Основания физики

УДК 524.827+531.51+530.12+530.16+535.14+537.8+539.17

Олейник В. П.

О ФИЗИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ ЯВЛЕНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ПО ИНЕРЦИИ

Классическая частица как открытая самоорганизующаяся система

Институт высоких технологий
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
ул. Владимирская, 64, Киев, 01601, Украина
e-mail: valoleinik@gmail.com

Раскрыта физическая сущность и установлен физический механизм явления криволинейного движения классической частицы по инерции. Показано, что **классическая частица, освобожденная от ограничений, накладываемых в Ньютоновской схеме механики на движение частицы по инерции и на ее массу, представляет собой открытую самоорганизующуюся систему. Первое из указанных выше ограничений** следует из общепринятого представления о том, что равномерное и прямолинейное движение тела, не подверженного действию внешних сил, является единственно возможным существующим в природе движением по инерции. Исследование проблемы движения [2–12] показывает, однако, что имеется несчетное множество криволинейных движений по инерции, которые представляют собой диалектические противоположности по отношению к вынужденным ускоренным движениям. Методы исследования, исключающие из рассмотрения ускоренные движения по инерции, дают, очевидно, заведомо неполную и искаженную картину физической реальности. **Второе ограничение касается массы**: предполагается, что масса классической частицы является неизменной, сохраняющейся во времени физической характеристикой частицы. Как видно из анализа проблемы, требование постоянства массы приводит к жестким ограничениям на ускоренное движение частицы по инерции, которые не согласуются, однако, с главными законами природы — законами диалектики. Следует подчеркнуть, что упомянутые ограничения представляют собой не более чем гипотезы, использование которых не обосновано, поскольку никогда не проверялись ни их согласованность с другими положениями механики, ни их соответствие опыту. **В данной работе содержится формулировка основ механики, свободной от указанных ограничений**.

В цикле работ [13–20] проблема самоорганизации материи детально исследовалась на основе квантовой электродинамики. В качестве механизма самоорганизации электрона рассматривалось самодействие — обратное действие на заряженную частицу со стороны создаваемого ею кулоновского поля. Из того факта, что закон Кулона, как закон чисто феноменологический, не является фундаментальным физическим законом [10–12], и из новых результатов, излагающихся в настоящей работе, следует, что хотя рассмотренный в [13–20] механизм самоорганизации и улавливает, по-видимому, некоторые черты явления, он представляет собой лишь грубое приближение к истинному механизму самоорганизации. **Новые результаты свидетельствуют о том, что способность материи к самоорганизации, будучи неотъемлемым свойством материи, возникает на простейшем уровне развития материи и может быть объяснена в рамках механики, без использования феноменологии в виде электрических зарядов и кулоновского поля**.

В данной работе исследуются физические особенности поведения классической частицы с переменной массой, движущейся ускоренно по инерции. Показано, что физическая среда, порождаемая классической частицей, состоит из двух компонент — непрерывной, классической компоненты и квантовой компоненты, которая возникает в результате квантовых скачков частицы из одного состояния криволинейной инерции в другое. Построены колебательные состояния движения по инерции классической частицы и показано, что частица, осциллирующая по инерции, обладает дефектом массы, величина которого порядка массы частицы, вращающейся по инерции. Отсюда следует, что преобразование вращательного движения по инерции в колебательное может оказаться весьма эффективным способом получения высокого дефекта массы [21–23]. Указаны квантовые переходы частицы-осциллятора, в которых энергия классической частицы преобразуется в энергию квантов порождаемой ею среды.

Результаты работы указывают на то, что **главной причиной нынешнего кризисного состояния физической науки является игнорирование ею законов диалектики. Физика, освобожденная от тяжких оков в виде ограничений на движение материи, станет мощным стимулом технического прогресса; она обеспечит невиданный расцвет нашей цивилизации, переведя ее на качественно новый уровень развития. Практическое значение полученных результатов состоит в том, что они дают метод исследования природы, согласующийся с ее основными законами**, и открывают путь к решению ряда сверхзадач [21–28], связанных с энергетической проблемой, с управлением гравитацией и созданием антигравитационных двигателей, со сверхсветовой коммуникацией, с управлением ходом времени.

Ключевые слова: криволинейная инерция, колебательное движение по инерции, квантовые переходы классической частицы, самоорганизующаяся система, антигравитация, управление гравитацией.

Дайте мне материю и движение —
и я создам Вселенную.
Р. Декарт (см. [1], с.26)

1. Введение. Явление ускоренного движения по инерции

В работах [2–12] исследование криволинейной инерции проводилось, исходя из общепринятого представления о том, что масса m классической частицы является неизменной, сохраняющейся во времени физической характеристикой частицы: $m = const$. Однако, как видно из результатов работ [8,9], масса частицы может изменяться со временем, причем возможны физические ситуации, когда зависимость массы от времени оказывается весьма существенной. Отсюда следует, что для правильного описания явления криволинейной инерции нужно отказаться от предположения о постоянстве массы классической частицы. Настоящая работа и посвящена исследованию криволинейного движения по инерции классической частицы с переменной массой. В работе уточняется физическая сущность явления и рассматриваются его физические особенности. Построено и исследовано состояние колебательного движения по инерции классической частицы. Находясь в этом состоянии движения, **частица характеризуется наличием дефекта массы и выступает в качестве эффективного преобразователя энергии**, который перекачивает энергию из обычного вещества в особого рода физическую среду и в обратном направлении.

Прежде всего, напомним и уточним, ввиду исключительной важности проблемы движения по инерции и для полноты изложения, полученные в [2–12] результаты, касающиеся явления ускоренного движения по инерции и свидетельствующие о том, что масса частицы, движущейся по инерции по криволинейной траектории, может быть функцией времени.

Согласно результатам исследований [2–12] по проблеме движения — центральной проблеме физики, **существует два типа ускоренных движений классической частицы — вынужденные движения $D_{вынужд}$ и движения по инерции $D_{инерц}$**. В соответствии с общепринятой терминологией, вынужденными движениями мы называем движения частицы, происходящие под действием на частицу внешних сил — сил со стороны окружающих тел. Под ускоренными (криволинейными) движениями по инерции мы понимаем движения частицы по криволинейной траектории, происходящие в отсутствие внешних сил и характеризующиеся тем, что они совершаются без каких-либо энергетических затрат со стороны частицы, т.е. действующие на частицу силы инерции не совершают работы по перемещению частицы на каждом участке траектории.

Место, которое движения $D_{инерц}$ и $D_{вынужд}$ занимают в природе, определяется тем, что произвольное ускоренное движение D частицы можно представить в виде их линейной комбинации. Существенно, что эти движения представляют собой диалектически противоположные составляющие движения. Согласно законам диалектики — главным законам природы, управляющим ее движением и развитием, любая физическая реальность (физический процесс, физическое явление и т.п.) представляет собой сосуществование противоположностей, которые дополняют друг друга, образуя неразрывное целое, и в то же время противодействуют друг другу. Следовательно, объяснить и описать поведение любой физической системы способна лишь такая физическая теория, которая должным образом учитывает диалектические составляющие движения. **Указанное требование является необходимым условием того, чтобы физическая теория была адекватной физической реальности, т.е. достаточно глубоко проникала**

в ее сущность и достаточно полно описывала физические механизмы природных явлений и процессов.

Следует подчеркнуть, что наличие в природе ускоренных движений по инерции материальных тел является прямым следствием законов диалектики. Действительно, в силу законов диалектики, **из факта существования вынужденных ускоренных движений с необходимостью следует, что должны существовать и диалектически противоположные составляющие движений — ускоренные движения по инерции**.

Причиной ускоренного движения классической частицы в отсутствие внешних возмущений является неоднородность и неизотропность пространства, в котором происходит движение. В условиях неоднородного и неизотропного пространства и в отсутствие внешних полей частица стремится перемещаться по криволинейной траектории таким образом, чтобы не расходовать собственной энергии. Такое поведение частицы представляет собой физическое свойство, внутренне присущее частице по самой природе вещей. Стремление классической частицы перемещаться в пространстве по криволинейной траектории по инерции следует рассматривать как фундаментальный закон природы.

Простейшим примером ускоренного движения по инерции может служить равномерное вращение классической частицы по окружности с неподвижным центром. Физическую систему, совершающую движение указанного вида, будем кратко называть **вихрем**. **Вихрь представляет собой механический диполь, состоящий из классической частицы** A**, вращающейся вокруг неподвижной точки (обозначим ее через** O_1 **и назовем центром вихря), и силового шнура, соединяющего частицу с центром вихря** (см. Рис. 1а). Диполь описывается механическим дипольным моментом

$$\vec{d}_1 = m\vec{r}_1, \tag{1}$$

где m – масса частицы, $\vec{r}_1$ — радиус-вектор частицы, отсчитываемый от точки O_1. На частицу, находящуюся в состоянии движения (1), действует сила инерции $\vec{F} = \ddot{\vec{d}}_1$, направленная вдоль силового шнура к центру вихря. Рассматриваемое состояние движения классической частицы, которое мы называем **однодипольным**, аналогично основному состоянию квантовой частицы в стандартной формулировке квантовой механики.

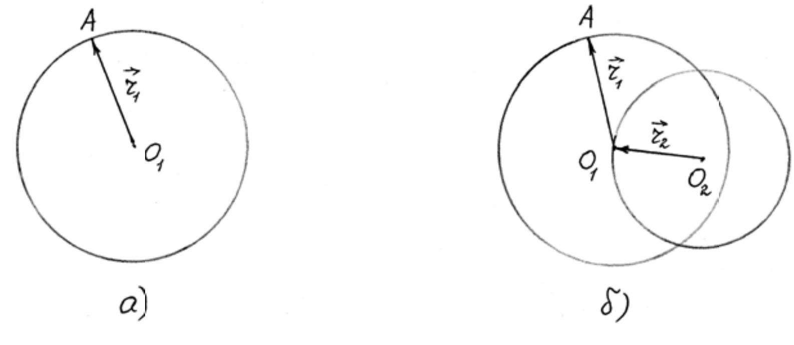

Рис. 1. Простейшие состояния криволинейной инерции классической частицы:
а) однодипольное состояние (A — классическая частица, O_1 — центр вихря, AO_1 — силовой шнур);
б) двухдипольное состояние (A — классическая частица, O_1 и O_2 – центры вихрей, AO_1 и O_1O_2 — главный и вторичный вихри, AO_1O_2 – силовой шнур).

Пусть теперь частица массой m вращается, как и раньше, равномерно по окружности радиуса r_1 с центром в точке O_1, а точка O_1, в свою очередь, вращается равномерно по окружности радиуса r_2 вокруг неподвижной точки O_2 (см. Рис. 1б). Такое состояние движения можно описать дипольным моментом

$$\vec{d}_2 = m(\vec{r}_1 + \vec{r}_2), \tag{2}$$

где $\vec{r}_2 = \overrightarrow{O_2O_1}$ — радиус-вектор точки O_1 относительно точки O_2, $|\vec{r}_2| = r_2$. Состояние (2) является примером **двухдипольного состояния движения**, представляющего собой суперпозицию однодипольных состояний с дипольными моментами $\vec{d}_1 = m\vec{r}_1$ и $\vec{d}_2' = m\vec{r}_2$. При определенных условиях состояние (2) может быть состоянием ускоренного движения частицы по инерции. Это состояние движения естественно рассматривать как **составной вихрь** с центром вихря в точке O_2. Его составляющими являются **главный и вторичный вихри**, представляющие собой, соответственно, вращение частицы вокруг точки O_1 и вращение точки O_1 вокруг центра O_2 составного вихря. Хотя в точке O_1 отсутствует частица, получается так, как если бы вихрь $\vec{d}_2'$ представлял собой вращение исходной частицы массы m вокруг точки O_2. Это явление можно объяснить тем, что точка O_1 играет роль центра масс вихря $\vec{d}_1$, рассматриваемого как единое целое, и поэтому точке O_1 следует приписать массу исходной частицы, движение которой порождает вихрь $\vec{d}_2'$. Как видим, вторичный вихрь $\vec{d}_2'$ — это вращение особой частицы, которая является как бы **отображением** исходной частицы, обладающим ее массой, в точку O_1. Такую частицу будем называть **квазичастицей**.

Двухдипольное состояние движения частицы по инерции является, таким образом, суперпозицией исходной классической частицы и ее отображения — квазичастицы. Квазичастица как бы отщепляется от исходной частицы и, будучи в некотором смысле отображением исходной частицы, ведет себя подобно классической частице. В соответствии с формулой (2), квазичастице нужно приписать массу m классической частицы, помня при этом, что масса квазичастицы не является мерой количества вещества, содержащегося в квазичастице. Остальные физические характеристики квазичастицы определяются аналогично физическим характеристикам классической частицы.

Центр вихря определен нами как одна из двух точек, выделенных в пространстве, в котором классическая частица перемещается. Следует подчеркнуть, что **центр вихря становится особой материальной структурой, которую мы называем квазичастицей, лишь при условии, что он перемещается в пространстве таким образом, что вся система в целом, включающая главный и вторичный вихри, движется ускоренно по инерции**. В рассмотренном выше примере центр O_2 составного вихря, будучи неподвижным, не является квазичастицей, в отличие от центра O_1 главного вихря (см. Рис. 1б).

Подобным же образом можно построить $n-$дипольные ($n > 2$) состояния ускоренного движения по инерции классической частицы [8]. Указанные состояния, аналогичные возбужденным состояниям квантовой частицы, представляют собой цепочку из n вихрей, состоящую из **главного вихря**, порождаемого движением исходной частицы, $n-1$ **вторичных вихрей и силового шнура**, связывающего исходную частицу с квазичастицами и с центром составного вихря. Эта цепочка вихрей, связанных между собой силовым шнуром, образует устойчивую пространственную структуру, которая характеризуется определенными линейными размерами. Имеет место, таким образом, **пространственное (геометрическое) квантование криволинейного движения по инерции классической частицы**.

Совокупность квазичастиц, движение которых порождает вторичные вихри в $n-$дипольных ($n \geq 2$) состояних движения по инерции классической частицы, и силовые поля, создаваемые исходной частицей и квазичастицами, образуют **особую физическую среду**, которая влияет на поведение классической частицы, изменяя ее физические свойства. **Классическая частица как бы окутывается облаком порождаемых ею квазичастиц и силовых полей** — происходит «одевание» частицы. **Многодипольные состояния классической частицы, движущейся по инерции по криволинейной траектории, представляют собой, в сущности, связанные состояния исходной частицы и некоторого числа квазичастиц**.

При обсуждении результатов работ [8–12] мое внимание неоднократно обращалось на то обстоятельство, что использованное в этих работах название «эфирная среда» не вполне удачно, так как оно вызывает ассоциацию с эфиром, исследовавшимся физиками XIX века (см. [1, 29]), хотя и не имеет ничего общего с ним. Под эфиром обычно понималась гипотетическая среда, которая наделялась по произволу исследователей физическими свойствами газа, жидкости или твердого тела. **Отличие рассматриваемой нами среды от эфира состоит в том, что ее физические свойства нами не постулируются, а выводятся из условий криволинейного движения классических частиц по инерции**. Такой подход имеет неоспоримое преимущество перед общепринятым подходом к эфиру: он позволяет исследовать явление криволинейной инерции, не опасаясь использования ложных представлений. **Чтобы найти более подходящее название для той физической реальности, которая генерируется классической частицей при ее ускоренном движении по инерции, обратимся к физической картине рассматриваемого явления**.

Мы исходим из классической частицы, движущейся по инерции по криволинейному пути. На частицу действует сила, направленная к центру кривизны траектории частицы. Величина и направление силы непрерывно изменяются со временем, т.е. при движении частицы в окружающем пространстве генерируется особое силовое поле. **Тем самым окружающее пространство наделяется физическими свойствами, превращаясь в особую неоднородную и неизотропную физическую среду**. Вследствие неоднородности и неизотропности окружения, классическая частица непрерывно совершает квантовые переходы (скачки) из одного состояния движения в другое, испуская или поглощая кванты энергии и импульса, которые естественно рассматривать как элементарные возбуждения упомянутой выше среды. Обмен энергией и импульсом между классической частицей и ее окружением означает, что частица и порождаемая ею физическая среда взаимодействуют друг с другом. Классическая частица, движущаяся по инерции по криволинейной траектории, представляет собой, таким образом, открытую и нелокальную физическую систему, неразрывно связанную с окружающим пространством.

Как видим, физическая сущность явления криволинейной инерции состоит в том, что исходная физическая реальность, в качестве которой выступает классическая частица, порождает вторичную реальность в виде особой материальной среды. Классическую частицу мы рассматриваем как сгусток вещества, локализованный в некоторой ограниченной области пространства. Среда, порождаемая частицей при ее ускоренном движении по инерции, содержит непрерывную составляющую, распределенную в окружающем пространстве, а также локальные структуры в виде квазичастиц; она взаимодействует с частицей, обмениваясь с нею квантами энергии и импульса. Значит, рассматриваемая здесь физическая среда — это противоположность по отношению к классическим частицам, порождаемая ими при криволинейном движении по инерции. Ее естественно назвать средой, индуцируемой посредством криволинейной инерции (ИКИ), или кратко ИКИ–средой. На английском языке название среды будет звучать как the medium induced by curvilinear inertia (ICI) или кратко как the ICI-medium, а ее элементарное возбуждение — как the ICI-particle или ICI-quantum.

Явление криволинейного движения по инерции может служить типичной моделью диалектического развития физической системы. Содержание этой модели можно описать следующим образом. Развитие (движение) физической реальности неизбежно порождает диалектически противоположную по отношению к ней вторичную реальность, которая вступает во взаимодействие с исходной реальностью. Это взаимодействие и обеспечивает устойчивое сосуществование обеих физических реальностей как единого, неразрывного целого. Дальнейшее развитие физической реальности происходит подобным же образом: вновь образовавшаяся реальность порождает свою противоположность и, взаимодействуя с нею, образует новое единое целое и т.д. **В результате возникает последовательность все более усложняющихся вихревых структур, которые изменяют как состояние физической системы, так и свойства окружения, превращая его во все более и более неоднородное и неизотропное пространство**.

Здесь уместно сравнить представление о классической частице с точки зрения Ньютоновской схемы механики и развиваемое в данной работе представление о классической частице, движущейся ускоренно по инерции.

Согласно механике Ньютона, классическая частица в отсутствие внешней силы пребывает в состоянии покоя или движется равномерно и прямолинейно. Частице приписывается масса, которая служит одновременно мерой инертности и мерой количества вещества частицы. Действие внешней силы приводит к вынужденному ускоренному движению, которое описывается вторым законом Ньютона.

В развиваемой нами формулировке механики, в отличие от механики Ньютона, классическая частица выступает как особая физическая реальность, которая, будучи в состоянии ускоренного движения по инерции, порождает свою противоположность — ИКИ-среду, имеющую квантовую структуру. Обмен квантами энергии и импульса между частицей и порождаемой ею средой приводит к взаимодействию между ними, благодаря которому частица «одевается», приобретая физические свойства реально наблюдаемой частицы. При воздействии на частицу внешней силы, на движение частицы по инерции накладывается вынужденное ускоренное движение. После прекращения действия внешней силы частица возвращается в одно из состояний криволинейной инерции.

Если в механике Ньютона отключить внешнюю силу, частица превращается в абстрактное образование, которое либо покоится, либо движется равномерно и прямолинейно; приписываемая ей масса никак не может проявиться и поэтому не имеет физического значения. **В Ньютоновской схеме механики частица выступает, таким образом, как мертвая форма, не способная к порождению новых структур. Наделенная же способностью перемещаться по**

криволинейной траектории по инерции, частица становится животворящей физической системой, которая обретает свойство порождать в своем окружении несчетное множество новых структур и благодаря этому непрерывно изменяет свой собственный облик, превращая окружение в пространство, обладающее физическими свойствами. Как видим, лежит пропасть между представлениями механики Ньютона о классической частице и новыми представлениями, учитывающими существование ускоренных движений по инерции.

С включением криволинейных движений по инерции в механику, открывается огромный мир физических явлений и процессов, выпавших из поля зрения ньютоновской схемы. Среди них — гравитация и антигравитация, которые получают простое и естественное объяснение как физические следствия ускоренных движений по инерции. В механике же Ньютона гравитация описывается чисто феноменологически, путем постулирования закона всемирного тяготения, без проникновения в физическую сущность и раскрытия физического механизма явления.

Отметим, что из существования $n-$дипольных состояний движения по инерции немедленно следует существование $(n+1)-$дипольных состояний движения. Чтобы убедиться в этом, достаточно рассмотреть одно- и двух- дипольные состояния (1) и (2). В самом деле, составной вихрь, отвечающий состоянию движения по инерции (2), можно рассматривать как вращение однодипольного вихря (1) с центром в точке O_1, взятого как целое, вокруг неподвижной точки O_2 при условии, что частица, принадлежащая вихрю (1), по-прежнему равномерно вращается вокруг его центра (см. Рис. 1а, 1б). Очевидно, что вихрь (2) можно получить в результате перескока центра вихря (1) из точки O_1 в точку O_2 при условии, что по инерции сохраняется вращение частицы в исходном вихре. Это значит, что при построении двухдипольного вихря (2) в качестве конструктивного элемента можно использовать вихрь (1), взятый как единое целое и вращающийся вокруг точки O_2. Нетрудно показать, что **в качестве конструктивных элементов** (строительных блоков) $n-$**дипольных состояний движения могут выступать вихри, образуемые** k **диполями** при $1 \le k < n$. Очевидно, что окружающий нас мир обязан своим разнообразием именно существованию **несчетного множества строительных блоков материи**, которые участвуют в формировании состояния криволинейного движения частицы по инерции.

При ускоренном движении частицы по инерции имеется центр вихря, совпадающий с центром кривизны траектории, по которой движется частица. Вследствие того, что не существует материального носителя, способного удерживать центр вихря сколь угодно долго в фиксированной точке пространства, могут происходить самопроизвольно, в отсутствие внешних возмущений, перескоки центра вихря из одного положения в пространстве в другое. Эти перескоки приводят к порождению квазичастиц, из которых образуются вторичные вихри, накладывающиеся на вихревую структуру исходного состояния движения классической частицы. **Физический механизм порождения ИКИ–среды классическими частицами состоит, таким образом, в возникновении спонтанных квантовых переходов классической частицы из одного состояния ускоренного движения по инерции в другое.** Встраиваясь в виде вторичных вихрей в вихревую структуру классической частицы, ИКИ–среда становится составной частью частицы, изменяя ее физические свойства.

ИКИ-среда, порождаемая ускоренными движениями по инерции классических частиц, имеет квантовую структуру. Чтобы ее выявить, т.е. выделить кванты энергии и импульса, отвечающие элементарным возбуждениям среды, и найти их энергетический спектр, необходимо проанализировать квантовые переходы частицы с точки зрения законов сохранения энергии и импульса. Такой анализ содержится в работе [8].

Как показано в [8], квантовые переходы можно рассматривать как процессы поглощения или испускания ИКИ-квантов классической частицей. Из фундаментальных законов сохранения энергии и импульса, отвечающих квантовым переходам классических частиц, выведены физические характеристики ИКИ-частиц. В энергетическом спектре ИКИ-частиц имеется область энергий, которая отвечает процессам трансформации ИКИ-частиц в вещество реальной частицы и обратным процессам трансформации вещества реальной частицы в ИКИ-частицы. Существует критическая точка, в которой происходит полное превращение классической частицы в ИКИ-среду. В этой точке образуется особый вихрь — сгусток ИКИ-среды, представляющий собой пространственную область, заполненную ИКИ-средой.

Из анализа фундаментальных законов сохранения, примененных к ускоренно движущейся по инерции частице, следует важный вывод: **постоянство массы вовсе не характерно**

для криволинейной инерции частицы; хотя движение частицы с $m = const$ **и возможно, оно представляет собой весьма частный случай**. Становится очевидным, что процессы трансформации вещества в ИКИ–материю и обратные процессы можно описать непротиворечивым образом и достаточно полно, лишь отказавшись от общепринятого представления о массе классической частицы как о неизменной, сохраняющейся во времени физической характеристике частицы. **Рамки теории, исходящей из предположения** $m = const$, **оказываются слишком узкими, чтобы дать достаточно полное, логически последовательное и непротиворечивое описание явления криволинейного движения по инерции. Как будет ясно из дальнейшего, физическую сущность явления криволинейного движения по инерции можно раскрыть в полной мере, лишь отбросив условие связи** $m = const$.

Перечислим основные результаты, содержащиеся в последующих разделах работы.

В разделе 2 рассмотрено криволинейное движение по инерции классической частицы с переменной массой и получен критерий такого движения. Показано, что масса частицы, движущейся ускоренно по инерции, обратно пропорциональна модулю ее вектора скорости $\vec{v}$ и поэтому изменяется со временем, если $v \equiv |\vec{v}| = v(t)$.

Частица с переменной массой, движущаяся ускоренно по инерции, порождает в окружающем пространстве среду, обладающую корпускулярными свойствами. Непрерывно происходит перераспределение энергии между частицей и порождаемой ею средой. Процесс непрерывной перекачки энергии частицы в окружающую среду и обратный процесс характеризуются величиной $\dot{m}$ — скоростью изменения со временем массы частицы. Кинетическая энергия классической частицы с переменной массой не является интегралом движения. Сохраняющейся величиной является сумма кинетической энергии T частицы и энергии T' среды, порождаемой частицей: $T + T' = const$. Этот закон сохранения напоминает закон сохранения полной механической энергии частицы: $T + U = const$, где величина U – потенциальная энергия частицы, движущейся во внешнем силовом поле. Приведенные законы сохранения относятся к качественно различным физическим явлениям: первый описывает ускоренное движение частицы по инерции, а второй — вынужденное движение частицы под действием консервативной силы.

В связи с тем, что масса частицы, движущейся ускоренно по инерции, вообще говоря, изменяется со временем, необходимо уточнить понятие свойства инерции частицы. Свойство инерции выражает собой способность частицы сохранять состояние криволинейного движения по инерции, т.е. сохранять такое состояние движения, в котором действующая на частицу сила инерции не совершает работы на любом участке траектории. Очевидно, что если на частицу действует внешняя сила, то масса частицы, независимо от того, сохраняется она или изменяется со временем, служит мерой инертности частицы, т.е. чем больше масса частицы, тем сильнее частица сопротивляется действию внешней силы. Вместе с тем, в отсутствие внешней силы, в ускоренном движении по инерции масса частицы выступает в качестве меры интенсивности взаимодействия частицы с порождаемой ею средой.

Раздел 3 посвящен квантовым переходам классической частицы из одного состояния ускоренного движения по инерции в другое, происходящим с поглощением или испусканием кванта среды. Идея исследования, описанного в разделе, состоит в следующем. Рассмотрим какое-либо простейшее из состояний ускоренного движения частицы по инерции. Оно представляет собой вихрь, состоящий из частицы, движущейся по окружности, центра вихря, совпадающего с центром окружности, и силового шнура, связывающего частицу с центром вихря (см. Рис. 1а). Как разъяснялось выше, центр вихря способен самопроизвольно перескакивать из одного положения в пространстве в другое. В результате образуется множество различных состояний движения частицы, которое содержит информацию о той среде, которая порождается частицей, движущейся ускоренно по инерции. Эту информацию можно получить, выделив из полученного множества какую-либо пару состояний и применив к ней законы сохранения энергии и импульса. Различие между состояниями движения, входящими в данную пару, естественно интерпретировать как некоторое материальное образование, представляющее собой элементарное возбуждение среды. Если перебрать все возможные пары состояний, то можно получить в принципе все возможные элементарные возбуждения среды. Законы сохранения позволяют построить элементарные возбуждения искомой среды и найти их энергетический спектр, а также построить уравнение, управляющее движением среды. Такая программа и выполнена в данном разделе.

Получен энергетический спектр элементарных возбуждений, связывающий их энергию и импульс. Показано, что в случае частицы с переменной массой порождаемая частицей ИКИ-среда содержит две компоненты — непрерывную, имеющую классический характер, и дискретную (квантовую), состоящую из элементарных возбуждений (квантов). Построено уравнение движения среды, генерируемой ускоренно движущимися по инерции классическими частицами. Физическое содержание этого уравнения состоит в том, что оно связывает изменение импульса среды с квантовыми переходами классической частицы из одного состояния ускоренного движения по инерции в другое. В качестве причины изменения импульса среды выступает изменение силы инерции, действующей на частицу при переходе из одного состояния движения к другому. **Дополнив уравнения движения классических частиц уравнением движения среды, приходим к замкнутой схеме механики, учитывающей криволинейные движения частиц по инерции.**

Исследование энергетического спектра элементарных возбуждений ИКИ–материи показывает, что существует ветвь элементарных возбуждений (квантов), имеющих ненулевой импульс, но нулевую энергию. Такие кванты отличаются как от фотонов, так и от фононов. По-видимому, потоки квантов такого рода можно использовать для организации сверхсветовой коммуникации [17, 19, 26–28]. Согласно полученным результатам, «одевание» частицы шубой вторичных вихрей приводит, вообще говоря, к изменению модуля скорости частицы. Вследствие этого, в соответствии с результатами предыдущего раздела, в процессе «одевания» частицы изменяется ее масса.

В разделе 4 исследовано колебательное движение классической частицы по инерции. Построена модель гармонического осциллятора, совершающего колебания по инерции в сильном смысле. Частица-осциллятор представляет собой двухдипольное состояние движения по инерции, в котором модули составляющих диполей равны по величине, а угловые скорости равны по величине и противоположны по направлению. Частица, осциллирующая по инерции, находится в таком состоянии криволинейной инерции, в котором отсутствуют энергетические потери частицы и не происходит перераспределения энергии между ее степенями свободы. Масса частицы является периодической функцией времени. Она достигает наименьшего значения в окрестности центра вихря, где скорость частицы максимальна, и становится бесконечно большой в точках поворота.

Колебания происходят под действием возвращающей силы — силы инерции, которая действует на частицу только в моменты времени, отвечающие точкам поворота, и работы не совершает. Главная особенность колебаний по инерции состоит в том, что они происходят в отсутствие потенциальной ямы. Колебания частицы возникают не благодаря действию на нее силы со стороны потенциального поля, а вследствие процесса порождения ИКИ–среды частицей и обратного процесса, которые сопровождаются непрерывным перераспределением энергии между частицей и порождаемой ею средой. Построены две ветви колебаний частицы по инерции, относящиеся к колебаниям во взаимно перпендикулярных направлениях. Указанные ветви характеризуются разной функциональной зависимостью массы частицы от времени, хотя амплитуды и угловые скорости колебаний в этих ветвях одинаковы.

Колебательное движение по инерции можно получить в результате квантового перехода частицы из однодипольного состояния вращательной инерции в двухдипольное состояние специального вида. Анализ показывает, что если импульсы частицы в исходном состоянии вращательной инерции и в конечном состоянии осцилляций по инерции одинаковы, минимальное значение массы частицы в колебательных состояниях вдвое меньше массы частицы во вращательном движении, а максимальное значение кинетической энергии частицы в колебательных состояниях, наоборот, вдвое больше ее кинетической энергии во вращательном движении. При этом частица, совершающая осцилляции по инерции, обладает массой, меньшей массы частицы, вращающейся по инерции, на значительной части Δt периода колебаний T_0. Это означает, что в течение некоторой части периода колебаний (как показывает расчет, $\Delta t / T_0 = 2 / 3$) **частица, осциллирующая по инерции, обладает дефектом массы, величина которого порядка массы частицы, вращающейся по инерции.** Отсюда следует важный вывод: **колебательные состояния движения классической частицы по инерции энергетически более выгодны, чем вращательные**.

Изложенные выше результаты, касающиеся дефекта массы, аналогичны результатам, полученным в работах [21–23] на основе стандартной релятивистской квантовой механики. Согласно [21], **учет движения ядра в атоме водорода** приводит к тому, что в энергетическом спектре атома возникают дополнительные зоны, отсутствующие в спектре атома с неподвижным ядром. Вследствие этого, образуется дополнительная область связанных состояний электрона и ядра, лежащих значительно глубже по сравнению с основным состоянием электрона в атоме с неподвижным ядром. Квантовые переходы электрона в эти состояния из основного состояния сопровождаются выделением энергии порядка $2m$, где m — масса свободного электрона. **Стандартная квантовая механика предсказывает, таким образом, существование связанных состояний электрона в атоме с аномально высоким дефектом массы**, обусловленных движением ядра. Из результатов настоящей работы видно, что **простейшим и, по-видимому, наиболее эффективным способом получения высокого дефекта массы является преобразование вращательного движения по инерции в колебательное.**

Раздел 5 посвящен квантовым переходам осциллятора, совершающего колебания по инерции. Предложена механическая модель осциллятора. Показано, что энергетический спектр ИКИ–среды, которая образуется в результате квантовых переходов осциллятора, совершающего колебания по инерции, имеет такую же структуру, как и спектр энергии ИКИ–среды, порождаемой при переходе частицы из однодипольного состояния вращательной инерции в двухдипольное. Исследованы квантовые переходы осциллятора, переводящие колебания частицы по инерции с одной ветви колебаний на другую, в которых направления колебаний взаимно ортогональны. Такие переходы представляют особый интерес по той причине, что с их помощью можно осуществить перескоки классической частицы из той области, где их энергия максимальна, в точки поворота и обратные перескоки. Указанные квантовые переходы можно использовать для преобразования энергии классической частицы в энергию потока квантов ИКИ–среды, а также для проведения обратного процесса — преобразования энергии окружения в энергию классической частицы.

Помимо спонтанных квантовых переходов частицы-осциллятора, возможны и индуцированные переходы, которые можно вызвать с помощью сторонних сил. Роль последних сводится к тому, чтобы побуждать частицу к перескокам из окрестности центра вихря на одной ветви возбуждений в точку поворота на другой ветви (или к перескокам в обратном направлении). Как видно из результатов раздела, такого рода индуцированные переходы могут произойти лишь при условии, что сторонние силы включаются в строго определенные моменты времени. Энергия, приобретаемая (высасываемая) частицей из ее окружения за время $\Delta\tau$ между квантовыми скачками, в течение квантового скачка выплескивается в виде сгустка энергии ИКИ-материи. **Практическая реализация этой идеи приведет к созданию генераторов потоков квантов ИКИ-материи, являющихся экологически чистыми источниками энергии**.

В Заключении формулируются основные выводы работы.

Результаты исследований, кратко изложенные в данном разделе, указывают на то, что **классическая частица, освобожденная от ограничений, накладываемых Ньютоновской схемой механики на движение, представляет собой открытую самоорганизующуюся систему**. Следует подчеркнуть, что эти ограничения (на движения по инерции и на массу частицы), являются не более чем гипотезами, которые никогда не анализировались с точки зрения согласованности с другими гипотезами, внутренней непротиворечивости и соответствия экспериментальным данным. **Введение этих ограничений, таким образом, не обосновано. Их использование неприемлемо и с точки зрения диалектики, поскольку оно гарантирует искаженное описание реальных явлений и процессов и, следовательно, приводит к неадекватному восприятию окружающего мира.** На основании изложенного выше мы вправе охарактеризовать используемые ныне в физической науке ограничения на движение как **тяжкие оковы**, которые, образно говоря, мешают материи в полной мере проявить присущую ей по самой природе вещей способность к самоорганизации. **Трудности, переживаемые ныне физической наукой, являются, очевидно, закономерным следствием ограничений, накладываемых ею на движение материи.**

В связи с проблемой самоорганизации материи здесь уместно привлечь внимание к работам [13–20], в которых детально исследовалась проблема электрона в рамках квантовой электродинамики. Как видно из полученных в этих работах результатов, **электрон представляет собой открытую самоорганизующуюся систему**. Физической причиной самоорганизации является самодействие — обратное действие на заряженные частицы со стороны создаваемого ими собственного поля. **Построена последовательная квантовая модель электрона и получено фундаментальное уравнение, управляющее поведением самодействующего электрона в произвольном электромагнитном поле**. Хотя по внешнему виду это уравнение и совпадает с обычным уравнением Дирака для электрона во внешнем поле, оно качественно отличается от уравнения Дирака, поскольку учитывает самодействие электрона и потому является нелинейным и нелокальным уравнением. Исследованы решения фундаментального уравнения, из которых видно, что электрон является солитоном, а атом водорода — совокупностью взаимодействующих между собой электронного и ядерного солитонов.

В упомянутой выше модели электрона физический механизм самоорганизации обусловлен электрическим зарядом и связан с кулоновским полем: электрон, обладая электрическим зарядом, порождает в окружающем пространстве дальнодействующее кулоновское поле. Обратное действие этого поля на электрон и превращает частицу в открытую самоорганизующуюся систему, способную управлять своими характеристиками и поведением. Однако, как показано в [10–12], кулоновский закон имеет феноменологический характер, он не является фундаментальным физическим законом. Это значит, что механизм самоорганизации, рассмотренный в [15–19], также является грубым, приближенным. Результаты исследования криволинейной инерции, изложенные в данной работе, свидетельствуют о том, что самоорганизация материи возникает на простейшем уровне развития материи и может быть объяснена в рамках механики, без использования феноменологии в виде электрических зарядов и кулоновского поля. **Простейшей моделью самоорганизующейся системы является классическая частица, освобожденная от оков в виде принципа поступательной инерции и постоянства массы**.

2. Криволинейное движение по инерции классической частицы с переменной массой

Рассмотрим классическую частицу с изменяющейся со временем массой m, $m = m(t)$, движущуюся по инерции по криволинейной траектории, описываемой радиусом-вектором $\vec{r}$, $\vec{r} = \vec{r}(t)$. Согласно принятому в кинематике определению силы, на частицу действует сила

$$\vec{F} = d\vec{p}/dt\,, \tag{3}$$

где $\vec{p} = m\vec{v}$ — импульс частицы, $\vec{v} = \dot{\vec{r}}$. Радиус-вектор $\vec{r}$ запишем в полярных координатах r, ϕ, полагая для простоты, что движение происходит в плоскости xy. Векторы $\vec{r}$, $\vec{v} = \dot{\vec{r}}$ и $\vec{a} = \ddot{\vec{r}}$ можно представить в виде:

$$\vec{r} = r\vec{e}_r, \quad \vec{v} = \dot{r}\vec{e}_r + r\dot{\phi}\vec{e}_\phi, \quad \vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\phi}^2)\vec{e}_r + (2\dot{r}\dot{\phi} + r\ddot{\phi})\vec{e}_\phi\,, \tag{4}$$

где $\vec{e}_r = (\cos\phi, \sin\phi, 0)$, $\vec{e}_\phi = (-\sin\phi, \cos\phi, 0)$, $\vec{e}_z = (0, 0, 1)$. В силу (4) имеют место следующие соотношения:

$$\begin{aligned} &\vec{v} = \vec{v}_r + \vec{v}_\phi, \quad \vec{v}_r = \dot{r}\vec{e}_r, \quad \vec{v}_\phi = r\dot{\phi}\vec{e}_\phi = [\vec{\omega}\vec{r}], \quad \vec{\omega} = \dot{\phi}\vec{e}_z, \\ &\vec{L} = [\vec{r}\vec{p}] = L\vec{e}_z, \quad \vec{M} = [\vec{r}\vec{F}] = \dot{L}\vec{e}_z, \quad L = mr^2\dot{\phi}. \end{aligned} \tag{5}$$

Здесь $\vec{v}_r$ и $\vec{v}_\phi$ — поступательная и вращательная составляющие вектора скорости, $\vec{\omega}$ — вектор угловой скорости, $\vec{L}$ и $\vec{M}$ — моменты импульса и силы относительно начала координат в исходной системе отсчета.

Используя соотношения (3)–(5), условие криволинейного движения частицы по инерции,

$$dA = \vec{F}d\vec{r} = dT + (\dot{m}\vec{v}^2/2)dt = 0\,, \tag{6}$$

можно записать в следующем виде:

$$\vec{v}\,d(m\vec{v})/dt = v\,d(mv)/dt = 0, \tag{7}$$

где $T = m\vec{v}^2/2$ — кинетическая энергия частицы, $v = |\vec{v}| = \sqrt{\dot{r}^2 + r^2\dot{\phi}^2}$.

Из (6) и (7) следует, что движение по инерции возможно либо при $v = 0$, либо при

$$p = mv = const \neq 0\,. \tag{8}$$

Первый случай описывает простейшее состояние движения по инерции — состояние покоя частицы: $r = r_0 = const$, $\omega = \dot{\phi} = 0$. Во втором случае выполняются следующие равенства:

$$m = m_0 v_0/v, \quad \dot{m} = -m\dot{v}/v = -m_0 v_0 \dot{v}/v^2\,, \tag{9}$$

которые справедливы при условии, что $v \neq 0$. Величины m_0 и v_0 имеют следующий смысл: $m_0 = m(t_0)$, $v_0 = v(t_0)$, где t_0 — некоторый момент времени. Отметим, что при $\dot{r} = 0$ (т.е. при $r = r_0 \neq 0$, $r_0 = const$) имеем: $v = r_0|\dot{\phi}|$, $v_0 = r_0|\dot{\phi}_0|$, $\dot{\phi}_0 = \dot{\phi}(t_0)$. Из соотношений (8) и (9) вытекает важное физическое следствие: **если модуль скорости v частицы, движущейся ускорен-**

но по инерции, изменяется со временем, то изменяется со временем также и масса частицы, причем так, что сохраняется произведение $m(t)v(t)$. Можно также утверждать, что если частица совершает по инерции гармонические колебания, то зависимость массы частицы от времени также должна быть периодической. Значит, **условие постоянства массы (** $m = const$ **) означает ограничение на движение по инерции**: оно исключает возможность колебательного движения по инерции. Отметим следующие равенства, имеющие место при ускоренном движении по инерции: $v = p_0 / m, \quad T = p_0^2 / 2m = p_0 v / 2$, где $p_0 = m_0 v_0$. Как видим, скорость и кинетическая энергия частицы обратно пропорциональны массе, причем кинетическая энергия пропорциональна скорости.

Следует подчеркнуть, что определяемая формулой (9) зависимость массы частицы, движущейся ускоренно по инерции, от времени имеет фундаментальный характер. Она является прямым следствием явления ускоренного движения частицы по инерции. Очевидно, что в ускоренном движении частицы с переменной массой по инерции масса частицы не может быть мерой инертности частицы по отношению к внешним силам, так как в указанном процессе отсутствует какое-либо внешнее воздействие на частицу, которому частица должна была бы противодействовать. Как видно из (9), масса частицы сохраняется лишь при условии, что модуль ее скорости не изменяется со временем. Так, согласно [2], во вращательном движении по инерции в сильном смысле $v = const$ и поэтому $m = const$.

Исследование квантовых переходов классической частицы из одного состояния ускоренного движения по инерции в другое показывает [8,9], что классическая частица порождает особую физическую среду, которая как бы окутывает частицу облаком вторичных вихрей. Процессы «одевания» классической частицы переводят ее в возбужденные состояния. «Одетая» частица по своим физическим свойствам может существенно отличаться от частицы в исходном состоянии движения по инерции. В частности, если скорость «одетой» частицы изменяется со временем, $v = v(t)$, то с необходимостью изменяется, в соответствии с формулой (9), и масса частицы. Поскольку при «одевании» частицы в шубу из вторичных вихрей имеет место силовое воздействие ИКИ–среды на частицу, то неизбежна ответная реакция — противодействие со стороны частицы. Масса частицы и выступает в качестве меры, определяющей интенсивность этой ответной реакции. Таким образом, **в ускоренном движении по инерции масса частицы является мерой интенсивности взаимодействия классической частицы с порождаемой ею ИКИ–средой**. Указанное взаимодействие, интенсивность которого может существенно измениться в квантовых переходах частицы, является причиной изменения массы частицы со временем.

Вычислим поступательную и вращательную компоненты работы, совершаемой силой инерции $\vec{F}$ (3) над частицей. Используя (4) и (5), находим:

$$\begin{aligned} &dA = dA_r + dA_\phi, \quad dA_i = \vec{F}\vec{v}_i dt, \quad (i = r, \phi), \quad dA_r = \dot{r}[m(\ddot{r} - r\dot{\phi}^2) + \dot{m}\dot{r}]dt, \\ &dA_\phi = (\vec{F}[\vec{\omega}\vec{r}])dt = (\vec{\omega}d\vec{L}) = F_\phi r\dot{\phi}dt = \dot{\phi}\dot{L}dt, \end{aligned} \tag{10}$$

где $\vec{F} = F_r\vec{e}_r + F_\phi\vec{e}_\phi$; F_r и F_ϕ — поступательная и вращательная компоненты вектора $\vec{F}$. Отметим, что в силу (10) равенство $dA_\phi = 0$ выполняется как при $\dot{\phi} = 0$, так и при $L = const$, а в силу (5) $\dot{\vec{L}} = 0$ при $\dot{\phi} = 0$. **Отсюда следует, что при** $L = const$ **имеет место криволинейное движение частицы по инерции в сильном смысле**: $dA = 0, \quad dA_r = dA_\phi = 0$.

Как видно из полученных результатов, в случае **осцилляций по инерции в сильном смысле** выполняются равенства:

$$|\vec{p}| = mv = const, \quad |L| = const, \quad L = mr^2\dot{\phi}. \tag{11}$$

Учитывая равенства (11) и вводя обозначения $|\vec{p}| = p_0 = const, \quad |L| = L_0 = const$, выводим:

$$p_0 = \sqrt{m^2\dot{r}^2 + L_0^2/r^2}\ . \tag{12}$$

Чтобы установить, при каких условиях масса частицы, движущейся по инерции в сильном смысле, изменяется со временем, рассмотрим два случая: (a) $r = r_0 \neq 0, \quad r_0 = const$ и (b) $r = r(t)$.

В случае (a), используя (11) и (12) и полагая, что $m = m(t) > 0$, получаем:

$r_0 = L_0/p_0$, $|\dot\phi| = p_0/mr_0$. В соответствии с формулами (3), (11) и (12), на частицу действует сила инерции $\vec F = p_0\dot{\vec e}_v$, где $\vec e_v = \vec v / v$. Учитывая соотношения (4), выводим (при $\dot\phi \neq 0$): $\vec e_v = sign\dot\phi\vec e_\phi$, $\dot{\vec e}_v = -|\dot\phi|\vec e_r$. Значит, $\vec F = -p_0|\dot\phi|\vec e_r \neq 0$, но $dA = \vec F\vec v dt = 0$, $dA_\phi = \vec F\vec v_\phi dt = 0$. Таким образом, если траекторией движения частицы, движущейся по инерции в сильном смысле, является окружность, то сохраняется величина $m\dot\phi$, т.е. масса частицы изменяется со временем при условии, что изменяется со временем угловая скорость частицы $\omega = \dot\phi$.

В случае (b), $r \neq const$, из (11) и (12) выводим (как и выше, полагаем, что $m > 0$):

$$\dot r = \pm v\sqrt{r^2 - r_0^2}\,/\,r, \quad r\dot\phi = r_0 v/r, \quad r \geq r_0 = L_0\,/\,p_0. \tag{13}$$

Подстановка выражений (13) в формулу (4) для вектора скорости после несложных преобразований дает:

$$\vec e_v = \pm\frac{\sqrt{r^2 - r_0^2}}{r}\vec e_r + \frac{r_0}{r}\vec e_\phi.$$

Легко проверить, что $\vec e_v^{\,2} = 1$, $\dot{\vec e}_v = 0$. Это означает, что $\vec F = p_0\dot{\vec e}_v = 0$, т.е. в рассматриваемом случае при выполнении условий (11) имеет место поступательное движение по инерции.

Потребуем, чтобы траекторией движения частицы было коническое сечение, описываемое формулой:

$$r = r_0(1 + e\cos\phi)^{-1}, \tag{14}$$

где r_0, e — постоянные (r_0 — фокальный параметр, e — эксцентриситет). Используя (14) и равенство $L = mr^2\dot\phi$, нетрудно проверить следующие соотношения:

$$\dot r = \frac{r^2\dot\phi}{r_0}e\sin\phi = \frac{L}{mr_0}e\sin\phi, \quad \dot r^2 + r^2\dot\phi^2 = \frac{L^2}{m^2r_0^2}(1 + 2e\cos\phi + e^2), \quad T = \frac{p_0^2}{2m}. \tag{15}$$

Учитывая (12) и последние равенства, найдем:

$$L = \frac{r_0 p_0}{\sqrt{1 + 2e\cos\phi + e^2}}. \tag{16}$$

Отсюда следует, что $e = 0$ при $L = const$. Значит, в случае сильной инерции траекторией движения является окружность (и при этом $m = const$, если вращение частицы является равномерным: $\dot\phi = \omega = const$).

С помощью равенства $L = mr^2\dot\phi$ можно определить массу частицы:

$$m = \frac{p_0(1 + e\cos\phi)^2}{r_0\dot\phi\sqrt{1 + 2e\cos\phi + e^2}}. \tag{17}$$

Значит, при $e \neq 0$ имеет место движение частицы по инерции в слабом смысле ($L \neq const$), причем масса частицы и момент импульса, а также кинетическая энергия ($T = p_0^2/2m$) изменяются со временем периодически с частотой ω. При $e^2 << 1$ и $\dot\phi = const \neq 0$, с точностью до членов порядка e, найдем:

$$m = \frac{p_0}{r_0\dot\phi}(1 + e\cos\phi) = m_0 + \Delta m = \frac{p_0}{r\dot\phi}, \quad \Delta m\,/\,m_0 = e\cos\phi, \quad L = p_0 r, \quad T = \frac{\dot\phi}{2}p_0 r\,. \tag{18}$$

Как видим, с уменьшением радиуса кривизны r масса частицы возрастает, а скорость убывает ($v = r\dot\phi$), причем величины L и T пропорциональны r (при $e^2 << 1$).

Рассмотренный выше пример движения частицы по траектории в виде конического сечения показывает, что при малой величине эксцентриситета орбиты масса частицы приобретает поправку, изменяющуюся со временем периодически.

Перейдем к исследованию компонент dA_r и dA_ϕ работы, совершаемой силой инерции $\vec F$ (3) над частицей при $\dot m \neq 0$ (см. (10)). Указанные компоненты работы удобно представить следующим образом:

$$dA_r = \vec F\vec v_r dt = [\dot m\dot r^2 + m\dot r(\ddot r - r\dot\phi^2)]dt, \quad dA_\phi = \vec F\vec v_\phi dt = \left[\dot m r\dot\phi + m(2\dot r\dot\phi + r\ddot\phi)\right]r\dot\phi dt.$$

Из формул для компонент кинетической энергии: $T_r = m\dot{r}^2/2$, $\quad T_\phi = mr^2\dot{\phi}^2/2$ видно, что $dT_r = \dot{m}\dot{r}^2dt/2 + m\dot{r}\ddot{r}dt$, $\quad dT_\phi = \dot{m}r^2\dot{\phi}^2dt/2 + mr\dot{\phi}(\dot{r}\dot{\phi} + r\ddot{\phi})dt$. Отсюда:

$$\begin{aligned} &dA_r - dT_r = (\dot{m}\dot{r}^2/2 - mr\dot{r}\dot{\phi}^2)dt \equiv -d\tilde{\tilde{A}}_r, \\ &dA_\phi - dT_\phi = (\dot{m}r^2\dot{\phi}^2/2 + mr\dot{r}\dot{\phi}^2)dt \equiv -d\tilde{\tilde{A}}_\phi, \quad d\tilde{\tilde{A}}_\phi + d\tilde{\tilde{A}}_r = -(\dot{m}\vec{v}^2/2)dt. \end{aligned} \tag{19}$$

Складывая почленно левые и правые части первых двух равенств (19), получаем соотношение (см. (6))

$$dA = dT + (\dot{m}\vec{v}^2/2)dt, \tag{20}$$

согласно которому при $\dot{m} \neq 0$ работа силы инерции $\vec{F}$ над частицей не равна приращению кинетической энергии частицы. Чтобы уяснить физическое содержание равенства (20), представим силу инерции $\vec{F}$ в виде суммы двух составляющих: $\vec{F} = \vec{F}_0' + \vec{F}_1'$, где $\vec{F}_0' = m\vec{a}$, $\vec{F}_1' = \dot{m}\vec{v}$. Составляющая $\vec{F}_1'$ представляет собой **реактивную составляющую силы инерции**. Вычислим работу, совершаемую силами $\vec{F}_0'$ и $\vec{F}_1'$ над частицей при ее перемещении вдоль траектории на вектор перемещения $d\vec{r} = \vec{v}dt$:

$$dA_0 = \vec{F}_0'd\vec{r} = dT - dm(\vec{v}^2/2), \quad dA_1 = \vec{F}_1'd\vec{r} = dm\vec{v}^2, \quad dA = dA_0 + dA_1 = dT + dm(\vec{v}^2/2), \tag{21}$$

где $dm = \dot{m}dt$ — изменение массы частицы за время dt.

Согласно (20) и (21), работа силы $\vec{F}$ над частицей идет на приращение кинетической энергии частицы и на кинетическую энергию некоторого материального объекта массой dm, движущегося со скоростью исходной частицы. Указанному объекту можно приписать корпускулярные физические характеристики — кинетическую энергию dT', импульс $d\vec{p}'$, момент импульса $d\vec{L}'$:

$$dT' = dm(\vec{v}^2/2), \quad d\vec{p}' = \vec{v}dm, \quad d\vec{L}' = dm[\vec{r}\vec{v}]. \tag{22}$$

Следовательно, при движении частицы с переменной массой от частицы как бы отщепляется материальный объект массой dm, движущийся со скоростью самой частицы. Физический смысл полученных результатов состоит в том, что **ускоренно движущаяся по инерции классическая частица с переменной массой порождает в окружающем пространстве некоторую физическую среду, которая ведет себя подобно обычной частице.**

На основании проведенного выше анализа можно заключить, что при ускоренном движении по инерции классической частицы с переменной массой в непосредственном окружении частицы генерируется особая физическая среда (мы называем ее ИКИ–средой), которая перемещается вместе с частицей и обладает корпускулярными свойствами. **С формальной точки зрения это обусловлено тем, что на частицу с переменной массой действует реактивная составляющая силы инерции** $\vec{F}_1'$. Следует подчеркнуть, что в общепринятой стандартной теории реактивного движения под реактивной силой понимается сила, действующая на тело со стороны части вещества тела, которая в виде газовой струи выбрасывается из тела и сообщает телу ускорение, т.е. реактивная сила рассматривается в качестве причины ускорения тела. **В данной же работе сила** $\vec{F}_1'$ **рассматривается не как причина, а как следствие ускоренного движения тела**. В силу (9) при $v = const$ масса тела становится постоянной и, вследствие этого, $\vec{F}_1' = 0$. Существенно, что в таком подходе масса тела может не только уменьшаться со временем ($dm < 0$), как в стандартной теории реактивного движения, но и увеличиваться ($dm > 0$).

В силу (20) и (22) условие $dA = 0$ криволинейного движения по инерции можно записать в виде: $d(T + T') = 0$. Отсюда следует закон сохранения энергии при ускоренном движении частицы с переменной массой:

$$T + T' = a, \quad a = const. \tag{23}$$

Значит, **при ускоренном движении частицы по инерции сохраняется сумма кинетической энергии** T **частицы и энергии** T' **ИКИ–среды, порождаемой частицей**. Энергия среды T' определена с точностью до аддитивной постоянной a, величина которой несущественна, поскольку она выпадает из условия ускоренного движения по инерции. Удобно положить $a = \max T(v) \equiv T_m$. В этом случае величина T' неотрицательна:

$$T' = -T(v) + T_m \equiv T'(v) \geq 0\,, \tag{24}$$

причем, ввиду того, что $T(0) = 0$, имеют место равенства:

$$T'(0) = T_m, \quad T'(v_m) = 0\,, \tag{25}$$

где $v_m = \max v$.

В силу (21) кинетическая энергия dT' связана с величинами dA, dA_0, dA_1 и dT следующими соотношениями:

$$dA - dT = dT', \quad dA_0 - dT = -dT', \quad dT' = dm(\vec{v}^2/2) = dA_1/2\,. \tag{26}$$

Если частица движется ускоренно по инерции, т.е. $dA = 0$, то в силу (26) $dT = -dm(\vec{v}^2/2)$. Пусть для определенности $dm > 0$, т.е. масса частицы со временем возрастает. Тогда, ввиду того, что $T = p^2/2m,\ p = p_0 > 0$, кинетическая энергия частицы уменьшается, $dT < 0$, но соответственно возрастает кинетическая энергия окружения частицы: $dT' = |dT|$. Аналогично, если $dm < 0$, то кинетическая энергия частицы возрастает ($dT > 0$), но энергия ИКИ–среды уменьшается ($dT' < 0$). На перемещение окружения частицы расходуется энергия, равная dT', $dT' \neq 0$. Энергия среды, порождаемой частицей, равна, согласно (26), половине величины работы, совершаемой над частицей реактивной составляющей $\vec{F}_1'$ силы инерции. Подчеркнем, что кинетическая энергия частицы, движущейся ускоренно по инерции, сохраняется лишь при условии, что масса частицы не изменяется со временем. При $m \neq const$ **непрерывно происходит перераспределение энергии между частицей и порождаемой ею средой.**

Как видно из (19),

$$\begin{aligned} &dA_r - dT_r - (\dot{m}\vec{v}_r^2/2)dt = d\tilde{\tilde{A}}_\phi + (\dot{m}\vec{v}_\phi^2/2)dt = -d\tilde{A}_r\,, \\ &dA_\phi - dT_\phi - (\dot{m}\vec{v}_\phi^2/2)dt = d\tilde{\tilde{A}}_r + (\dot{m}\vec{v}_r^2/2)dt = -d\tilde{A}_\phi\,, \end{aligned} \tag{27}$$

где $d\tilde{A}_r = -d\tilde{A}_\phi = mr\dot{r}\dot{\phi}^2 dt$. Значит, имеют место соотношения

$$dA_r - dT_r - (\dot{m}\vec{v}_r^2/2)dt = -\left(dA_\phi - dT_\phi - (\dot{m}\vec{v}_\phi^2/2)dt\right),\ d\tilde{A}_r = -d\tilde{A}_\phi = mr\dot{r}\dot{\phi}^2 dt\,. \tag{28}$$

Из соотношений (20), (27) и (28) вытекает следующая физическая интерпретация величин $d\tilde{A}_i$ $(i = r, \phi)$: величина $d\tilde{A}_r$ - это энергия, перекачиваемая за время dt из поступательной степени свободы r во вращательную ϕ, а величина $d\tilde{A}_\phi$ — энергия, перекачиваемая в обратном направлении.

Как показано в работе [5], при $\dot{m} = 0$ процесс перекачки энергии из поступательной степени свободы во вращательную можно описать управляющим параметром

$$\tilde{g} = \frac{dA_r}{d\tilde{A}_r} = \frac{\ddot{r}}{r\dot{\phi}^2} - 1\,. \tag{29}$$

В силу (29) $\ddot{r} - r\dot{\phi}^2 = \tilde{g}r\dot{\phi}^2$, и поэтому проекцию силы инерции на радиальное направление можно записать в виде:

$$\vec{F}\vec{e}_r = m(\ddot{r} - r\dot{\phi}^2) = m\tilde{g}r\dot{\phi}^2\,. \tag{30}$$

При $\dot{m} \neq 0$ роль управляющего параметра играет следующая величина:

$$g' = \frac{dA_r}{d\tilde{\tilde{A}}_r + (\dot{m}\vec{v}_r^2/2)dt} = \frac{\dot{m}\dot{r} + m(\ddot{r} - r\dot{\phi}^2)}{mr\dot{\phi}^2} = \frac{d(m\dot{r})/dt}{mr\dot{\phi}^2} - 1\,. \tag{31}$$

В самом деле, с помощью (3), (4) и (31) выводим:

$$\vec{F}\vec{e}_r = \dot{m}\dot{r} + m(\ddot{r} - r\dot{\phi}^2) = mg'r\dot{\phi}^2\,.$$

Последнее равенство является очевидным обобщением равенства (30) на случай $\dot{m} \neq 0$. Как видно из (29) и (31), $g' = \tilde{g}$ при $m = const$. Отметим, что в силу (27) и (28), имеет место равенство: $d\tilde{\tilde{A}}_r + (\dot{m}\vec{v}_r^2/2)\,dt = d\tilde{A}_r$. Поэтому параметр g' (31) можно записать в виде: $g' = dA_r / d\tilde{A}_r$.

В связи с тем, что закон сохранения (23) напоминает закон сохранения полной механической энергии E частицы в потенциальном поле: $T + U \equiv E = const$, где U - потенциальная энергия, необходимо прояснить соотношение между указанными законами сохранения. Прежде всего, заметим, что сила инерции $\vec{F}$ (3) не может быть консервативной силой. В самом деле, предположив обратное, $\vec{F} = -\vec{\nabla} U \neq 0$, из равенства $dA = \vec{F} d\vec{r} = 0$ выводим, что $dU = 0$, т.е. возникает противоречие: $U = const$, $\vec{F} = 0$. Имеется качественное различие между рассматриваемыми здесь законами сохранения. Если в (23) T' - это энергия среды, порождаемой ускоренно движущейся по инерции частицей, то в равенстве $T + U = const$ величина U – это потенциальная энергия частицы, движущейся во внешнем силовом поле. Значит, обсуждаемые нами законы сохранения относятся к диалектически противоположным ускоренным движениям: один из них описывает движение тела по инерции, а другой — вынужденное движение тела.

3. Квантовые переходы классической частицы. Уравнение движения ИКИ–среды

Рассмотрим квантовый переход классической частицы

$$\vec{r}_1 + \vec{R}_1 \equiv \vec{r}' \quad \to \quad \vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{R}_2 \equiv \vec{r}'', \quad \vec{R}_1, \vec{R}_2 = const, \tag{32}$$

где $\vec{r}'$ и $\vec{r}''$ — радиусы-векторы, соответственно, начального (однодипольного) и конечного (двухдипольного) состояний ускоренного движения по инерции; $\vec{R}_1$ и $\vec{R}_2$ – радиусы-векторы точек O_1 и O_2, которые представляют собой центры вихрей, отвечающих начальному и конечному состояниям частицы (см. Рис.2а). Векторы скорости и импульса частицы изменяются следующим образом:

$$\begin{aligned} &\vec{v}' = \dot{\vec{r}}' = \vec{v}_1 \quad \to \quad \vec{v}'' = \dot{\vec{r}}'' = \vec{v}_1 + \vec{v}_2, \quad \vec{v}_i = \dot{\vec{r}}_i, \quad (i = 1,2), \\ &\vec{p}' = m'\vec{v}' = m'\vec{v}_1 \quad \to \quad \vec{p}'' = m''\vec{v}'' = m''(\vec{v}_1 + \vec{v}_2). \end{aligned} \tag{33}$$

Считаем, что квантовый переход происходит в момент времени $t = t_0$; $m' = m'(t)$ и $m'' = m''(t)$ — масса частицы, соответственно, в начальном и конечном состояниях. Векторы с одним штрихом ($\vec{v}' = \vec{v}'(t), \vec{p}' = \vec{v}'(t)$) и векторы с двумя штрихами ($\vec{v}'' = \vec{v}''(t), \vec{p}'' = \vec{p}''(t)$), входящие в (33), описывают физическое состояние частицы в начальном и конечном состояниях, соответственно. Разности этих векторов ($\vec{v}'' - \vec{v}'$, $\vec{p}'' - \vec{p}'$) характеризуют состояние движения физической среды, порожденной в результате рассматриваемого перехода, т.е. ИКИ-среды. Если через $O_1'(t)$ и $\vec{R}_1'(t) \equiv \vec{R}_1'$ обозначить точку, в которой находится центр главного вихря частицы в двухдипольном состоянии $\vec{r}''$ (32), и радиус-вектор этой точки в момент времени t, то, очевидно, $\vec{R}_1' = \vec{r}_2 + \vec{R}_2$, $O_1'(t_0) = O_1$, $\vec{R}_1'(t_0) = \vec{R}_1$. Отсюда видно, что $\vec{v}_2 = \dot{\vec{R}}_1'$.

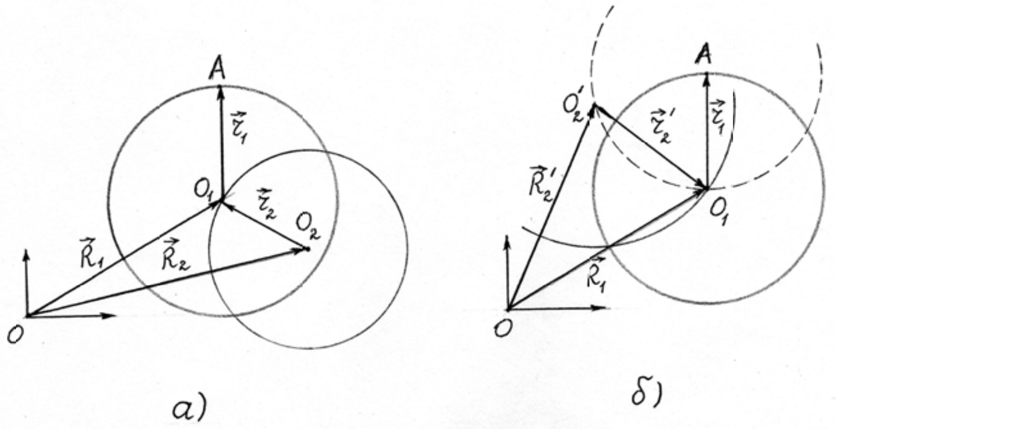

Рис. 2. Квантовые переходы классической частицы из однодипольного состояния в двухдипольное:
а) $\vec{r}_1 + \vec{R}_1 \to \vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{R}_2$, $\vec{R}_1$ и $\vec{R}_2$ — радиусы-векторы центров вихрей O_1 и O_2;
б) $\vec{r}_1 + \vec{R}_1 \to \vec{r}_1 + \vec{r}_2' + \vec{R}_2'$, $\vec{R}_1$ и $\vec{R}_2'$ — радиусы-векторы центров вихрей O_1 и O_2'.

Вектор

$$\vec{p}'' - \vec{p}' \equiv \vec{k} \tag{34}$$

представляет собой импульс ИКИ-среды. В случае частицы с переменной массой **ИКИ-среда, порождаемая частицей, содержит две компоненты — непрерывную, имеющую классиче-**

ский характер, и дискретную (квантовую), состоящую из элементарных возбуждений (квантов). Поэтому импульс $\vec{k}$ среды можно записать в виде:

$$\vec{k} = \vec{k}_0 + \vec{k}_1, \tag{35}$$

где $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_0$ — импульсы, соответственно, классической компоненты ИКИ-среды и кванта этой среды. На основании соотношений (22), (32)–(35) величины $\vec{k}_1$ и $\vec{k}_0$ можно представить следующим образом:

$$\vec{k}_1 = \Delta m \vec{v}_1, \quad \vec{k}_0 = m'' \vec{v}_2, \quad \Delta m = m'' - m'. \tag{36}$$

Обозначая через E' и E'' энергию среды, порождаемой частицей в начальном и конечном состояниях ускоренного движения по инерции, получаем следующие законы сохранения энергии (см. (23)):

$$T' + E' = a', \quad T'' + E'' = a'', \quad a', a'' = const, \tag{37}$$

где $T' = \vec{p}'^2 / 2m'$ и $T'' = \vec{p}''^2 / 2m''$ — кинетическая энергия частицы в начальном и конечном состояниях. Полагая $a' = a''$, выводим из (37):

$$\Delta E \equiv E'' - E' = -(T'' - T'), \tag{38}$$

ΔE — приращение энергии среды, обусловленное квантовым переходом частицы (32). Величину ΔE представим в виде суммы двух компонент:

$$\Delta E = \Delta E_0 + \Delta E_1. \tag{39}$$

Здесь ΔE_1 и $\Delta E_0 = \Delta E_0(\vec{k}_0)$ — приращение энергии классической компоненты среды и энергии кванта среды с импульсом $\vec{k}_0$. Используя равенства (33) и (36)-(39), получаем:

$$\Delta E_0(\vec{k}_0) = -m''(\vec{v}_1\vec{v}_2 + \vec{v}_2^2 / 2) = -(1/m'')\left((m''/m')\vec{p}'\vec{k}_0 + \vec{k}_0^2 / 2\right), \quad \Delta E_1 = -\Delta m \vec{v}_1^2 / 2. \tag{40}$$

При выводе последних равенств учтено, что $\vec{v}_1 = \vec{p}' / m'$, $\vec{v}_2 = \vec{k}_0 / m''$ (см. (33) и (36)).

На частицу в начальном и конечном состояниях действуют силы инерции

$$\vec{F}' = d\vec{p}'/dt, \quad \vec{F}'' = d\vec{p}''/dt, \tag{41}$$

которые, вместе с величинами $\vec{v}', m', \vec{v}'', m''$, определяются из условий движения частицы по инерции:

$$dA' = \vec{F}'\vec{v}'dt = \vec{v}_1 d(m'\vec{v}_1) = 0, \quad dA'' = \vec{F}''\vec{v}''dt = (\vec{v}_1 + \vec{v}_2)d(m''(\vec{v}_1 + \vec{v}_2)) = 0. \tag{42}$$

Дифференцируя по времени обе части равенства (34) и используя выражения (41), получаем уравнение движения ИКИ-среды, порождаемой в результате рассматриваемого перехода:

$$d\vec{k}/dt = \vec{F}'' - \vec{F}'. \tag{43}$$

Начальное условие к уравнению (43), в соответствии с законом сохранения импульса (34), можно записать в следующей форме:

$$\vec{k}(t_0) = \vec{p}''(t_0) - \vec{p}'(t_0) = \Delta m_0 \vec{v}_{10} + m''_0 \vec{v}_{20}, \tag{44}$$

где $\Delta m_0 = m''_0 - m'_0$, $m'_0 = m'(t_0)$, $m''_0 = m''(t_0)$, $\vec{v}_{i0} = \vec{v}_{i0}(t_0)$, $i = 1,2$. Уравнение (43), дополненное начальным условием (44), описывает поведение ИКИ-среды, которая порождается частицей, совершающей квантовый переход из одного состояния движения по инерции в другое. Очевидно, что это уравнение имеет общий характер, хотя оно получено при рассмотрении квантового перехода частицы частного вида — перехода из однодипольного состояния движения в двухдипольное. **Дополнив механику уравнением движения (43), мы получаем замкнутую схему механики открытых систем**. Теперь механика описывает не только движение материальных тел, но и движение ИКИ-среды, генерируемой движущимися телами. Движения частиц и ИКИ-среды порождают как взаимодействие между частицами, так и взаимодействие между частицами и ИКИ-средой.

Физическое содержание уравнения (43) состоит в следующем. Это уравнение связывает изменение импульса ИКИ-среды с квантовыми переходами классической частицы из одного состояния ускоренного движения по инерции в другое. **Изменение сил инерции, действующих на частицы в указанных переходах, является причиной изменения импульса ИКИ-среды.** Подчеркнем, что причиной квантовых переходов служит неоднородность и неизотропность окружающего пространства, обусловленная движением классических частиц. В условиях неоднородного и неизотропного пространства частицы перемещаются по криволинейным траекториям таким образом, чтобы выполнялись условия движения по инерции (42), т.е. чтобы не расходовалась собственная энергия частиц на совершение работы по их перемещению.

Запишем векторы $\vec{r}_i$ и $\vec{v}_i$ в полярных координатах:

$$\vec{r}_i = r_i\vec{e}_{r_i}, \quad \vec{e}_{r_i} = (\cos\phi_i, \sin\phi_i), \quad \dot{\vec{e}}_{r_i} = \dot{\phi}_i\vec{e}_{\phi_i}, \quad \vec{e}_{\phi_i} = (-\sin\phi_i, \cos\phi_i), \quad \dot{\vec{e}}_{\phi_i} = -\dot{\phi}_i\vec{e}_{r_i},$$
$$\vec{v}_i = v_{ir_i}\vec{e}_{r_i} + v_{i\phi_i}\vec{e}_{\phi_i}, \quad v_{ir_i} = \dot{r}_i, \quad v_{i\phi_i} = r_i\dot{\phi}_i, \quad i = 1, 2. \tag{45}$$

Вращательную компоненту вектора скорости $\vec{v}_i$ можно представить в виде:

$$\vec{v}_{i\perp} = r_i\dot{\phi}_i\vec{e}_{\phi_i} = [\vec{\omega}_i\vec{r}_i], \quad \vec{\omega}_i = \omega_i\vec{e}_z, \quad \omega_i = \dot{\phi}_i. \tag{46}$$

Для упрощения выкладок будем полагать, что $r_i = const$. Тогда $\vec{v}_i = \vec{v}_{i\perp} = r_i\dot{\phi}_i\vec{e}_{\phi_i} = [\vec{\omega}_i\vec{r}_i]$.

Вначале рассмотрим **начальное состояние движения частицы**. В силу (42) условия ускоренного движения по инерции в сильном смысле имеют вид:

$$dA' = v_1 d(m'v_1) = 0 \quad \to \quad p' = m'v_1 = m'r_1\left|\dot{\phi}_1\right| = const,$$
$$dA'_\perp = \vec{F}'\vec{v}_{1\perp}dt = (\vec{F}'[\vec{\omega}_1\vec{r}_1])dt = (\vec{\omega}_1\frac{d}{dt}[\vec{r}_1\, m'\vec{v}_1])dt = 0. \tag{47}$$

Далее считаем, что $\vec{\omega}_i = const$. Тогда $dA'_\perp = d(m'r_1^2\omega_1^2) = 0 \quad \to \quad m'r_1^2\omega_1^2 = const$. Как видим, в силу того, что $r_1 = const$, $\omega_1 = const$, второе из условий (47) не дает ничего нового в сравнении с первым. И, значит, $m' = p'/v_1 = const$, т.е. в начальном состоянии мы имеем дело с вращательной инерцией частицы с постоянной массой. Вычислим управляющий параметр по формуле (31): $g' = -1$. Значит, $\vec{F}\vec{e}_r = -mr\dot{\phi}^2$. Физические характеристики начального состояния имеют вид:

$$\vec{p}' = m'\vec{v}', \ p' = \left|\vec{p}'\right| = const, \ \vec{v}' = \vec{v}_{\ 1} = [\vec{\omega}_1\vec{r}_1], \quad \vec{L}' = [\vec{r}_1\vec{p}'] = m'\vec{r}_1^{\,2}\vec{\omega}_1, \ T' = m'\vec{v}_1^{\,2}/2, \ m' = p'/v_1. \tag{48}$$

Теперь обратимся **к конечному состоянию движения частицы**. Введем обозначения:

$$\vec{r}_1 + \vec{r}_2 = \vec{r} = r\vec{e}_r, \quad \vec{e}_r = (\cos\phi, \sin\phi),$$
$$\vec{v} = \dot{\vec{r}} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 = \dot{r}\vec{e}_r + r\dot{\phi}\vec{e}_\phi, \quad \vec{e}_\phi = (-\sin\phi, \cos\phi). \tag{49}$$

Отсюда получаем соотношения:

$$\cos\phi = r^{-1}(r_1\cos\phi_1 + r_2\cos\phi_2), \quad \sin\phi = r^{-1}(r_1\sin\phi_1 + r_2\sin\phi_2),$$
$$r^2 = r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2\cos(\phi_1 - \phi_2), \quad \vec{v}^2 = r_1^2\dot{\phi}_1^2 + r_2^2\dot{\phi}_2^2 + 2r_1r_2\dot{\phi}_1\dot{\phi}_2\cos(\phi_1 - \phi_2), \tag{50}$$
$$\dot{\phi} = r^{-2}(r_1^2\dot{\phi}_1 + r_2^2\dot{\phi}_2 + r_1r_2(\dot{\phi}_1 + \dot{\phi}_2)\cos(\phi_1 - \phi_2)).$$

Из второго из равенств (42) выводим:

$$p'' = m''v = const, \quad v = \sqrt{r_1^2\dot{\phi}_1^2 + r_2^2\dot{\phi}_2^2 + 2r_1r_2\dot{\phi}_1\dot{\phi}_2\cos(\phi_1 - \phi_2)} \equiv v(t). \tag{51}$$

Скачок модуля вектора скорости частицы в момент квантового перехода составляет:

$$v_0 - r_1\left|\dot{\phi}_1\right| \equiv \Delta v, \quad v_0 = v(t_0). \tag{52}$$

В силу (49) вихревую компоненту вектора скорости $\vec{v}$ можно представить в виде:

$$\vec{v}_\perp = r\dot{\phi}\vec{e}_\phi = [\vec{\omega}\vec{r}], \quad \vec{\omega} = \dot{\phi}\vec{e}_z. \tag{53}$$

Вычислим вихревую компоненту работы dA'' (42):

$$dA''_\perp = \vec{F}''\vec{v}''_\perp dt = (\vec{\omega}[\vec{r}\frac{d}{dt}m''\vec{v}])dt = (\vec{\omega}\frac{d}{dt}\vec{L}'')dt, \quad \vec{L}'' = [\vec{r}, m''\vec{v}] = m''r^2\dot{\phi}\vec{e}_z. \tag{54}$$

Окончательная формула имеет вид: $dA''_\perp/dt = \dot{\phi}\frac{d}{dt}(m''r^2\dot{\phi}) = \dot{\phi}^2\frac{d}{dt}(m''r^2) + m''r^2\frac{d}{dt}\frac{\dot{\phi}^2}{2}$. Условие $dA''_\perp = 0$ дает (при $\dot{\phi} \neq 0$):

$$\vec{L}'' = const. \tag{55}$$

Выпишем физические характеристики частицы в конечном состоянии движения (ср. с (48)):

$$\vec{p}'' = m''\vec{v}, \quad \vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2, \quad \vec{L}'' = [\vec{r}, m''\vec{v}] = m''r^2\vec{\omega}, \quad T'' = m''\vec{v}^2/2,$$
$$\omega = r^{-2}(r_1^2\omega_1 + r_2^2\omega_2 + r_1r_2(\omega_1 + \omega_2)\cos(\phi_1 - \phi_2)). \tag{56}$$

При

$$\phi_1 - \phi_2 = \alpha = const, \quad \dot{\phi}_1 = \dot{\phi}_2 = const \neq 0 \qquad (57)$$

имеют место равенства: $\dot{\phi}_1 = \dot{\phi}_2 = \dot{\phi} = \omega, \ v = v_0$. Поэтому, в силу (51), масса частицы в конечном состоянии остается постоянной: $m'' = p''/v$, испытывая скачок на величину $\Delta m = p''/v - p'/v_1$ в момент квантового перехода $t = t_0$. При этом в силу (50), (52) и (56)

$$v = |\omega| r, \quad r = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos\alpha}, \quad \vec{L}'' = m'' r^2 \vec{\omega}, \quad T'' = m'' v^2 / 2, \quad \Delta v = |\omega| (r - r_1).$$

Как видим, в результате квантового перехода частица переходит в новое состояние движения **по инерции в сильном смысле**, в котором угловая скорость частицы сохраняет прежнее значение, но масса и модули радиуса-вектора и вектора скорости частицы изменяются скачком. Управляющий параметр остается прежним: $g' = -1$ (так как $\dot{m} = 0, \ \dot{r} = 0$, см. (31)).

Физические характеристики ИКИ-среды (импульс и энергия) даются формулами (35)–(40). Используя равенства $\vec{k}_0 = m'' \vec{v}_2$, $\vec{p}' = m' \vec{v}_1$ и $\vec{v}_i = [\vec{\omega} \vec{r}_i], \ i = 1, 2,$ нетрудно вывести следующие соотношения:

$$\vec{v}_1 \vec{v}_2 + \vec{v}_2^2 / 2 = \omega^2 (\vec{r}_1 \vec{r}_2 + \vec{r}_2^{\,2} / 2), \qquad (58)$$

$$\vec{r}_1 = \alpha' [\vec{\omega} \vec{p}'], \quad \vec{r}_2 = \alpha'' [\vec{\omega} \vec{k}_0], \quad \alpha' = -1 / m' \omega^2, \quad \alpha'' = -1 / m'' \omega^2. \qquad (59)$$

Учитывая (58), первое из равенств (40) для $\Delta E_0(\vec{k}_0)$ можно преобразовать к виду:

$$\Delta E_0(\vec{k}_0) = -m'' \omega^2 (\vec{r}_1 \vec{r}_2 + \vec{r}_2^{\,2} / 2). \qquad (60)$$

Из полученных результатов видно, что энергетический спектр элементарных возбуждений ИКИ-среды существенно зависит от двух параметров: скачка массы частицы Δm и скачка модуля импульса $\Delta p = p'' - p'$.

При $\Delta m = 0$ (этот случай рассмотрен в работе [8]), непрерывная составляющая ИКИ-среды отсутствует: $\vec{k}_1 = 0, \ \Delta E_1 = 0$. В соответствии с равенствами (35) и (39) $\vec{k} = \vec{k}_0$, $\Delta E = \Delta E_0(\vec{k}_0)$. Величина энергии кванта среды $\Delta E_0(\vec{k}_0)$ принимает положительные значения при выполнении условий $k_0 < 2p'$, $\vec{p}' \vec{k}_0 < 0$, которые эквивалентны условию $v = |\vec{v}_1 + \vec{v}_2| < v_1$, и достигает максимума при $\vec{k}_0 = -\vec{p}' \equiv \vec{k}_0^*$: $\Delta E_0(\vec{k}_0^*) = -p'^2 / (2m')$. В области, в которой величина ΔE положительна, происходят процессы трансформации вещества классической частицы в ИКИ-среду. В точке $\vec{r}_2 = -\vec{r}_1$, отвечающей максимуму функции (60) (в указанной точке $\vec{v}_2 = -\vec{v}_1$), происходит полная трансформация вещества классической частицы в ИКИ-материю.

Если квантовый переход (32) характеризуется тем, что равны нулю одновременно скачок массы и скачок модуля импульса частицы (т.е. $\Delta m = 0, \ p'' = p' \equiv p \neq 0$), то энергия квантов ИКИ-материи обращается в нуль, хотя импульс квантов, вообще говоря, отличен от нуля:

$$\vec{k}_0 = \vec{p}'' - \vec{p}' = p(\vec{e}_{\vec{v}} - \vec{e}_{\vec{v}_1}) \neq 0, \qquad (61)$$

где $\vec{e}_{\vec{v}}$ и $\vec{e}_{\vec{v}_1}$ — орты векторов $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$ и $\vec{v}_1$. Кванты ИКИ-среды с нулевой энергией возникают в квантовых переходах вида (32) при условии $v = |\vec{v}_1 + \vec{v}_2| = v_1$. Множество указанных квантовых переходов можно получить графически следующим способом. Обозначим через A и O_1 точки, в которых находятся частица в момент времени $t = t_0$ и центр вихря, отвечающего начальному состоянию частицы. Проведем окружность радиуса $r_1 = |\overrightarrow{O_1 A}|$ с центром в точке A (см. Рис.2б) и рассмотрим квантовый переход (32), отвечающий перескоку центра вихря из точки O_1, лежащей на нашей окружности, в любую точку O_2' на этой же окружности. Очевидно, что состояние движения частицы, описываемое радиусом-вектором $\vec{r}_1 + \vec{r}_2'$, где $\vec{r}_1 = \overrightarrow{O_1 A}, \ \vec{r}_2' = \overrightarrow{O_2' O_1}$, и будет искомым конечным состоянием, отвечающим квантовому переходу (32) при условии, что $\vec{r}_2 = \vec{r}_2', \ \ \vec{R}_2 = \vec{R}_2'$. При перемещении центра вихря O_2' частицы в конечном состоянии по указанной окружности получается континуум квантовых переходов вида (32), приводящих к квантам ИКИ-среды с нулевой энергией. Кванты с положительной (отрицательной) энергией ΔE получаются при смещении точки O_2' из положения на окружности внутрь (вовне) области, ограниченной окружностью.

Если $\Delta m \neq 0$, но $|\vec{v}_1 + \vec{v}_2| = v_1$, то имеются как классическая, так и квантовая компоненты среды: $\vec{k}_1 = \Delta m \vec{v}_1$, $\Delta E_1 = -\Delta m \vec{v}_1^2 / 2$, $\vec{k}_0 = m'' \vec{v}_2$, $\Delta E_0(\vec{k}_0) = 0$. Из последних двух равенств видно, что в рассматриваемом случае кванты ИКИ-материи обладают ненулевым импульсом и нулевой энергией.

Существует, таким образом, ветвь элементарных возбуждений ИКИ–материи, кванты которой имеют ненулевой импульс, но нулевую энергию: $\vec{k}_0 \neq 0,\ \Delta E_0(\vec{k}_0) = 0$. Такие кванты отличаются как от фотонов, так и от фононов. По-видимому, потоки квантов такого рода можно использовать для осуществления сверхсветовой (и даже мгновенной) коммуникации. Можно думать, что аура человека, животных и растений, а также сетка Хартмана представляют собой потоки квантов материи с нулевой энергией. Такие потоки невозможно зарегистрировать измерительными приборами, которые реагируют на изменение энергии (ввиду того, что $\Delta E_0(\vec{k}_0) = 0$, при прохождении потоков рассматриваемого типа через прибор изменение энергии как раз равно нулю).

Пусть теперь выполняются условия (ср. с (57))

$$\phi_1 - \phi_2 = \omega_{12} t + \alpha_0,\ \omega_{12} = \omega_1 - \omega_2 = const \neq 0,\ \alpha_0 = const. \qquad (62)$$

Как видно из (50), (51) и (53), в этом случае угловая скорость $\dot{\phi} = \omega \neq \omega_{12}$; масса частицы в конечном состоянии и угловая скорость ω становятся периодическими функциями времени, характеризующимися частотой ω_{12}. Значит, в этом случае имеет место **движение по инерции в слабом смысле**. Величины $\vec{k}_1, \vec{k}_0, \Delta E_1$ и $\Delta E_0(\vec{k}_0)$ определяются общими формулами (36) и (40), согласно которым $\vec{k}_1 \neq 0,\ \Delta E_1 \neq 0$. Приведем формулы, характеризующие конечное состояние частицы, отвечающее квантовому переходу (32):

$$\begin{aligned} & m'' = p''/v, \quad v(t) = \sqrt{r_1^2 \dot{\phi}_1^2 + r_2^2 \dot{\phi}_2^2 + 2 r_1 r_2 \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 \cos\alpha}, \\ & \omega = r^{-2}(r_1^2 \omega_1 + r_2^2 \omega_2 + r_1 r_2 (\omega_1 + \omega_2)\cos\alpha), \\ & r = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + 2 r_1 r_2 \cos\alpha}, \quad \alpha = \phi_1 - \phi_2 = \omega_{12} t + \alpha_0,\ \omega_{12} = \omega_1 - \omega_2. \end{aligned} \qquad (63)$$

Учитывая равенства $\vec{v}_i = [\vec{\omega}_i \vec{r}_i]$, справедливые при $r_i = const$ (см. (46)), выражение (40) для $\Delta E_0(\vec{k}_0)$ можно преобразовать к виду:

$$\Delta E_0(\vec{k}_0) = -m'' \left((\vec{\omega}_1 \vec{\omega}_2)(\vec{r}_1 \vec{r}_2) + \vec{\omega}_2^2 \vec{r}_2^2 / 2 \right) \equiv \Delta \tilde{E}_0(\vec{r}_2). \qquad (64)$$

Из (64) видно, что $\Delta \tilde{E}_0(\vec{r}_2) = 0$ при $r_2 = 0$ либо при $r_2 = -2(\omega_1/\omega_2) r_1 \cos\alpha \equiv 2 r_2^*,\ \cos\alpha < 0$. Далее, $\max \tilde{E}_0(\vec{r}_2) = (1/2) m'' \omega_2^2 (r_2^*)^2$; максимум достигается при $r_2 = r_2^*$. Вследствие того, что угол α зависит от времени (см.(63)), процессы трансформации ИКИ–материи в обычное вещество и обратные процессы со временем сменяют друг друга.

Если выполняются условия

$$\eta << 1, \quad \eta \equiv r_2 / r_1, \quad \omega_2 \leq \omega_1, \qquad (65)$$

то, ограничиваясь лишь членами порядка η, получаем ($\alpha = \omega_{12} t + \alpha_0$):

$$r = r_1(1 + \eta\cos\alpha), \quad \dot{r} = -r_1 \omega_{12} \eta \sin\alpha, \quad \omega = \dot{\phi} = \omega_1 - (\omega_1 - \omega_2)\eta\cos\alpha, \quad v = r_1 \omega_1 (1 + \frac{\omega_2}{\omega_1} \eta \cos\alpha).$$

Следовательно, масса частицы при $t \geq t_0 = 0$ составляет ($\alpha_0' = \omega_{12} t_0 + \alpha_0$):

$$m'' = m' + \Delta m, \quad \Delta m = -m'(\omega_2/\omega_1)\eta(\cos\alpha - \cos\alpha_0'), \quad |\Delta m| << m'. \qquad (66)$$

Используя (31), получаем формулу: $g' = -(\omega_{12}^2 / \omega_1^2)\eta\cos\alpha - 1$, из которой видно, что в двухчастичной задаче в рассматриваемом приближении частицы притягиваются друг к другу.

Отметим, что в линейном по η приближении (65) получаются следующие выражения:

$$\begin{aligned} & \Delta E_1 = -(\Delta m/2)\vec{v}_1^2 \approx (1/2) m' \omega_1 \omega_2 r_1^2 \eta(\cos\alpha - \cos\alpha_0'), \\ & \Delta E_0(\vec{k}_0) = -m'' \omega_1^2 r_1^2 \left((\omega_2/\omega_1)\eta\cos\alpha + (\omega_2/\omega_1)^2 \eta^2/2 \right) \approx -m' \omega_1 \omega_2 r_1^2 \eta \cos\alpha, \\ & \Delta E_1 + \Delta E_0(\vec{k}_0) \approx -(1/2) m' \omega_1 \omega_2 r_1^2 \eta(\cos\alpha + \cos\alpha_0'). \end{aligned} \qquad (67)$$

Согласно (66) и (67), при $\omega_1 \neq \omega_2$ энергия и масса кванта ИКИ–среды являются периодическими функциями времени. Мы получили, таким образом, аналог кристаллической структуры, но не в пространстве, а во времени. Указанная структура получается в результате квантовых переходов частицы, движущейся по инерции в слабом смысле, из одного состояния движения по инерции в другое. В этом случае перемещение частицы в пространстве сопровождается перераспределением энергии частицы между степенями свободы, а также перераспределением энергии между частицей и ИКИ–средой. Движение частицы по инерции превращает абстрактное геометрическое пространство в физическое, наделяя его периодической структурой во времени. Согласно (66), зависимость массы m'' от времени ослабевает вблизи точек, в которых $\cos\alpha = \cos\alpha_0'$.

Таким образом, квантовый переход (32) из однодипольного состояния движения в двухдипольное при выполнении условий (62) приводит к слабому движению по инерции, в котором масса частицы и физические характеристики кванта ИКИ–среды изменяются со временем по гармоническому закону с частотой ω_{12}.

Изложенное выше позволяет сформулировать следующий вывод. «Одевание» частицы шубой вторичных вихрей приводит, вообще говоря, к изменению модуля скорости частицы. Вследствие этого, в соответствии с формулой (9), при «одевании» частицы изменяется ее масса. Будучи мерой инертности по отношению к внешним силам, масса частицы является также мерой интенсивности взаимодействия частицы с порождаемой ею ИКИ– средой. Физическая суть процессов, происходящих при квантовых переходах частицы, состоит в том, что порождаемая частицей физическая среда оказывает силовое воздействие на частицу, в результате которого изменяются физические свойства и поведение частицы.

4. Колебательное движение по инерции. Модель гармонического осциллятора

Рассмотрим двухдипольное состояние движения частицы по инерции (49), удовлетворяющее следующим условиям:

$$r_1 = r_0 + \varepsilon, \quad r_2 = r_0 - \varepsilon, \quad -r_0 < \varepsilon < r_0, \quad \phi_i = \omega_i t + \alpha_i, \quad \dot{\phi}_i = \omega_i, \quad \omega_1 = -\omega_2 \equiv \omega_0, \tag{68}$$

где $r_0, \varepsilon, \alpha_i, \omega_i = const$, $i = 1, 2$. Используя соотношения (45) и (50), вычисляем:

$$\begin{gathered}
(\phi_1 \pm \phi_2)/2 \equiv \phi^{(\pm)}, \quad \phi^{(+)} = (\alpha_1 + \alpha_2)/2, \quad \phi^{(-)} = \omega_0 t + (\alpha_1 - \alpha_2)/2, \\
\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2 = r\vec{e}_r, \quad \dot{\vec{r}}_i = r_i \dot{\phi}_i \vec{e}_{\phi_i}, \quad \vec{v} = \dot{\vec{r}} = \dot{r}\vec{e}_r + r\dot{\phi}\vec{e}_\phi = v\vec{e}_v, \\
\vec{e}_r = (\cos\phi, \sin\phi), \quad \vec{e}_\phi = (-\sin\phi, \cos\phi), \\
r^2 = 2(r_0^2 + \varepsilon^2 + (r_0^2 - \varepsilon^2)\cos 2\phi^{(-)}), \quad v^2 = 2\omega_0^2(r_0^2 + \varepsilon^2 - (r_0^2 - \varepsilon^2)\cos 2\phi^{(-)}), \\
\omega = \dot{\phi} = 4\omega_0 r_0 \varepsilon / r^2, \quad \dot{r} = -2(r_0^2 - \varepsilon^2)\omega_0 \sin 2\phi^{(-)}/r, \quad \dot{v} = 2(r_0^2 - \varepsilon^2)\omega_0^3 \sin 2\phi^{(-)}/v,
\end{gathered} \tag{69}$$

где $\vec{e}_{\vec{v}}$ — орт вектора скорости $\vec{v}$.

Далее используем представления (см. (45)):

$$\begin{aligned}
\vec{r} &= r_1\vec{e}_{r_1} + r_2\vec{e}_{r_2} = 2\left(r_0 \cos\phi^{(-)}\vec{e}_r' + \varepsilon \sin\phi^{(-)}\vec{e}_\phi'\right), \\
\vec{v} &= \dot{\vec{r}} = 2\omega_0\left(-r_0 \sin\phi^{(-)}\vec{e}_r' + \varepsilon\cos\phi^{(-)}\vec{e}_\phi'\right).
\end{aligned} \tag{70}$$

Здесь учтены соотношения:

$$\begin{gathered}
\vec{e}_{r_1} + \vec{e}_{r_2} = 2\cos\phi^{(-)}\vec{e}_r', \quad \vec{e}_{r_1} - \vec{e}_{r_2} = 2\sin\phi^{(-)}\vec{e}_\phi', \quad \vec{e}_{\phi_1} + \vec{e}_{\phi_2} = 2\cos\phi^{(-)}\vec{e}_\phi', \\
\vec{e}_{\phi_1} - \vec{e}_{\phi_2} = -2\sin\phi^{(-)}\vec{e}_r', \quad \vec{e}_r' = \left(\cos\phi^{(+)}, \sin\phi^{(+)}, 0\right), \quad \vec{e}_\phi' = \left(-\sin\phi^{(+)}, \cos\phi^{(+)}, 0\right).
\end{gathered} \tag{71}$$

Равенства (70) дают разложение радиуса-вектора и вектора скорости на две взаимно перпендикулярные компоненты.

Отметим положение точек экстремума функций $r = r(t)$ и $v = v(t)$:

$$\begin{gathered}
r = 2|\varepsilon| \equiv r_{\min} \quad \text{при } \phi^{(-)} = (2k+1)\pi/2 \equiv \phi^{(-)}_{\min}; \quad r = 2r_0 \equiv r_{\max} \text{ при } \phi^{(-)} = k\pi \equiv \phi^{(-)}_{\max}, \\
v = 2\omega_0|\varepsilon| \equiv v_{\min} \text{ при } \phi^{(-)} = \phi^{(-)}_{\max}; \quad v = 2\omega_0 r_0 \equiv v_{\max} \text{ при } \phi^{(-)} = \phi^{(-)}_{\min},
\end{gathered}$$

где $k = 0, \pm 1, \ldots$. Легко проверить, что векторы $\vec{r}$ и $\vec{v}$ (70) взаимно ортогональны в точках экстремума функции $r = r(t)$, т.е. $\vec{r}\vec{v} = 0$, при $\phi^{(-)} = (2k+1)\pi/2, k\pi$.

Используя ортогональность векторов $\vec{e}_r'$ и $\vec{e}_\phi'$, можно провести декартову систему координат таким образом, чтобы оси x и y проходили через векторы $\vec{e}_r'$ и $\vec{e}_\phi'$, а начало координат совпадало с центром кривизны траектории частицы. В этой системе координат траекторией движения частицы является эллипс: $x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$, где $x = r_x$, $y = r_y$, $\vec{r} = (r_x, r_y)$, $a = 2r_0$, $b = 2\varepsilon$. Согласно (70), наименьшее расстояние частицы от центра кривизны траектории составляет $2|\varepsilon|$; при $\varepsilon \neq 0$ центр кривизны находится внутри области, ограниченной эллипсом. Очевидно, что при $|\varepsilon| << r_0$ траектория частицы лежит внутри прямоугольника, бо'льшая сторона которого направлена вдоль вектора $\vec{e}'_r$, лежащего под углом $\phi^{(+)}$ к полярной оси. Состояния движения частицы при $\varepsilon > 0$ и при $\varepsilon < 0$ отличаются друг от друга тем, что перемещение частицы по эллипсу происходит в этих состояниях в противоположных направлениях. При $\varepsilon \to \pm 0$ траектория частицы приближается к отрезку прямой $(-2r_0, +2r_0)$, параллельной вектору $\vec{e}'_r$, но не проходит, однако, через центр кривизны. Более точно, при $\varepsilon \to \pm 0$ частица, перемещаясь в окрестности центра кривизны, огибает его.

Согласно (51), (69) и (70), масса, импульс, кинетическая энергия и момент импульса частицы в конечном состоянии даются формулами

$$\begin{aligned} &m''(t) = p''/v(t), \ \vec{p}'' = p''\vec{v}(t)/v(t), \quad p'' = const, \quad \vec{v}(t) = 2\omega_0\left(-r_0 \sin\phi^{(-)}\vec{e}'_r + \varepsilon\cos\phi^{(-)}\vec{e}'_\phi\right), \\ &T'' = p''v(t)/2, \quad \vec{L}'' = [\vec{r}\vec{p}''] = 4\omega_0 r_0 \varepsilon (p''/v(t))\vec{e}_z, \quad v = 2\omega_0\sqrt{r_0^2\sin^2\phi^{(-)} + \varepsilon^2\cos^2\phi^{(-)}} \equiv v(t). \end{aligned} \tag{72}$$

Очевидно, что $d\vec{L}''/dt \neq 0$ и $\omega \neq 0$ при $\varepsilon \neq 0$. Значит, в силу (54), $dA''_\perp/dt \neq 0$ при $\varepsilon \neq 0$, т.е. при условии $\varepsilon \neq 0$ частица движется по инерции в слабом смысле.

Чтобы установить, происходит ли перераспределение энергии между вращательной и поступательной степенями свободы частицы при $\varepsilon \to 0$, вращательную компоненту работы (54) преобразуем к виду:

$$dA''_\perp/dt = a_0 f(\phi^{(-)}), \quad a_0 = -2p''(r_0^2 - \varepsilon^2)\omega_0^5(4r_0)^2 = const, \quad f(\phi^{(-)}) = \sin(2\phi^{(-)})\frac{\varepsilon^2}{r^2v^3}.$$

Из последнего выражения видно, что $dA''_\perp/dt = 0$ при $\varepsilon \to 0$ всюду, кроме, возможно, окрестностей точек, в которых величины r или v обращаются в нуль. Речь идет об окрестности центра вихря $\phi^{(-)} = (2k+1)\pi/2 \equiv \phi_1^{(-)}$, в котором $r = 2\varepsilon$, и окрестности точек поворота $\phi^{(-)} = k\pi \equiv \phi_2^{(-)}$, в которых $v = 2\omega_0\varepsilon$, где $k = 0, \pm 1, \ldots$. Нетрудно показать, что $f(\phi_i^{(-)} + \delta) \to 0$ при $\varepsilon \to 0$ для малых значений δ ($|\delta| << 1$) как при $i = 1$, так и при $i = 2$.

На основании изложенного заключаем, что при выполнении условий (68) частица движется по инерции в слабом смысле при $\varepsilon \neq 0$, и в сильном смысле при $\varepsilon \to 0$. В последнем случае происходят гармонические колебания по инерции: частица осциллирует с амплитудой колебаний $2r_0$, перераспределение энергии между ее степенями свободы отсутствует. Масса является периодической функцией времени с периодом $T_0 = \pi/\omega_0$. Она изменяется в интервале $m''_{\min} < m''(t) < m''_{\max}$, где $m''_{\min} = p''/2\omega_0 r_0$, $m''_{\max} = p''/2\omega_0\varepsilon$. Масса частицы достигает наименьшего значения в точках $\phi^{(-)} = (2n+1)\pi/2$, которые отвечают центру вихря, где скорость частицы максимальна ($v_{\max} = 2\omega_0 r_0$). Наибольшего же значения масса достигает в точках $\phi^{(-)} = n\pi$, которые являются точками остановки.

В силу (70) частица движется с ускорением

$$\vec{a} = \dot{\vec{v}} = -2\omega_0^2\left(r_0\cos\phi^{(-)}\vec{e}'_r + \varepsilon\sin\phi^{(-)}\vec{e}'_\phi\right). \tag{73}$$

Действующая на частицу сила определяется формулой

$$\vec{F} = d(m''\vec{v})/dt = p''\dot{\vec{e}}_v, \tag{74}$$

где $\vec{e}_v = \vec{v}/v = (\cos\Phi, \sin\Phi)$ — орт вектора скорости $\vec{v}$; $v = |\vec{v}|$ и Φ — полярные координаты вектора $\vec{v}$.

Величину $\dot{\vec{e}}_v$ вычисляем следующим образом. Из соотношения (см. (70))

$$\vec{v} = v(\cos\Phi, \sin\Phi) = 2\omega_0\left(-r_0\sin\phi^{(-)}\vec{e}'_r + \varepsilon\cos\phi^{(-)}\vec{e}'_\phi\right)$$

вытекают следующие равенства:

$$\begin{aligned}&\cos\Phi = 2\omega_0 v^{-1}\left(-r_0\sin\phi^{(-)}\cos\phi^{(+)} - \varepsilon\cos\phi^{(-)}\sin\phi^{(+)}\right),\\&\sin\Phi = 2\omega_0 v^{-1}\left(-r_0\sin\phi^{(-)}\sin\phi^{(+)} + \varepsilon\cos\phi^{(-)}\cos\phi^{(+)}\right).\end{aligned} \tag{75}$$

Подставляя (75) в правую часть равенства $\dot{\vec{e}}_v = \dot{\Phi}(-\sin\Phi, \cos\Phi)$, приходим к выражению:

$$\dot{\vec{e}}_v = -2\omega_0 v^{-1}\dot{\Phi}\left(\varepsilon\cos\phi^{(-)}\vec{e}\,'_r + r_0\sin\phi^{(-)}\vec{e}\,'_\phi\right). \tag{76}$$

Дифференцируя обе части равенств (75) по времени, после несложных преобразований получаем формулу

$$\dot{\Phi} = 4\omega_0^3 r_0\varepsilon v^{-2}, \quad v^2 = 4\omega_0^2(r_0^2\sin^2\phi^{(-)} + \varepsilon^2\cos^2\phi^{(-)}). \tag{77}$$

Подстановка выражения (77) для $\dot{\Phi}$ в правую часть соотношения (76) приводит к искомому выражению:

$$\dot{\vec{e}}_v = -8\omega_0^4 r_0\varepsilon v^{-3}\left(\varepsilon\cos\phi^{(-)}\vec{e}\,'_r + r_0\sin\phi^{(-)}\vec{e}\,'_\phi\right). \tag{78}$$

В правильности формулы (78) можно убедиться, получив ее другим способом. Исключая орт $\vec{e}_v$ из равенств $\vec{v} = v\vec{e}_v$ и $\vec{a} = \dot{\vec{v}} = \dot{v}\vec{e}_v + v\dot{\vec{e}}_v$, получаем формулу для $\dot{\vec{e}}_v$, в которую подставим выражение для $\dot{v}$ (см. последнюю формулу (69)), а также выражения для векторов $\vec{v}$ и $\vec{a}$ из (70) и (73). Простые преобразования приводят в точности к формуле (78).

Вычислим величины $\dot{\Phi}$ и $\dot{\vec{e}}_v$ при $\varepsilon \to +0$. Используя известные равенства

$$\lim_{\varepsilon\to+0}\frac{\varepsilon}{x^2+\varepsilon^2} = \pi\delta(x), \quad \delta(tgx) = \sum_{n=0,\pm1,\ldots}\delta(x - n\pi),$$

где $\delta = \delta(x) -$ $\delta -$ функция Дирака, получаем:

$$\dot{\Phi} = \omega_0 r_0\frac{\varepsilon}{\cos^2\phi^{(-)}(r_0^2 tg^2\phi^{(-)} + \varepsilon^2)}, \quad \lim_{\varepsilon\to+0}\dot{\Phi} = \omega_0\pi\delta(tg\phi^{(-)}) = \omega_0\pi\sum_n\delta(\phi^{(-)} - n\pi). \tag{79}$$

При вычислении величины $\dot{\vec{e}}_v$ по формуле (76) учтем, что $\varepsilon v^{-1}\cos\phi^{(-)} = (-1)^n/2\omega_0$, $v^{-1}\sin\phi^{(-)} = 0$ при $\phi^{(-)} = n\pi$. Поэтому

$$\lim_{\varepsilon\to+0}\dot{\vec{e}}_v = \omega_0\pi\sum_n(-1)^{n+1}\delta(\phi^{(-)} - n\pi)\vec{e}\,'_r \quad . \tag{80}$$

Используя формулы (74) и (80), получаем следующее выражение для силы, действующей на частицу при $\varepsilon \to +0$:

$$\vec{F} = \sum_{n=-\infty}^{\infty}\vec{F}_n, \quad \vec{F}_n = p''\omega_0\pi(-1)^{n+1}\delta(\phi^{(-)} - n\pi)\vec{e}\,'_r. \tag{81}$$

Согласно (81), при $\varepsilon \to +0$ **частица движется таким образом, что на нее действует сила** $\vec{F}_n = \vec{F}_n(t)$ **только в моменты времени** $t = t_n$, отвечающие точкам поворота и определяемые равенством $\phi^{(-)}(t_n) = n\pi$ ($n = 0, \pm1, \ldots$), где $\phi^{(-)}(t) = \omega_0 t + (\alpha_1 - \alpha_2)/2$, причем величина силы оказывается бесконечно большой. Ввиду (70), сила $\vec{F}_n$ работы не совершает: $\vec{F}_n\vec{v}dt = 0$, поскольку $\vec{v}\big|_{t=t_n} = 0$. Отсюда и из (81) следует, что $\vec{r}\vec{F}_n < 0$, т.е. сила $\vec{F}_n$ является возвращающей: под ее действием в моменты t_n и происходят осцилляции частицы. В моменты t_n частица останавливается; подойдя к точке поворота, она как бы отражается от непроницаемой стенки, изменяя направление движения на противоположное. Эффект отражения от кажущейся непроницаемой стенки в момент $t = t_n$ обусловлен тем, что в этот момент масса частицы обращается в бесконечность.

Подчеркнем, что **колебания частицы происходят в отсутствие потенциальной ямы**; они обусловлены изменением массы частицы, которое связано с взаимодействием частицы с ИКИ–средой. Иными словами, осцилляции частицы возникают не вследствие того, что частица находится в поле потенциальной ямы, а благодаря ее взаимодействию с порождаемой ею же ИКИ–средой. Важно также иметь в виду, что осцилляции частицы не сопровождаются преобразованием потенциальной энергии в кинетическую и обратным преобразованием. **Не существует самого понятия потенциальная энергия**. Непрерывно происходит перекачка энергии классической частицы в ИКИ–среду и обратный процесс. Система, состоящая из частицы и ИКИ–среды, находится в таком состоянии динамического равновесия, в котором отсутствуют энергетические потери.

Отметим, что $\vec{F} = \vec{F}_0' + \vec{F}_1' = 0$, но $\vec{a} \neq 0$ при $t \neq t_n$, где $\vec{F}_1' = \dot{m}''\vec{v} = p''\omega_0 \dfrac{\cos\phi^{(-)}}{\left|\sin\phi^{(-)}\right|}\vec{e}_r'$ — реактивная компонента силы инерции (см. раздел 2). Как видим, при $t \neq t_n$ реактивная компонента силы инерции компенсируется нереактивной компонентой силы $\vec{F}_0' = m''\dot{\vec{v}}$. Подчеркнем, что в области между двумя соседними точками остановки t_n и t_{n+1}, т.е. в области $t_n < t < t_{n+1}$, частица является свободной; в указанной области отсутствует сила инерции, действующая на частицу: $\vec{F}(t) = 0$. Осцилляции частицы между точками t_n и t_{n+1} возникают благодаря тому, что в точках остановки t_n и t_{n+1} на частицу действует возвращающая сила инерции, направленная от точки поворота к центру вихря.

Согласно (69) и (77), выражения для угловых скоростей $\dot{\phi}$ и $\dot{\Phi}$ существенно отличаются друг от друга. В самом деле, согласно (69)

$$\begin{gathered}\dot{\phi} = 4\omega_0 r_0 \varepsilon r^{-2}, \quad r^2 = 4\left(r_0^2\cos^2\phi^{(-)} + \varepsilon^2\sin^2\phi^{(-)}\right),\\ \lim_{\varepsilon\to+0}\dot{\phi} = \omega_0\pi\delta(ctg\phi^{(-)}) = \omega_0\pi\sum_n \delta\left(\phi^{(-)} - (2n+1)\pi/2\right).\end{gathered} \tag{82}$$

Как видно из сравнения (82) с (77) и (79), при $\varepsilon \to +0$ величины $\dot{\Phi}$ и $\dot{\phi}$ обращаются в нуль всюду, кроме следующих точек: $\dot{\Phi} \neq 0$ при $\phi^{(-)} = n\pi$, $\dot{\phi} \neq 0$ при $\phi^{(-)} = (2n+1)\pi/2$, причем $\dot{\phi}\big|_{\phi^{(-)}=(2n+1)\pi/2} = \dot{\Phi}\big|_{\phi^{(-)}=n\pi} = \omega_0 r_0/\varepsilon$.

Вместо радиуса-вектора $\vec{r}_2$ (см. (45)) введем радиус-вектор

$$\vec{r}_2' = r_2\vec{e}_{r_2}', \quad \vec{e}_{r_2}' = (\cos\phi_2', \sin\phi_2', 0), \quad \phi_2' = -\omega t + \alpha_2 + \pi, \tag{83}$$

который связан с $\vec{r}_2$ равенством: $\vec{r}_2' = -\vec{r}_2$. Учитывая равенства

$$\cos\phi'^{(\pm)} = \mp\sin\phi^{(\pm)}, \ \sin\phi'^{(\pm)} = \pm\cos\phi^{(\pm)}, \quad (\cos\phi'^{(+)}, \sin\phi'^{(+)}, 0) = \vec{e}_\phi', \quad (-\sin\phi'^{(+)}, \cos\phi'^{(+)}, 0) = -\vec{e}_r',$$

где $\phi'^{(\pm)} = (\phi_1 \pm \phi_2')/2 = \phi^{(\pm)} \pm \pi/2$, и используя соотношения (68) — (71), получаем:

$$\begin{gathered}\tilde{\vec{r}} \equiv r_1\vec{e}_{r_1} + r_2\vec{e}_{r_2}' = r_0(\vec{e}_{r_1} + \vec{e}_{r_2}') + \varepsilon(\vec{e}_{r_1} - \vec{e}_{r_2}') = 2\left(r_0\sin\phi^{(-)}\vec{e}_\phi' + \varepsilon\cos\phi^{(-)}\vec{e}_r'\right),\\ \tilde{\vec{v}} = \dot{\tilde{\vec{r}}} = 2\omega_0\left(r_0\cos\phi^{(-)}\vec{e}_\phi' - \varepsilon\sin\phi^{(-)}\vec{e}_r'\right).\end{gathered} \tag{84}$$

Радиус-вектор $\tilde{\vec{r}}$ (84) описывает состояние движения частицы по инерции, существенно отличающееся от состояния движения, описываемого радиусом-вектором $\vec{r}$ (70). Его физические характеристики даются формулами (72), в которых вектор скорости $\vec{v}$ нужно заменить на $\tilde{\vec{v}}$ (84). Заметим, что при $\varepsilon \to 0$ радиусы-векторы $\vec{r}$ и $\tilde{\vec{r}}$ взаимно ортогональны.

На основании результатов исследования, изложенных в данном разделе, и формулы (84), можно сделать вывод, что при $\varepsilon \to 0$ движение частицы, описываемое радиусом-вектором $\tilde{\vec{r}}$, превращается в осцилляции, происходящие вдоль прямой, направленной вдоль вектора $\vec{e}_\phi'$. Точками поворота будут точки t_n', определяемые равенством $\phi^{(-)}(t_n') = (2n+1)\pi/2$; в этих точках масса частицы становится бесконечно большой. Мы построили, таким образом, два различных состояния движения классической частицы, осциллирующей по инерции. Эти движения описываются радиусами-векторами $\vec{r}$ (70) и $\tilde{\vec{r}}$ (84). Колебания частицы подчиняются гармоническому закону и происходят во взаимно перпендикулярных направлениях ($\vec{e}_r'\vec{e}_\phi' = 0$).

Сравним осцилляции, описываемые радиусами-векторами $\vec{r}$ и $\tilde{\vec{r}}$, более детально. Обозначим через $\tilde{r}, \tilde{\phi}$ и $\tilde{v}, \tilde{\Phi}$ полярные координаты векторов $\tilde{\vec{r}}$ и $\tilde{\vec{v}}$ (84), соответственно. Несложная выкладка приводит к следующим выражениям для угловых скоростей $\dot{\tilde{\phi}}$ и $\dot{\tilde{\Phi}}$:

$$\begin{gathered}\dot{\tilde{\phi}} = 4\omega_0 r_0 \varepsilon \tilde{r}^{-2}, \quad \dot{\tilde{\Phi}} = 4\omega_0^3 r_0 \varepsilon \tilde{v}^{-2},\\ \tilde{r}^2 = 4(r_0^2\sin^2\phi^{(-)} + \varepsilon^2\cos^2\phi^{(-)}), \quad \tilde{v}^2 = 4\omega_0^2(r_0^2\cos^2\phi^{(-)} + \varepsilon^2\sin^2\phi^{(-)}).\end{gathered} \tag{85}$$

Из сравнения последних соотношений с равенствами (77) и (82) видно, что имеют место следующие формулы:

$$\dot{\Phi} = \dot{\tilde{\phi}}, \quad \dot{\tilde{\Phi}} = \dot{\phi}, \quad \tilde{v} = vr/\tilde{r}, \quad v^2 = \omega_0^2 \tilde{r}^2, \quad \tilde{v}^2 = \omega_0^2 r^2 . \qquad (86)$$

Как видим, колебания, описываемые радиусами-векторами $\vec{r}$ и $\tilde{\vec{r}}$ при $\varepsilon \to +0$ происходят во взаимно перпендикулярных направлениях, имеют одинаковые амплитуды и частоты, характеризуются массами p''/v и $\tilde{p}''/\tilde{v}$ ($p'', \tilde{p}'' = const$), соответственно, их угловые и линейные скорости связаны между собой соотношениями (86).

Следует подчеркнуть, что в представленной здесь модели гармонического осциллятора, совершающего колебания по инерции, предельный переход $\varepsilon \to +0$ нужно выполнять только после всех вычислений. Переход к пределу $\varepsilon = 0$ на промежуточном этапе, а не в конце вычислений, может привести к ошибочным результатам. Действительно, если в выражениях (70) для $\vec{r}$ и $\vec{v}$ перейти к пределу $\varepsilon = 0$ и записать: $\vec{r} = 2r_0 \cos\phi^{(-)} \vec{e}\,'_r$, $\vec{v} = -2\omega_0 r_0 \sin\phi^{(-)} \vec{e}\,'_r$, то, принимая во внимание, что $\vec{e}\,'_r = const$, получаем: $\vec{e}_v = -sign(\sin\phi^{(-)})\vec{e}\,'_r$, $\dot{\vec{e}}_v = -2\omega_0 \cos\phi^{(-)} \delta(\sin\phi^{(-)})\vec{e}\,'_r$. Из двух последних формул следует, что векторы $\vec{e}_v$ и $\dot{\vec{e}}_v$ направлены параллельно друг другу. Этот результат, однако, ошибочен, так как из равенств $(\vec{e}_v)^2 = 1$, $\vec{e}_v \dot{\vec{e}}_v = 0$ видно, что векторы $\vec{e}_v$ и $\dot{\vec{e}}_v$ взаимно ортогональны. С другой стороны, согласно (70) и (76), указанные выше векторы взаимно ортогональны при любом значении ε. Значит, ортогональность сохраняется, как и должно быть, и при $\varepsilon \to +0$.

Построенная нами модель гармонического осциллятора существенно отличается от общепринятой стандартной модели, в которой колебания частицы обусловлены наличием потенциальной ямы. В нашей модели потенциальная яма отсутствует; осцилляции частицы представляют собой ускоренное движение по инерции частицы, находящейся в двухдипольном состоянии движения специального вида. В этом состоянии модули составляющих диполей равны по величине ($r_1 = r_0 + 0$, $r_2 = r_0 - 0$), а их угловые скорости равны по величине и противоположны по направлению ($\omega_2 = -\omega_1$). Как видно из проведенного нами анализа, масса частицы, совершающей гармоническое колебание по инерции, изменяется во времени периодически, обращаясь в бесконечность в точках поворота и достигая наименьшего значения в точке, относительно которой происходят осцилляции (в этой точке модуль скорости частицы достигает максимума).

Осциллятор, совершающий ускоренное движение по инерции, получен нами в результате рассмотрения квантового перехода из однодипольного состояния движения по инерции в двухдипольное. Простейшим состоянием вращательной инерции является однодипольное состояние частицы, равномерно вращающейся по окружности. Простейшими состояниями колебательной инерции являются двухдипольные состояния специального вида, описываемые радиусами-векторами $\vec{r}$ и $\tilde{\vec{r}}$ (см. (70) и (84)).

Отметим, что из изложенного выше вытекает следующий вывод, имеющий принципиальное значение. Если частица находится в двухдипольном состоянии движения по инерции, подчиняющемся условиям (68), то в пространстве имеются две выделенные точки (точка, в которой находится частица, и центр кривизны траектории) и выделенная прямая, проходящая через указанные точки. Однако положение в пространстве этой выделенной прямой непрерывно изменяется. Действительно, в моменты времени, отвечающие $\phi^{(-)} = k\pi$, когда частица максимально удалена от центра кривизны, радиус-вектор частицы $\vec{r} = 2r_0(-1)^k \vec{e}\,'_r \equiv \vec{r}_{\max}$, а в моменты, отвечающие $\phi^{(-)} = (2k+1)\pi/2$, когда частица максимально приближается к центру кривизны, радиус-вектор $\vec{r} = 2\varepsilon(-1)^k \vec{e}\,'_\phi \equiv \vec{r}_{\min}$. Указанные радиусы-векторы взаимно ортогональны: $(\vec{r}_{\max}\vec{r}_{\min}) = 0$. Это значит, что при колебательном движении частицы по инерции физические свойства пространства (свойства однородности и изотропности) непрерывно изменяются. Сильнее всего они изменяются, когда частица, совершая колебания по инерции, проходит вблизи центра кривизны траектории, как это следует из равенства: $\omega = \dot{\phi} = \omega_0 r_0/\varepsilon$ при $\phi^{(-)} = (2k+1)\pi/2$ (см. (69) и (82)).

Рассмотрим квантовые переходы (32) классической частицы из состояний вращательной инерции в состояния колебательного движения по инерции, полагая выполненными условия (68), и исследуем спектр элементарных возбуждений ИКИ–среды, возникающих в указанных квантовых переходах.

Вначале рассмотрим переход $\vec{r}_1 \quad \to \quad \vec{r}_1 + \vec{r}_2 \equiv \vec{r}$, где радиус-вектор $\vec{r}$ дается первой из формул (70). Учитывая (69) и (72), массу и скорость частицы можно записать в виде:

$$m'' = p''/v, \quad v = \omega_0 \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos(2\phi^{(-)})}, \quad \phi^{(-)} = \omega_0 t + (\alpha_1 - \alpha_2)/2. \qquad (87)$$

Для определенности будем считать, что начальный момент времени $t = t_0$ отвечает минимальному значению массы частицы (или, что то же самое, максимальному значению скорости). Полагая $\phi^{(-)}\big|_{t=t_0} = -\pi/2$, находим:

$$\begin{gathered}\omega_0 t_0 = -\pi/2 - (\alpha_1 - \alpha_2)/2, \quad \phi^{(-)} = \tau - \pi/2, \quad \tau = \omega_0 (t - t_0), \quad \tau\big|_{t=t_0} \equiv \tau_0 = 0, \\ v = \omega_0 \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos(2\tau)} = 2\omega_0 \sqrt{r_0^2 \cos^2 \tau + \varepsilon^2 \sin^2 \tau} \equiv v(\tau).\end{gathered} \qquad (88)$$

Используя формулы (35)–(40), (64), (68), (69) и (72), получаем следующие выражения для импульса и приращения энергии ИКИ–среды:

$$\begin{gathered}\vec{k} = \vec{k}_1 + \vec{k}_0, \quad \vec{k}_1 = \Delta m \vec{v}_1, \quad \vec{k}_0 = m''[\vec{\omega}_2 \vec{r}_2] = -m''[\vec{\omega}_0 \vec{r}_2], \quad \Delta m = m'' - m', \\ \Delta E = \Delta E_1 + \Delta \tilde{E}_0(\vec{r}_2), \quad \Delta E_1 = -\Delta m v_1^2/2, \quad \Delta \tilde{E}_0(\vec{r}_2) = -m'' \omega_0^2 (r_1 r_2 \cos\alpha + r_2^2/2), \quad \alpha = 2\tau.\end{gathered} \qquad (89)$$

Рассмотрим теперь переход $\vec{r}_1 \quad \to \quad \vec{r}_1 + \vec{r}_2' \equiv \tilde{\vec{r}}$, где вектор $\tilde{\vec{r}}$ дается первой из формул (84). Обозначим через $\tilde{m}''$, $\tilde{\vec{k}}$ и $\Delta\tilde{E}$, соответственно, массу частицы, импульс и приращение энергии ИКИ–среды, порождаемой в результате указанного выше квантового перехода. Вычисления приводят к следующим формулам, аналогичным (87)–(89):

$$\tilde{m}'' = \tilde{p}''/\tilde{v}, \quad \tilde{v} = 2\omega_0 \sqrt{r_0^2 \sin^2 \tau + \varepsilon^2 \cos^2 \tau} \equiv \tilde{v}(\tau), \qquad (90)$$

$$\begin{gathered}\tilde{\vec{k}} = \tilde{\vec{k}}_1 + \tilde{\vec{k}}_0, \quad \tilde{\vec{k}}_1 = \Delta \tilde{m} \vec{v}_1, \quad \tilde{\vec{k}}_0 = -\tilde{m}''[\vec{\omega}_2 \vec{r}_2] = \tilde{m}''[\vec{\omega}_0 \vec{r}_2], \quad \Delta \tilde{m} = \tilde{m}'' - m', \\ \Delta \tilde{E} = \Delta \tilde{E}_1 + \Delta \tilde{\tilde{E}}_0(\vec{r}_2), \quad \Delta \tilde{E}_1 = -\Delta \tilde{m} v_1^2/2, \quad \Delta \tilde{\tilde{E}}_0(\vec{r}_2) = -\tilde{m}'' \omega_0^2 (-r_1 r_2 \cos\alpha + r_2^2/2), \quad \alpha = 2\tau.\end{gathered} \qquad (91)$$

Как видно из сопоставления равенств (87)–(89) с (90) и (91), физические характеристики ИКИ–среды, порождаемой классической частицей, существенно зависят от вида квантового перехода частицы. Отметим также, что функциональная зависимость массы частицы от «времени» τ в состояниях $\vec{r}$ и $\tilde{\vec{r}}$ совершенно различна. При $\varepsilon \to 0$ в моменты «времени» $\tau = k\pi \equiv \tau_k$, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$, масса m'' принимает наименьшее значение, а масса $\tilde{m}''$ бесконечно велика, а в моменты $\tau = (2k+1)\pi/2 \equiv \tau_k'$, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$, имеет место противоположная картина: $m''(\tau_k') \to \infty, \quad \tilde{m}''(\tau_k') = \min \tilde{m}''(\tau)$.

Интересно сравнить физические характеристики колебательных состояний движения $\vec{r}$ (70) и $\tilde{\vec{r}}$ (84) с характеристиками однодипольного вращательного состояния движения $\vec{r}_1$ при $\varepsilon \to 0$. Для однодипольного состояния имеем (см.(48)):

$$m' = p'/\omega_0 r_0 = const, \; T' = p'^2/2m' = p'\omega_0 r_0/2 \; (\text{т.к. } \omega_1 = \omega_0, \; r_1 = r_0, \; v_1 = \omega_0 r_0).$$

Если положить $p' = p'' = \tilde{p}''$, то в силу (87), (88) и (90) имеют место равенства:

$$m'' = (v_1/v)m', \quad \tilde{m}'' = m'(v_1/\tilde{v})m', \quad T'' = p''^2/2m'' = (v/v_1)T', \quad \tilde{T}'' = \tilde{p}''^2/2\tilde{m}'' = (\tilde{v}/v_1)T', \qquad (92)$$

т.е. $\min m'' = \min \tilde{m}'' = m'/2, \quad \max T'' = \max \tilde{T}'' = 2T'$. Значит, в условиях, когда импульсы частицы в рассматриваемых состояниях движения по инерции одинаковы, минимальное значение массы частицы в колебательных состояниях вдвое меньше массы частицы во вращательном движении, а максимальное значение кинетической энергии частицы в колебательных состояниях, наоборот, вдвое больше ее кинетической энергии во вращательном движении. Как видно из приведенных формул, **частица, совершающая колебательное движение по инерции, на значительной части Δt периода колебаний T_0 обладает массой, меньшей массы частицы, вращающейся по инерции.** Расчет показывает, что $\Delta t / T_0 = 2/3$. Отсюда следует важный вывод: **колебательные состояния движения классической частицы по инерции энергетически более выгодны, чем вращательные**.

5. Механическая модель осциллятора. Квантовые переходы осциллятора, совершающего колебания по инерции

Как показано в предыдущем разделе, классическая частица, совершающая гармонические колебания по инерции, находится в двухдипольном состоянии движения, которое можно описать радиусом-вектором $\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2$, где векторы $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$ изображают вихри, вращающиеся с одинаковыми по величине, но противоположными по направлению угловыми скоростями, причем $r_1 \to r_2$. В дальнейшем будем считать, что векторы $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$ определены равенствами (45) и (68), в которых величины $r_0, \varepsilon, \omega_i, \alpha_i$ являются постоянными. Колебательное движение частицы по инерции имеет место при $\varepsilon \to \pm 0$.

Для большей наглядности при описании состояний движения частицы далее будем использовать обозначения, указывающие на направление вращения вихрей. Так, вместо $\vec{r}_i$ будем писать $\vec{r}_i^{(\pm)}$, где верхним знаком отмечается направление вращения вихря. Точный смысл указанного обозначения виден из равенств (верхние индексы будем опускать там, где смысл обозначений останется понятным и без них):

$$\vec{r}_i^{(\pm)} = r_i\,(\cos\phi_{i,\pm}, \sin\phi_{i,\pm}),\ \ \phi_{i,\pm} = \pm\omega_0 t + \alpha_i,\ \ \omega_0 > 0\,. \qquad (93)$$

Состояние движения частицы-осциллятора теперь запишется в виде:

$$\vec{r} = \vec{r}_1^{(+)} + \vec{r}_2^{(-)}\,. \qquad (94)$$

Если в последней формуле выполнить замену $\vec{r}_2^{(-)} \to \vec{r}_2^{\prime(-)}$, где $\vec{r}_2^{\prime(-)} = r_2(\cos\phi'_{2,-}, \sin\phi'_{2,-})$, $\phi'_{2,-} = -\omega_0 t + \alpha_2 + \pi,$ то приходим к радиусу-вектору

$$\vec{\tilde{r}} = \vec{r}_1^{(+)} + \vec{r}_2^{\prime(-)}\,, \qquad (95)$$

который, очевидно, в точности совпадает с $\vec{\tilde{r}}$ (84). Используя обозначения (88) и формулы (70) и (84), радиусы-векторы $\vec{r}$ (94) и $\vec{\tilde{r}}$ (95) и соответствующие им векторы скоростей можно представить в следующей форме:

$$\begin{aligned}
&\vec{r} = 2\left(r_0 \sin\tau\,\vec{e}'(\phi^{(+)}) - \varepsilon\cos\tau\,\vec{e}''(\phi^{(+)})\right) \equiv \vec{r}(\tau), \quad \vec{v} = 2\omega_0\left(r_0\cos\tau\,\vec{e}'(\phi^{(+)}) + \varepsilon\sin\tau\,\vec{e}''(\phi^{(+)})\right),\\
&\vec{\tilde{r}} = 2\left(-r_0\cos\tau\,\vec{e}''(\phi^{(+)}) + \varepsilon\sin\tau\,\vec{e}'(\phi^{(+)})\right) \equiv \vec{\tilde{r}}(\tau), \quad \vec{\tilde{v}} = 2\omega_0\left(r_0\sin\tau\,\vec{e}''(\phi^{(+)}) + \varepsilon\cos\tau\,\vec{e}'(\phi^{(+)})\right),
\end{aligned} \qquad (96)$$

где

$$\tau = \phi^{(-)} + \pi/2, \quad \phi^{(\pm)} = (\phi_{1,+} \pm \phi_{2,-})/2, \quad \vec{e}'(\phi) = (\cos\phi, \sin\phi), \quad \vec{e}''(\phi) = (-\sin\phi, \cos\phi).$$

Чтобы дать наглядное представление об осцилляторе, совершающем колебания по инерции, представим себе, что классическая частица A вращается вокруг точки O_1 по окружности радиуса r_1 с угловой скоростью $\omega_1 = \omega_0$ против часовой стрелки, а точка O_1, в свою очередь, вращается вокруг неподвижной точки O_2 по окружности радиуса r_2 ($r_2 = r_1 - \varepsilon,\ |\varepsilon| << r_1$) с угловой скоростью $\omega_2 = -\omega_0$ (т.е. точка O_1 вращается по часовой стрелке) (см. Рис.3). Пусть в некоторый момент времени $t = t_0$ точки A, O_1 и O_2 не лежат на одной прямой. В этот момент времени проведем прямую, проходящую через A и O_2, и отложим на ней точки A'_0 и A''_0, равноудаленные от O_2 и расположенные по разные стороны от O_2: $\left|\overline{O_2 A'_0}\right| = \left|\overline{O_2 A''_0}\right| = r_1 + r_2$. Легко проверить, что при $r_1 = r_2$ прямая линия $A'_0 A''_0$ лежит под углом $\phi^{(+)} = (\phi_1 + \phi_2)/2$ к оси x, т.е. указанная прямая параллельна вектору $\vec{e}'_r$ (см. (71)). Если точки O_1 и A при их вращении занимают последовательно положения $O'_1, O''_1, \ldots$ и $A', A'', \ldots$, то при $\varepsilon \to +0$ последовательность точек $A', A'', \ldots$ будет лежать на прямой $A'_0 A''_0$. Частица A совершает колебания по инерции, перемещаясь вдоль указанной прямой. Эти колебания получаются в результате наложения двух вращательных движений, происходящих по окружностям с одинаковыми радиусами ($r_1 \to r_2$) и равными по величине, но противоположно направленными угловыми скоростями ($\omega_1 = -\omega_2 \equiv \omega_0$).

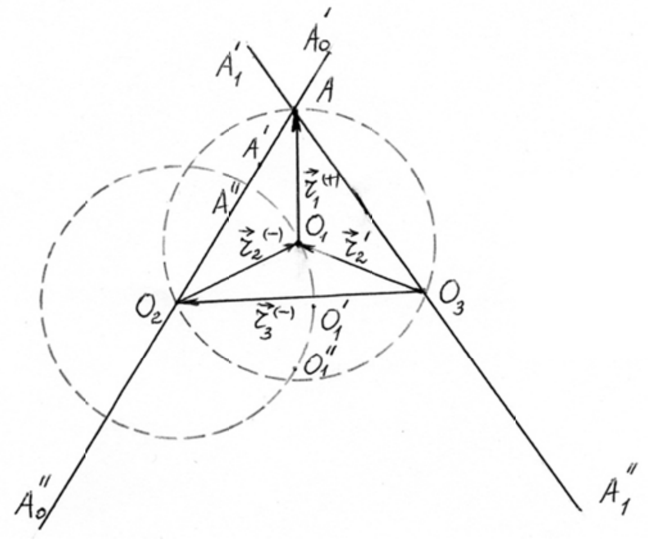

Рис. 3. Квантовый переход частицы-осциллятора $\vec{r}_1^{(+)} + \vec{r}_2^{(-)} \;\rightarrow\; \vec{r}_1^{(+)} + \vec{r}_2^{(-)} + \vec{r}_3^{(-)} = \vec{r}_1^{(+)} + \vec{r}_2'$.
Начальное состояние: O_1, O_2 — центры вихрей, AO_2 — направление колебаний, A_0', A_0'' — точки поворота.
Конечное состояние: O_1, O_3 — центры вихрей, AO_3 — направление колебаний, A_1', A_1'' — точки поворота.

Рассматриваемое нами состояние колебательного движения по инерции представляет собой **связанное состояние классической частицы и квазичастицы**, которые локализованы в точках A и O_1, соответственно, и вращаются с угловыми скоростями, равными по величине и противоположными по направлению, причем точка O_1 является центром вихря, образуемого при вращательной инерции классической частицы. Напомним (см. Введение), что классическая частица, движущаяся по криволинейной траектории по инерции, порождает в окружающем пространстве особую физическую среду — ИКИ–материю, которая образуется, в частности, и в окрестности центра кривизны траектории (в данном случае — в окрестности точки O_1). Как разъяснялось во Введении, точка O_1 превращается в квазичастицу, приобретая физические свойства частицы, породившей среду, лишь при условии, что сама она вращается вокруг некоторого неподвижного центра и вся система в целом находится в состоянии ускоренной инерции. Это означает, что **если точка O_1 превращается в квазичастицу, то в этой точке концентрируется часть материи, порожденной классической частицей, движущейся ускоренно по инерции. Таков физический механизм «творения» классической частицей, движущейся ускоренно по инерции, ИКИ–материи, которая содержит, наряду с непрерывной компонентой, распределенной в пространстве, и локализованные в пространстве материальные структуры (мы называем их квазичастицами)**.

Таким образом, при криволинейном движении классической частицы по инерции окружение частицы превращается из пустоты в материальную среду, содержащую как непрерывную компоненту, так и локализованные в пространстве образования.

Механическую модель осциллятора, совершающего колебания по инерции, можно построить, рассмотрев два велосипедных колеса, имеющих бесконечно тонкие ободы и спицы. Пусть колеса радиусов r_1 и r_2 могут свободно вращаться в параллельных плоскостях вокруг своих осей O_1 и O_2. Ось O_1 первого колеса радиуса r_1 закреплена на ободе второго колеса таким образом, что первое колесо может свободно вращаться вокруг своей оси. При вращении второго колеса с некоторой угловой скоростью ω_0 вокруг оси O_2, которая является неподвижной, ось O_1 вращается вокруг O_2 с той же по величине угловой скоростью, но в обратном направлении. В обычном велосипеде, движущемся по прямой, оба колеса лежат в одной плоскости; расстояние между осями $\left|\overrightarrow{O_1O_2}\right| > r_1 + r_2, \quad r_1 = r_2$; колеса вращаются с одинаковыми угловыми скоростями. При движении велосипеда происходит преобразование вращательного движения колес в поступательное движение центра масс велосипеда. Если бы выполнялись равенства $\left|\overrightarrow{O_1O_2}\right| = r_1 + r_2, \quad r_1 = r_2$, то колеса касались бы друг друга. Если пренебречь трением колес о полотно дороги, то, вследствие действия силы трения колес друг на друга, вращение одного из колес вызывало бы вращение второго колеса в противоположном направлении.

Чтобы получить колебательное движение по инерции в велосипедной модели с колесами, вращающимися в различных параллельных плоскостях, точку O_1 на ободе второго колеса соединим спицей с точкой A, зафиксированной на ободе первого колеса. В точке A закрепим, например, шарик, центр которого отстоит от точки O_1 на расстоянии r_1. Пусть далее установлен механизм, ограничивающий движение шарика таким образом, чтобы центр шарика мог перемещаться только вдоль прямой $A_0' A_0''$, проходящей через точку O_2 (см. Рис.3). Тогда вращение второго колеса по часовой стрелке вызовет вращение обода первого колеса вокруг точки O_1 против часовой стрелки, но при этом центр шарика, закрепленного в точке A, будет перемещаться по указанной выше прямой $A_0' A_0''$, совершая колебания относительно точки O_2. Эти колебания шарика и будут искомыми осцилляциями по инерции. Шарик A будет перемещаться между точками A_0' и A_0'', лежащими на указанной прямой по разные стороны от точки O_2 и удаленными от нее на расстояние $r_1 + r_2$. Как видно из результатов раздела 4, если устранить связь, ограничивающую движение точки A ее перемещением только вдоль прямой $A_0' A_0''$, то при вращении колес с $r_1 \neq r_2$ и с равными по величине, но противоположно направленными угловыми скоростями точка A будет перемещаться по эллипсу с полуосями $r_1 + r_2$ и $|r_1 - r_2|$, который при $r_1 \to r_2$ вырождается в отрезок прямой, проходящей через точку O_2, длиной $\left|\overline{A_0' A_0''}\right| = 4r_1$.

Рассмотрим квантовый переход частицы в момент времени $t = t_0$ из начального двухдипольного состояния (94) в трехдипольное состояние:

$$\vec{r} = \vec{r}_1^{(+)} + \vec{r}_2^{(-)} \;\to\; \vec{r}' = \vec{r}_1^{(+)} + \vec{r}_2^{(-)} + \vec{r}_3, \quad \vec{r}_3 = r_3(\cos\phi_3, \sin\phi_3), \tag{97}$$

где $\phi_3 = \omega_3 t + \alpha_3$; $r_3, \omega_3, \alpha_3 = const$. Нас интересует квантовый переход, приводящий частицу в состояние движения $\vec{r}'$, которое, как и начальное состояние движения $\vec{r}$, является колебательным движением по инерции. Как показывает анализ условий движения частицы по инерции, интересующий нас квантовый переход имеет место лишь при условии, что угловая скорость ω_3 совпадает с одной из величин $-\omega_0, +\omega_0$. В этом случае вектор $\vec{r}_3$ в (97) можно записать в виде (см.(93)): $\vec{r}_3 = \vec{r}_3^{(\pm)} = r_3\,(\cos\phi_{3,\pm}, \sin\phi_{3,\pm}), \quad \phi_{3,\pm} = \pm\omega_0 t + \alpha_3$.

Вначале рассмотрим квантовый переход (97) при $\vec{r}_3 = \vec{r}_3^{(-)}$, т.е. при $\omega_3 = -\omega_0$. Используя (97), выводим:

$$\vec{r}'^2 = (\vec{r}_1^{(+)} + \vec{r}_2')^2, \quad \vec{v}'^2 = \omega_0^2(\vec{r}_1^{(+)} - \vec{r}_2')^2, \quad \omega' = \omega_0((\vec{r}_1^{(+)})^2 - \vec{r}_2'^2)/r'^2 \;, \tag{98}$$

где

$$\vec{r}' = r'\vec{e}_{r'}, \quad \vec{e}_{r'} = (\cos\phi', \sin\phi'), \quad \omega' = \dot{\phi}', \quad \vec{v}' = \dot{\vec{r}}', \quad \vec{r}_2' = \vec{r}_2^{(-)} + \vec{r}_3^{(-)}. \tag{99}$$

Отсюда и из равенства $\vec{r}_2' = r_2'(\cos\phi_2', \sin\phi_2')$ следует, что $r_2' = const$, $\phi_2' = -\omega_0 t + \alpha_2'$, $\alpha_2' = const$, т.е. $\vec{r}_2' = \vec{r}_2'^{(-)}$. Значит, величины r' и v' изменяются со временем, и если имеет место равенство $r_2' = r_0 - \varepsilon$, то $\omega' \to 0$ при $\varepsilon \to \pm 0$, $r' \neq 0$. При выполнении указанного равенства конечное состояние частицы является искомым состоянием осциллятора, в котором колебания совершаются по инерции. Элементарные преобразования приводят к следующему соотношению:

$$\vec{r}' = 2\left(r_0 \sin(\tau - \delta)\,\vec{e}'(\phi^{(+)} + \delta) - \varepsilon\cos(\tau - \delta)\,\vec{e}''(\phi^{(+)} + \delta)\right), \quad \delta = (\alpha_2' - \alpha_2)/2. \tag{100}$$

Для величин $r', v' = |\dot{\vec{r}}'|, \omega'$ при $r_2' = r_0 - \varepsilon$ и $\varepsilon << r_0$ получаем следующие формулы (всюду оставляем лишь основные по величине члены):

$$r' = 2r_0\,|\sin(\tau - \delta)|, \quad v' = 2\omega_0 r_0\,|\cos(\tau - \delta)|, \quad \omega' = 4\omega_0 r_0 \varepsilon / r'^2. \tag{101}$$

С помощью (99) выводим:

$$\vec{r}_3^{(-)} = \vec{r}_2'^{(-)} - \vec{r}_2^{(-)} = 2(r_0 - \varepsilon)\sin\delta\left(-\cos(\tau - \delta_1), \sin(\tau - \delta_1)\right), \quad \delta_1 = (\alpha_1 + \alpha_2')/2. \tag{102}$$

Отметим, что, согласно (96), (100) и (102), при $\delta = 0$, т.е. при $\alpha_2' = \alpha_2$, выполняются, как и должно быть, следующие равенства: $\vec{r}' = \vec{r}, \quad \vec{r}_3^{(-)} = 0$.

Чтобы уточнить физическую картину рассматриваемого квантового перехода и указать простой способ нахождения вектора $\vec{r}_3 = \vec{r}_3^{(-)}$ в (97), выполним следующие построения (см. Рис.3). Обозначим через A точку, в которой находится частица до квантового перехода, а через O_1 и O_2 — начала векторов $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$, относящихся к начальному двухдипольному состоянию (O_1 и O_2 — центры главного и вторичного вихрей, отвечающих исходному состоянию частицы). Колебания частицы до квантового перехода происходят вдоль вектора $\vec{e}_r'$, лежащего на прямой AO_2; они сопровождаются вращением квазичастицы в точке O_1 вокруг центра осцилляций O_2. Проведем окружность радиуса $r_0 - \varepsilon$ с центром в точке O_1. Очевидно, что точка O_2 лежит на этой окружности, так что $\overrightarrow{O_2O_1} = \vec{r}_2$. Результатом рассматриваемого квантового перехода является перескок центра результирующего вихря из точки O_2 в некоторую точку O_3, лежащую на этой же окружности. В самом деле, проведем векторы $\overrightarrow{O_3O_2}$ и $\overrightarrow{O_3O_1}$. Из построения видно, что $\left|\overrightarrow{O_3O_1}\right| = r_0 - \varepsilon$ и что $\vec{r}_2 + \overrightarrow{O_3O_2} = \overrightarrow{O_3O_1}$. Следовательно, положив $\overrightarrow{O_3O_2} = \vec{r}_3$ и $\overrightarrow{O_3O_1} = \vec{r}_2'$, мы приходим к последнему из равенств (99). В конечном состоянии мы получаем, таким образом, осциллятор, в котором колебания частицы по инерции происходят между точками A_1' и A_1'', лежащими на прямой AO_3, проходящей вдоль вектора $\vec{e}'(\phi^{(+)} + \delta) = \vec{e}'(\delta_1)$, $\delta_1 = (\alpha_1 + \alpha_2')/2$ (см.(100)), а квазичастица в точке O_1 вращается вокруг центра вихря в точке O_3. В результате квантового перехода изменяется положение центра осциллятора ($O_2 \to O_3$) и направление колебаний частицы. На основании изложенного можно заключить, что проведенная выше окружность с центром в точке O_1 является геометрическим местом центров вихрей, которые при фиксированных положениях точек A и O_1 отвечают осцилляциям по инерции частицы после квантового перехода.

Отметим, что при $\vec{r}_3^{(-)} = -\vec{r}_2^{(-)}$ квантовый переход (97) приводит к однодипольному состоянию движения по инерции: $\vec{r}' = \vec{r}_1^{(+)}$ с центром вихря в точке O_1. Значит, переход частицы из колебательного движения по инерции во вращательное движение по инерции $\vec{r}_1^{(+)}$ представляет собой поглощение квазичастицы $\vec{r}_3^{(-)} = -\vec{r}_2^{(-)}$ осциллятором (94).

Рассмотрим энергетический спектр ИКИ–среды, порождаемой в результате квантового перехода (97) при $\vec{r}_3 = \vec{r}_3^{(-)}$. Учитывая равенства (96) и (100), радиусы-векторы и векторы скорости частицы в начальном и конечном состояниях запишем в виде (сохраняем лишь основные по величине члены):

$$\vec{r} = 2r_0 \sin\tau\, \vec{e}'(\phi^{(+)}), \quad \vec{v} = \dot{\vec{r}}, \quad \vec{r}' = 2r_0 \sin(\tau - \delta)\vec{e}'(\phi^{(+)} + \delta), \quad \vec{v}' = \dot{\vec{r}}', \quad \tau = \omega_0(t - t_0). \qquad (103)$$

Векторы $\vec{r}_3^{(-)} \equiv \vec{r}_3$ и $\dot{\vec{r}}_3 \equiv \vec{v}_3$ играют роль радиуса-вектора и вектора скорости квазичастицы — кванта ИКИ–среды. Физические характеристики начального и конечного состояний выражаются следующими равенствами:

$$\vec{p} = m\vec{v}, \quad m = p / v, \quad T = p^2 / 2m = pv/2, \quad p = const. \qquad (104)$$

$$\vec{p}' = m'\vec{v}', \quad m' = p' / v', \quad T' = p'^2 / 2m' = p'v'/2, \quad p' = const. \qquad (105)$$

Импульс $\vec{k} = \vec{k}_1 + \vec{k}_0$ и приращение энергии $\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_0$ элементарных возбуждений среды вычисляем, используя формулы (34)–(40):

$$\vec{k}_1 = \Delta m\vec{v}, \quad \vec{k}_0 = m'\vec{v}_3, \quad \Delta m = m' - m, \quad \Delta E_1 = -\Delta m\vec{v}^2 / 2, \quad \Delta E_0 = -m'(\vec{v}\vec{v}_3 + \vec{v}_3^2 / 2). \qquad (106)$$

Учитывая соотношения

$$\dot{\vec{r}}_i = \vec{v}_i = [\vec{\omega}_i \vec{r}_i], \quad (\vec{v}_i\vec{v}_k) = (\vec{\omega}_i\vec{\omega}_k)(\vec{r}_i\vec{r}_k), \quad (\vec{v}\vec{v}_3) = -\omega_0^2(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)\vec{r}_3,$$

справедливые при $r_i = const$, $\omega_1 = \omega_0$, $\omega_2 = \omega_3 = -\omega_0$, $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$, выражение для ΔE_0 можно представить в виде:

$$\Delta E_0 = -m'\omega_0^2\left(-(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)\vec{r}_3 + \vec{r}_3^2 / 2\right) = -(m')^{-1}\left((m' / m)\vec{p}\vec{k}_0 + \vec{k}_0^2 / 2\right) \equiv \Delta E_0(\vec{k}_0). \qquad (107)$$

Отметим, что если в формулах (106) для $\vec{k}_1, \vec{k}_0$ и ΔE_1, а также в (107) выполнить замену $m' \to m''$, $m \to m'$, $\vec{v} \to v_1$, $\vec{v}_3 \to \vec{v}_2$, $\vec{p} \to \vec{p}'$, то получаются в точности равенства (36) и (40), относящиеся к ИКИ–среде, порождаемой в результате квантового перехода классической частицы из однодипольного состояния движения в двухдипольное. Это означает, что энергетический спектр ИКИ–среды, порождаемой при переходе частицы из однодипольного состояния в двухдипольное, имеет такую же структуру, как и спектр энергии ИКИ–среды, которая генерируется в квантовых переходах осциллятора, совершающего колебания по инерции.

Полагая $p = p'$ в соотношениях (104) и (105) и используя соотношения (106), массы частицы m и m' можно представить в виде:

$$m = \frac{m_0}{|\cos\tau|} \equiv m(\tau), \quad m' = \frac{m_0}{|\cos(\tau - \delta)|} \equiv m'(\tau), \quad m_0 = p / 2\omega_0 r_0, \quad \tau = \omega_0(t - t_0). \qquad (108)$$

Учитывая, что в силу (97) выполняется равенство $\vec{v}' = \vec{v} + \vec{v}_3$, и используя (108), выражения для составляющих ΔE_1 и ΔE_0 приращения энергии среды (106) можно записать в виде:

$$\Delta E_1 = -\frac{p}{2}\left(\frac{1}{v'} - \frac{1}{v}\right)v^2, \quad \Delta E_0 = -\frac{p}{2v'}(v'^2 - v^2). \tag{109}$$

Согласно (109), $\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_0 = -(p/2)(v' - v)$, причем $\Delta E_0 = \Delta E_1 = 0$ при $v' = v$. Рассматривая последнее равенство как уравнение относительно τ и учитывая соотношения (см. (103)) $v = v_0\left|\cos\tau\right|$, $v' = v_0\left|\cos(\tau - \delta)\right|$, $v_0 = 2\omega_0 r_0$, получаем, что энергия ΔE_0 кванта среды обращается в нуль при $\tau = \delta/2 + (n+k)\pi$, $n = 0, \pm 1, \ldots$, $k = 0, 1/2$.

Перейдем к рассмотрению квантового перехода (97) при $\vec{r}_3 = \vec{r}_3^{\,(+)}$, т.е. при $\omega_3 = \omega_0$. Имеют место равенства (ср. с (98) и (99)):

$$r'^2 = (\vec{r}_1' + \vec{r}_2)^2, \quad v'^2 = \omega_0^2(\vec{r}_1' - \vec{r}_2)^2, \quad \omega' = \omega_0(\vec{r}_1'^2 - \vec{r}_2^{\,2})/r'^2, \tag{110}$$

где

$$\vec{r}_1' = \vec{r}_1^{\,(+)} + \vec{r}_3^{\,(+)} = r_1'(\cos\phi_1', \sin\phi_1'). \tag{111}$$

Очевидно, что $\vec{r}_1' = \vec{r}_1'^{(+)}$, т.е. $\phi_1' = \omega_0 t + \alpha_1'$; $r_1', \alpha_1' = const$, и если выполняется равенство $r_1' = r_0 + \varepsilon$, то состояние частицы после квантового перехода является колебательным состоянием движения по инерции в сильном смысле. В силу (111) радиус-вектор $\vec{r}_3^{\,(+)}$ можно представить в виде: $\vec{r}_3^{\,(+)} = \vec{r}_1'^{(+)} - \vec{r}_1^{\,(+)}$. Обозначив через $\vec{r}'^{(+)}$ вектор $\vec{r}'$, определенный формулой (97), в которой $\vec{r}_3 = \vec{r}_3^{\,(+)}$, после элементарных преобразований приходим к следующим соотношениям, аналогичным (100) и (102):

$$\begin{aligned} \vec{r}'^{(+)} &= 2\left(r_0 \sin(\tau + \delta')\, \vec{e}'(\phi^{(+)} + \delta') - \varepsilon\cos(\tau + \delta')\, \vec{e}''(\phi^{(+)} + \delta')\right), \\ \vec{r}_3^{\,(+)} &= 2(r_0 + \varepsilon)\sin\delta'\,(\cos(\tau + \delta_1'), \sin(\tau + \delta_1')), \end{aligned} \tag{112}$$

где использованы обозначения:

$$\delta' = (\alpha_1' - \alpha_1)/2, \quad \delta_1' = (\alpha_1' + \alpha_2)/2.$$

Положение центра вихря O_3, отвечающего осцилляциям по инерции частицы после квантового перехода, можно найти с помощью следующих построений (см. Рис.4). Полагая, как и ранее, что положение частицы A и центров вихрей O_1 и O_2 до квантового перехода в некоторый момент времени фиксированы, проведем окружность радиуса $r_0 + \varepsilon$ с центром в точке A. Возьмем на этой окружности произвольную точку O_1', не совпадающую с точкой O_1, и проведем векторы $\overrightarrow{O_1'A}$ и $\overrightarrow{O_1'O_1}$. Учитывая, что $\overrightarrow{O_1A} = \vec{r}_1$, можем записать равенство: $\vec{r}_1 + \overrightarrow{O_1'O_1} = \overrightarrow{O_1'A}$. Значит, положив здесь $\overrightarrow{O_1'O_1} = \vec{r}_3$ и $\overrightarrow{O_1'A} = \vec{r}_1'$ и учитывая, что по построению $\left|O_1'A\right| = r_0 + \varepsilon$, приходим к равенству (111). Далее нужно провести через точку O_1' прямую, параллельную вектору $\overrightarrow{O_2O_1} = \vec{r}_2$, а через точку O_2 — прямую, параллельную вектору $\overrightarrow{O_1'O_1}$. Точка пересечения указанных прямых является искомым центром вихря O_3, $\overrightarrow{O_1'O_1} = \overrightarrow{O_3O_2} = \vec{r}_3$.

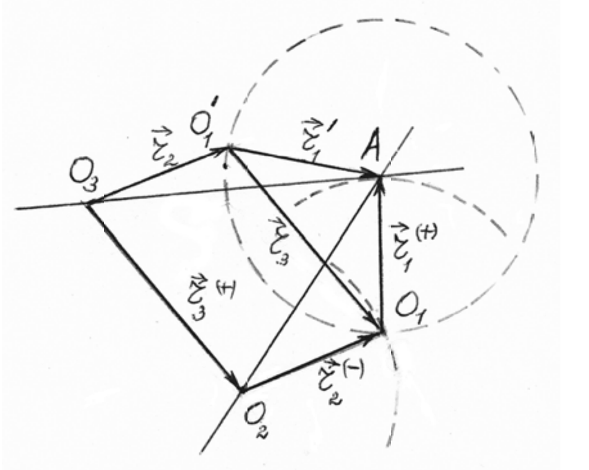

Рис. 4. Квантовый переход частицы-осциллятора $\vec{r}_1^{\,(+)} + \vec{r}_2^{\,(-)} \;\rightarrow\; \vec{r}_1^{\,(+)} + \vec{r}_2^{\,(-)} + \vec{r}_3^{\,(+)} = \vec{r}_1' + \vec{r}_2^{\,(-)}$**.**
Начальное состояние: O_1, O_2 — центры вихрей, AO_2 — направление колебаний;
Конечное состояние: O_1', O_3 — центры вихрей, AO_3 — направление колебаний.

Как видно из полученных результатов, имеется существенное различие между квантовыми переходами (97) при $\vec{r}' = \vec{r}'^{(-)}$ и при $\vec{r}' = \vec{r}'^{(+)}$. В первом случае происходит перескок центра вращения результирующего вихря из точки O_2 в точку O_3, причем в момент перехода центр O_1 главного вихря сохраняет положение и $\left|\overrightarrow{O_2O_1}\right| = \left|\overrightarrow{O_3O_1}\right|$ (см. Рис.3). Во втором же случае одновременно с перескоком центра вихря $O_2 \to O_3$ происходит перескок квазичастицы $O_1 \to O_1'$ и перескок шнура из начального положения O_1O_2 в новое положение $O_1'O_3$ (см. Рис.4). Осцилляции частицы по инерции после квантового перехода, происходящие вдоль прямой O_3A, сопровождаются вращением квазичастицы O_1' вокруг центра вращения O_3 результирующего вихря.

Очевидно, что при $\vec{r}_3^{(+)} = -\vec{r}_1^{(+)}$ квантовый переход (97) приводит к однодипольному состоянию движения частицы по инерции: $\vec{r}' = \vec{r}_2^{(-)}$ с центром вихря в точке O_2. Значит, переход частицы из состояния колебательного движения по инерции во вращательное движение по инерции $\vec{r}_2^{(-)}$ представляет собой поглощение осциллятором (94) квазичастицы $\vec{r}_3^{(+)} = -\vec{r}_1^{(+)}$.

Обратимся к более подробному исследованию квантового перехода (97) частицы-осциллятора. Радиус-вектор конечного состояния в этом переходе при $\vec{r}_3 = \vec{r}_3^{(\pm)}$ обозначим через $\vec{r}'^{(\pm)}(\tau)$. Тогда $\vec{r}'^{(-)}(\tau) = \vec{r}'$, $\vec{r}'^{(+)}(\tau) = \vec{r}'^{(+)}$, где $\vec{r}'$ и $\vec{r}'^{(+)}$ определены формулами (100) и (112). Легко показать, что имеют место равенства:

$$\vec{r}'^{(-)}(\tau)\Big|_{\delta=\pm\pi/2} = \bar{\vec{r}}(\tau), \quad \vec{r}'^{(+)}(\tau)\Big|_{\delta'=\pm\pi/2} = -\bar{\vec{r}}(\tau), \tag{113}$$

из которых следует, что при $\delta = \delta' = \pm\pi/2$ рассматриваемые переходы приводят к повороту направления колебаний частицы на прямой угол, так что в начальном ($\vec{r}$) и конечном ($\vec{r}'$) состояниях колебания происходят во взаимно перпендикулярных направлениях. Согласно (96) и (113), если частица, находившаяся до момента $\tau = 0$ в состоянии $\vec{r}$, перескочила в момент $\tau = \tau_0 = 0$ в состояние $\bar{\vec{r}}$, то это значит, что за время квантового перехода (считаем его малым по сравнению с периодом колебаний) частица перескочила из центра вихря в точку поворота, так что максимальная энергия частицы полностью перешла в энергию среды. Следовательно, при выполнении определенных условий указанные квантовые переходы можно использовать для преобразования энергии классической частицы в энергию потока квантов среды, а также для организации обратного процесса — преобразования энергии окружения в энергию классической частицы.

Выше мы рассматривали самопроизвольные квантовые переходы классической частицы, обусловленные неоднородностью и неизотропностью пространства, в котором происходят колебания частицы, т.е. спонтанные переходы. Квантовые переходы можно вызвать и с помощью сторонних сил, роль которых сводится к тому, чтобы побуждать частицу к перескокам из окрестности центра вихря на одной ветви возбуждений в точку поворота на другой ветви. Такого рода индуцированные переходы могут произойти лишь при условии, что сторонние силы включаются в строго определенные моменты времени. Так, если вслед за рассмотренным выше квантовым переходом $\vec{r} \to \bar{\vec{r}}$, происшедшим в момент $\tau_0 = 0$, происходят затем переход $\bar{\vec{r}} \to \vec{r}$ в момент $\tau = \Delta\tau$, переход $\vec{r} \to \bar{\vec{r}}$ в момент $\tau = 2\Delta\tau$ и т.д., где $\Delta\tau = \pi/2 + k\pi$, $k = 0,1,2,\ldots$, то образуется поток, состоящий из сгустков квантов ИКИ-материи. Энергия, приобретаемая (высасываемая) частицей из окружения за время $\Delta\tau$ между квантовыми скачками, в течение квантового скачка выплескивается в виде сгустка энергии ИКИ-материи. Совокупность этих сгустков образует когерентные потоки квантов среды. Практическая реализация этой идеи приведет к созданию генераторов потоков квантов ИКИ-материи, являющихся экологически чистыми источниками энергии.

Как видно из полученных результатов, квантовые переходы (97) представляют собой перескоки частицы-осциллятора из одного состояния в другое, происходящие с поглощением или испусканием квантов (квазичастиц, элементарных возбуждений) ИКИ-материи, состоящей из двух компонент — непрерывной и квантовой с энергиями ΔE_1 и ΔE_0, соответственно (см.(109)). Кванты среды описываются радиусами–векторами $\vec{r}_3^{(\pm)}$, где знаки «$\pm$» указывают на поляризацию квантов: далее мы придерживаемся соглашения, что знаки «$+$» и «–» отвечают, соответственно, левой и правой поляризациям.

6. Заключение

В настоящей работе рассмотрены физическая сущность и особенности явления криволинейного движения по инерции классической частицы с переменной массой. Показано, что при ускоренном движении частицы по инерции в непосредственном окружении частицы генерируется особая физическая среда, перемещающаяся вместе с частицей и обладающая корпускулярными свойствами. Сохраняющейся величиной является сумма кинетической энергии частицы и энергии среды, порождаемой частицей.

Получено уравнение движения среды, связывающее изменение импульса среды, порождаемой частицей, с изменением сил инерции, действующих на частицу при ее переходах из одного состояния движения по инерции в другое. Рассматривая это уравнение совместно с уравнениями движения классических частиц, получаем замкнутую систему уравнений, учитывающих криволинейное движение частиц по инерции. Рассмотрены квантовые переходы частицы из одного состояния криволинейной инерции в другое и энергетический спектр элементарных возбуждений среды, порождаемой частицей.

Построена модель гармонического осциллятора, совершающего колебания по инерции. Особенность движения частицы–осциллятора состоит в том, что частица дважды за период колебаний проходит в окрестности центра вихря, перекачивая энергию из обычного вещества в порождаемую ею среду и обратно из среды в вещество. Поле сил инерции, сопровождающих движение осциллирующей частицы, не является потенциальным, и поэтому колебания частицы происходят в отсутствие потенциальной ямы; вследствие этого, не существует самого понятия потенциальной энергии частицы.

Рассмотрены спонтанные квантовые переходы осциллятора, совершающего колебания по инерции. Показано, что с помощью квантовых переходов осциллятора можно осуществить перескок классической частицы из окрестности центра вихря на одной ветви колебаний в точку поворота, лежащую на другой ветви. Такой переход приводит к преобразованию энергии частицы в энергию ИКИ–материи, порождаемой частицей. Должным образом сконструировав источник внешней силы, побуждающей осциллятор к квантовым переходам, можно создать когерентные потоки квантов ИКИ–материи.

Следует подчеркнуть, что ускоренные движения по инерции играют в физических процессах фундаментальную роль. Это обусловлено тем, что они обладают рядом особых физических свойств, в частности:

- в силу того, что рассматриваемые движения происходят без затраты энергии на совершение работы по перемещению частицы, такие движения приводят к наиболее стабильным состояниям физических систем и могут продолжаться как угодно долго;
- классическая частица, движущаяся ускоренно по инерции, является открытой самоорганизующейся системой;
- при ускоренном движении частицы по инерции в окружающем пространстве порождается особая физическая среда, влияющая на поведение частицы;
- взаимодействие между классическими частицами и порождаемой ими средой осуществляется путем обмена квантами энергии и импульса между частицами и средой; это взаимодействие ответственно за все разнообразие окружающего нас мира.

Практическое значение развиваемой здесь формулировки механики состоит в том, что освобождая Ньютоновскую схему механики от использующихся в ней необоснованных ограничений на движения по инерции, она дает адекватный природе метод исследования, т.е. метод исследования, находящийся в полном согласии с законами диалектики. Раскрытие физической природы криволинейных движений по инерции и построение физической теории, учитывающей существование таких движений, открывают широкие перспективы создания качественно новых, экологически чистых источников энергии, средств коммуникации и транспорта, использующих квантовые процессы взаимного превращения вещества и индуцируемой им физической среды.

Литература:

1. *Уиттекер Э.* История теории эфира и электричества. Классические теории. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 512 с.
2. *Олейник В.П., Прокофьев В.П.* Вращательная инерция и ее физические следствия. Что такое гравитация? // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2008. — № 2 (30). — С.23-56.

3. *Олейник В.П.* Новый подход к проблеме движения: ускоренные движения по инерции // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2009. — № 3 (35). — С.24-56.
4. *Олейник В.П.* О физической природе гравитации. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2010. — №3 (39). — С. 24-55.
5. *Олейник В.П., Третяк О.В.* Проблема инерции и антигравитация. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2011. — №1 (41). — С. 24-52.
6. *Олейник В.П. и Третяк О.В.* Проблемы инерции, гравитация и электромагнетизм. // 11-я международная Гамовская летняя астрономическая конференция–школа «Астрономия на стыке наук: космомикрофизика, космология и гравитация, астрофизика, радиоастрономия и астробиология», Программа и тезисы докладов, 22-28 августа 2011 года, Украина, Одесса, с.24-25.
7. *Oleinik V.P. and Tretyak O.V.* Curvilinear motions by inertia and antigravity. // Abstracts of the 6th International Conference on Material Science and Condensed Matter Physics, September 11-14, 2012, Chisinau, Moldova. — P. 47.
8. *Олейник В.П.* О физической сущности вращательного движения. Квантовая картина движения классических частиц. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2012. — №1(45). — С. 17-54.
9. *Oleinik V.P.* On the physical nature of rotational motion. // Abstracts of the 6th International Conference on Material Science and Condensed Matter Physics, September 11-14, 2012, Chisinau, Moldova. — P. 57.
10. *Oleinik V.P.* Curvilinear motion by inertia and the Coulomb field. // 12-th Odessa International Astronomical Gamow's Conference-School "Astronomy and beyond: astrophysics, cosmology and gravitation, cosmomicrophysics, radio-astronomy and astrobiology", Program and abstracts, August 20-26, 2012, Odessa. — Pp. 24–25.
11. *Oleinik V.P.* Motions by inertia and the Coulomb field. // Odessa astronomical publications, Volume 25, Issue 2, 2012. — P. 133.
12. *Олейник В.П.* Криволинейные движения по инерции и закон Кулона. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2012. — №3 (47). — С. 34–39.
13. *Арепьев Ю.Д., Буц А.Ю., Олейник В.П.* К проблеме внутренней структуры электрически заряженных частиц. Спектры внутренней энергии и распределение заряда свободного электрона и атома водорода. Киев, ИП АН УССР, Препринт №8 — 91, 1991, 36с.
14. *Oleinik V.P.* Quantum electrodynamics describing the internal structure of electron. Gauge-independent and covariant theory. — Leipzig, Universitat Leipzig, NTZ, Preprint — 1992. — № 7. — 30 p.
15. *Oleinik V.P.* Quantum theory of self-organizing electrically charged particles. Soliton model of the electron. // Proceedings of the NATO-ASI "Electron theory and quantum electrodynamics. 100 years later". — N.-Y.: Plenum Press, 1997, — P. 261–278.
16. *Oleinik V.P.* Nonlinear quantum dynamical equation for the self-acting electron. // J.Nonlinear Math.Phys. — 1997. — V. 4. — № 1–2. — P. 180–189.
17. *Oleinik V.P.* Faster-than-light transfer of a signal in electrodinamics. "Instantaneous action-at-a-distance in modern physics". — New York, Nova Science Publishers, Inc., 1999.
18. *Oleinik V.P.* "Quantum equation for the self-organizing electron" // Photon and Poincare group. — Nova Science Publishers, New York, Inc., 1999. — P. 188–200.
19. *Oleinik V.P.* The Problem of Electron and Superluminal Signals. (Contemporary Fundamental Physics). — Nova Science Publishers, Inc., Huntington, New York, 2001. — 229 pages.
20. *Oleinik V.P.* The Problem of Electron and Physical Properties of Time: To the Electron Technologies of the 21st Century. // New Energy Technologies. — 2002. — №1 (4). — P. 60–66.
21. *Олейник В.П., Прокофьев В.П.* Энергетическая проблема. Атом как неиссякаемый источник экологически чистой энергии. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2007. — № 2 (26). — С. 28–59.
22. *Олейник В.П., Прокофьев В.П.* Новый подход к энергетической проблеме. Атом — неиссякаемый экологически безопасный источник энергии // Биоинформационные и энергоинформационные технологии в целительстве, в духовной, в социальной и в производственной сферах («БЭИТ-2007»): Доклады X юбилейного Международного конгресса в 2 т. / Под ред. П.И. Госькова. — Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. — Т. 1. — С. 16–26.
23. *Oleinik V.P. and Prokofjev V.P.* Energy Problem. Atom as an Inexhaustible Source of Ecologically Pure Energy. // Mold. J. Phys. Sci. — 2008. — V.7. — № 4. — P. 25–34.
24. *Олейник В.П.* Фундаментальные проблемы физики: сверхсветовая коммуникация, активные тепловые машины, безопорное движение. //Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2008. — № 4 (32). — С. 48–57.
25. *Олейник В.П.* Фундаментальные проблемы физики и научная революция // Вестник МАЭН «Энергоинформационные технологии развития человека» («ЭИТ-2009»), май-июнь 2009 г., г. Барнаул / Под ред. Д.Н. Жданова. — Россия, Барнаул: ООО «Азбука», 2009. — С. 3–10.
26. *Oleinik V.P.* The Problem of Time: Force as the Cause of Change in the Course of Time. // Fundamental Problems of High Energy Physics and Field Theory. Proceedings of the XXIV Workshop on High Energy Physics and Field Theory. Protvino, June 27-29, 2001. — Protvino, 2001. — P. 251–269. — http://arxiv.org/abs/physics/0306074 .

27. *Олейник В.П.* Изменение хода времени в силовом поле и невесомость. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика — 2001. — № 2. — С.20–37.
28. *Oleinik V.P.* Informational Field and Superluminal Communication. http://arxiv.org/abs/physics/0306073, 2003.
29. *Лоренти Г.А.* Теории и модели эфира. — М.-Л.: Объединенное научно-технич. изд-во НКТП СССР, 1936.

Статья поступила в редакцию 21.07.2013 г.

Oleinik V. P.

The physical nature of the phenomenon of curvilinear motion by inertia. Classical particle as an open self-organizing system

Give me matter and motion - and I'll create the universe.
R. Descartes [1]

The physical nature and the physical mechanism of the phenomenon of curvilinear motion of classical particle by inertia is revealed. It is shown that **the classical particle, freed from the constraints imposed in Newtonian scheme of mechanics on particle's motion by inertia and on particle's mass, is an open self-organizing system**. **The first of the above restrictions** follows from the conventional idea that the uniform rectilinear motion of the body not subjected to the action of external forces is the only possible motion by inertia existing in nature. However, the study of the problem of motion [2–12] shows that there is an uncountable set of curvilinear motions by inertia, which are dialectical opposites in relation to forced accelerated motions. Research methods, excluding from consideration the accelerated motions by inertia, lead, obviously, to knowingly incomplete and distorted picture of physical reality. **The second restriction** concerns the particle mass: it is assumed that the mass of classical particle is an unchanged, conserving in time physical characteristics of the particle. As can be seen from the analysis of the problem, the requirement that the particle's mass must be constant leads to severe limitations on the accelerated motions of particles by inertia, which are inconsistent with the basic laws of nature — the laws of dialectics. It should be emphasized that these restrictions are no more than hypotheses; their use is not justified, because they have never been tested for their compliance with other principles of mechanics and for their consistency with experience. **This paper contains the formulation of foundations of mechanics free from the restrictions mentioned above.**

In a series of papers [13–20], the problem of self-organization of matter was investigated in detail on the basis of quantum electrodynamics. As a mechanism of self-organization of electron, the self-interaction was considered — the opposite effect of the Coulomb field created by charged particle on the same particle. From the fact that the Coulomb law is not a fundamental law of physics [10–12] and from the new results presented in this paper, it follows that, although the mechanism of self-organization considered in [13–20] catches, apparently, some features of the phenomenon, it is only a rough approximation to the true mechanism of self-organization. **The new results suggest that the capacity of matter for self-organization, being an inherent property of matter, arises at the simplest level of matter development and can be explained in terms of mechanics, without the use of phenomenology in the form of electric charges and the Coulomb field**.

In this paper, we study the behaviour and the physical features of classical particle with variable mass moving by inertia with acceleration. It is shown that the physical environment generated by the classical particle consists of two components — the continuous (classical) component and quantum component, which arises as a result of quantum jumps of the particle from one state of curvilinear inertia to another. The vibrational states of inertial motion of classical particle are built. The particle oscillating by inertia is shown to have the mass defect, the magnitude of which is of the order of the mass of the particle rotating by inertia. From this it follows that the conversion of the rotational motion by inertia to the vibrational one can be very effective method for producing high mass defect [21–23]. The particle-oscillator quantum transitions, in which the energy of classical particle is converted into the energy of environment generated by it, are indicated.

The results of the work indicate that ignoring the laws of dialectics is the main cause of the current crisis in the physical sciences. Physics, freed from the heavy shackles in the form of severe restrictions on the motion of matter, will be a powerful stimulus to technological progress. It will provide an unprecedented flowering of our civilization, transferring it to a qualitatively new level of development. The practical significance of these results is that they give a method for studying the nature, adequate to it, and open the way to solve a number of important tasks related to the energy problem, the gravity control, the creation of antigravity engines, the superluminal communication, the control of the passage of time [21–28].

Key words: curvilinear inertia, vibrational motion by inertia, quantum transitions of classical particle, self-organizing system, anti-gravity, gravity control.