209/FENOMENOS%20ELECTROMAGNETI COS/CONFERENCIAS/M1267-CONTENTS%20AND%20PREFACE.pdf](http://www.informatica.sip.ipn.mx/evidenciaspnpc/documentos/000906/c)%20Personal%20Academico/Criterio%209%20LGACs/Evidencias%20criterio%209/FENOMENOS%20ELECTROMAGNETI COS/CONFERENCIAS/M1267-CONTENTS%20AND%20PREFACE.pdf)
89. Doubochinski D.B., Tennenbaum J. Theory and applications of the macroscopic quantization effect in nonlinearly-coopled vibrating systems. MEDYNA 2013: 1st Euro-Mediterranean Conference on Structural Dynamics and Vibroacoustics_ 23-25 Apr 2013 Marrakech (Morocco).
90. Doubochinski D.B. About relation between the continuous and discrete in Nature from the perspective of Doubochinski's macrophysical quantum effect. SciTecLibrary. 2013.
<http://www.sciteclibrary.ru/eng/catalog/pages/13016.html>

91. Doubochinski D.B. and Tennenbaum J. New Physical Effect Permits Factor-of-Ten Reduction in Energy Requirements for Cooling. *Advanced Materials Research Vols. 875-877* (2014) pp 1842-1846© (2014) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028.
www.scientific.net/AMR.875-877.1842
92. Doubochinski D., Tennenbaum J. A New Dynamical Conception of Physical Objects and Their Interactions. *Quantum Matter*, American Scientific Publishers. USA, 2015, Volume 4, Number 3, p.p. 251 – 257.
<http://www.ingentaconnect.com/content/asp/qm/2015/00000004/00000003/art00009>
93. Doubochinski D.B. Oscillations argumentaire, Macrophysique quantum effet. Monograph. SciTechLibrary. Moscow, 2015 - 2016. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/15207.html>
94. Дубошинский Д.Б. Аргументный макроквантовый осциллятор и уравнение Дубошинского. SciTecLibrary. Москва. 2018.
<http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/public/YaBB.pl?num=1577968285>
95. Дубошинский Д.Б. Аргументный резонанс Дубошинского. Sciteclibrary. Moscou. 2018.
<http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/public/YaBB.pl?num=1533240054>
96. Дубошинский Д.Б. Аргументные колебания и эффект Доплера. Sciteclibrary. Moscou. 2018.
<http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/public/YaBB.pl?action=notify3;num=1540543947/0;oldnotify=1>
97. Дубошинский Д.Б. Аргументная парадигма биоэффективных взаимодействий. Sciteclibrary. Moscou. 2019.
98. Дубошинский Д.Б. Новый взгляд на понятие «время» с позиций аргументных колебаний. SciTecLibrary. Москва. 2019.
<http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/public/YaBB.pl?num=1565194858>
99. Дубошинский Д.Б. Введение в аргументную топологию взаимодействий (Об аогументно-связанной природе физических объектов). SciTecLibrary. Москва. 2019.
<http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/public/YaBB.pl?num=1571854094>
100. Doubochinski D.B. Doubochinski's oscillator and equation of argumental oscillations. SciTecLibrary. Moscou. 2020.
www.sciteclibrary.ru/yabb26/Attachments/Doubochinski_s_oscillator_et_equation.pdf
<http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/public/YaBB.pl?num=1583006588>
101. Словари и энциклопедии на Академикe. Маятник Дубошинского.
<https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1388005>
102. Базовый маятник Дубошинского. Видео:
<https://www.youtube.com/watch?v=IWx4eKYd9C8>
103. Магнитный маятник Дубошинского. Международный конкурс старшеклассников, 2018 год. *Видео*: снято для задачи турнира юных физиков 2015 года "Магнитный маятник" командой "СШ №1 г. п. Смиловичи" (Беларусь):
<https://www.youtube.com/watch?v=-jiBAepCizs>;
<https://www.youtube.com/watch?v=NCYN5YUKfel>;
<https://www.youtube.com/watch?v=XS7cLZdgaA>
104. Двойной, тройной и множественный маятник Дубошинского. Видео:
<https://www.youtube.com/watch?v=ZYx9QiK9Dp8>
105. Стохастический (хаотический) маятник Дубошинского. Видео:
<https://www.youtube.com/watch?v=CcVB4S2IBrc>
106. International Young Physicists Tournament. Word Scientific Publishing Company. 2018. Chapter 8, p.p. 107-118, 167: Doubochinski's Pendulum.
<https://www.circuitlab.com/circuit/8x8na4wkmwx3/doubochinskis-pendulum/>
107. College Physics. Volum 1; Books.google.be. 2017. Doubochinski's pendulum.
<https://books.google.fr/books?id=sMBSzzxkklQC&pg=PT140&lpq=PT140&dq=Doubochinski's+pendulum&source=bl&ots=nbmT4REh6h&sig=votuSrUN3wktzFXNvcy5PHt24wY&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwjy0r-Mg9TcAhVNa8AKHb-eBel4ChDoATADegQIBxAB#v=onepage&q=Doubochinski's%20pendulum&f=false>
108. Tranquillo Janisch. Construction and Characterization of a Doubochinski Pendulum (Bachelorvortrag). Univrsity of Zurich. Physik-Institut. Seminar in Physics. 2016. 16.

109. Chandrashekar Ram. National Centre for Biological Sciences. June 2016 – August 2016 (3 months) Bangalore, Analyst at KPMG India: We designed and built an Argumental oscillator system, the so-called Doubochinski's Pendulum. (Mechanical & Electrical versions).
<https://in.linkedin.com/in/chandrashekar-ram-70b218104>
110. PENDULUM IN PHYSIC, Chapitre 4. 2017. Doubochinski's Pandulum
<https://www.google.fr/search?q=Pendulum+in+Physic,+chapitre+4;Doubochinski%27s+pendulum&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwjtuMze1tTcAhVIAsAKHeBfDYUQ7Al6BAqEEA8&biw=1455&bih=697>
111. Files schematic of the doubochinski pendulum. Png. Indonezia. Oleh Indo Surat Diposting pada 5. 2018. <http://indosurat.com/fileschematic-of-the-doubochinski-pendulum-png.html>.
112. Lan Ziheng, Chen Jiahao, Gao Yantai, et al. The principle of electromagnetic "quantum" pendulum, and its experimetal study. Mechanics in Engineering, China. 2016, 38(4): 471-475.
<http://lxsj.cstam.org.cn/CN/abstract/abstract145962.shtml>
113. Shumaev A.I. and Maizelis Z.A. Distribution functions of argumental oscillations of the Duboshinskiy pendulum. Journal of Applied Physics. 2017. <https://doi.org/10.1063/1.4979800>
114. Bajaj N.K. The Physics of Waves and Oscillations. Doubochinski's pendulum. A Text-book of Physics by Exum Percival Lewis. 2014.
<http://free-onlineebooks.blogspot.com/2014/12/download-book-on-simple-harmonic-motion.html>
115. Martin Beech. The Pendulum Paradigm: Variations on a Theme and the Measure of Heaven and Earth. Brown Walker Press, USA. 2014. Doubochinski pendulum: p. 231-235, 242, 279.
<https://books.google.fr/books?id=qumVBAAQBAJ&pg=PA233&dq=chaotic+pendulum+Doubochinski&hl=fr&sa=X&ei=Jt43VYGYEdDlappFgPAM&ved=0CCEQ6AEwAA#v=onepage&q=chaotic%20pendulum%20Doubochinski&f=false>
116. Yao Luo, Wenkai Fan, Chenghao Feng, Sihui Wang, Yinlong Wang. Multi-stability in Doubochinski's Pendulum. Cornell University, 2019. <https://arxiv.org/abs/1904.02908>
https://www.researchgate.net/publication/332264062_Multi-stability_in_Doubochinski's_Pendulum
117. Cretin B., Vernier D. Quantized amplitudes in a nonlinear resonant electrical circuit. Cornell University Library «ARXIV», Jan. 8, 2008.
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0801/0801.1301.pdf>
118. Weldon J. Wilson. RECENT TALKS : Amplitude Quantization as a Fundamental Property of Coupled Oscillator Systems - Doubochinski's pendulum. Oklahoma University, 2012.
<http://cyberphysics.org/wwilson/>
119. Jason Yeisley, Andrew McFarlin, Chris Conley, Chris Stewart. Discovering Amplitude Quantization as an Elementary Property of Macroscopic Vibrating Systems through Doubochinski's Pendulum. University of Central Oklahoma. 2014.
<http://www.okresearchday.com/2013/proceedings/index.html>
120. Yao Luo. Subharmonic frequency response in a magnetic pendulum Doubochinski. American Journal of Physics 88, 115 (2020);
<https://aapt.scitacion.org/doi/10.1119/10.0000038>
121. Henrik B Pedersen, Magnus Linnet Madsen, John Erik Vad Andersen and Torsten Groth Nielsen. Investigation of argumental oscillations of a physical pendulum. 2020 • © 2020 European Physical Society. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6404/abcee4/pdf>
122. Emmanuel Foltête. Pendule de Doubochinski. Aluna graduanda em Engenharia Civil na Universidade Federal de Uberlândia - MG - Brasil, 2013.
<https://www.escavador.com/sobre/9067124/tatiane-pina-felipe>
123. Дубошинский Д.Б. Новые принципы аргументной самоорганизации. Монография. SciTecLibrary. Москва, 26.09. 2020.
<http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/public/YaBB.pl?num=1601120706>
http://www.sciteclibrary.ru/yabb26/Attachments/livre_New_Principe_26_09_2020.pdf