Основания физики

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

Олейник В.П.

МАССА РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЧАСТИЦЫ КАК ФУНКЦИЯ СОСТОЯНИЙ ДВИЖЕНИЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УСКОРЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ПО ИНЕРЦИИ

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

Работа является завершением цикла статей, посвященных исследованию ускоренных движений по инерции [1–15]. **Основные результаты исследований**: раскрыта физическая природа ускоренных движений по инерции (УДИ) и массы частицы; показано, что УДИ и масса частицы играют ведущие роли в спектакле, который называется стабильным развитием материи; установлена причина трудностей, переживаемых ныне физикой, и найден верный путь их преодоления.

Раскрытие физической природы УДИ и массы частицы позволило установить причину глубокого кризиса физической науки. На существование кризиса физики обратил внимание П.А.М. Дирак, один из создателей квантовой электродинамики (КЭД), еще в середине прошлого века [16, 17, с.403]. Он утверждал, что основные уравнения электродинамики неверны, но не разъяснил причину трудностей КЭД. Причиной является неполнота специальной теории относительности (СТО), составляющей фундамент КЭД. Неполнота СТО выражается в том, что в СТО рассматриваются только вынужденные ускоренные движения и предполагается, что масса частиц является постоянным параметром. Из поля зрения СТО выпадают УДИ — такие собственные движения частиц, которые играют исключительно важную роль в развитии материи. УДИ представляют собой атрибут материи, они происходят с ускорением частиц, но не приводят к энергетическим потерям частиц. УДИ формируют такую функциональную зависимость массы частиц от скоростей и координат частиц, которая обеспечивает устойчивое развитие материи. УДИ порождают силовые поля, с помощью которых происходит взаимодействие между частицами.

Показано, что масса частицы зависит не только от модуля скорости частицы, как предполагалось в предыдущих работах, но и от положения частицы в пространстве, т.е. масса является функцией состояний движения. Существование зависимости массы частицы от положения частицы в пространстве имеет большое значение для эволюции материи, так как чрезвычайно расширяются возможности материи по организации стабильного развития ее структурных элементов. Из условия сохранения энергии частицы выведено уравнение для массы. Оно представляет собой дифференциальное уравнение второго порядка с частными производными. В частном случае, когда масса частицы не зависит от положения частицы в пространстве, это уравнение переходит в обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка, полученное и исследованное в работах [14, 15]. Уравнение для массы частицы выступает в роли своеобразного динамического принципа для собственных движений частицы. По физическому содержанию уравнение для массы существенно отличается от уравнений вынужденного движения. Если уравнение для массы служит для определения массы как функции состояния движения частицы, то уравнения движения определяют развитие во времени самого состояния движения.

Исследованы физические особенности ускоренных движений по инерции и проведено сравнение собственных и вынужденных движений, которые являются диалектическими противоположностями. Между силами, действующими на частицу в вынужденном и в собственном движениях, имеется качественное различие: в вынужденном движении сила является причиной ускорения, а в собственном — следствием ускорения. Изменение массы частицы при изменении положения частицы в пространстве вызывает неоднородность и неизотропность пространства и неоднородность времени.

Сформулирован новый подход в релятивистской механике, в котором отсутствуют трудности с неполнотой теории, присущие СТО. В отличие от СТО, в развиваемой здесь формулировке механики учитываются как собственные движения частиц, так и вынужденные; в качестве движений по инерции рассматриваются не движения свободных, голых частиц, не существующие в природе, а ускоренные движения по инерции (УДИ) — движения реальных, физических частиц; не используется предположение о том, что масса частицы является постоянным параметром; масса выступает в качестве функции состояния движения; функциональная зависимость массы частицы от координат и скорости формируется ускоренными движениями по инерции и определяется уравнением для массы, которое гарантирует сохранение энергии частицы (в отсутствие внешнего поля).

На основании полученных результатов можно сформулировать следующий вывод. **Причиной кризиса физики является СТО, положенная в основу электродинамики. СТО представляет собой абстрактную математическую схему, которая вследствие ее неполноты не может описывать физическую реальность.** Материя, как самоорганизующаяся, самоуправляемая, мыслящая сущность, предпочитает развиваться совершенно иначе, чем предписывает ей СТО. Работа является развитием и продолжением исследований [22, 23] в области квантовой электродинамики.

Ключевые слова: физическая природа массы частицы, собственное и вынужденное движения, ускоренное движение по инерции, масса как функция состояний движения, уравнение для массы, неполнота механики, специальная теория относительности (СТО), физические свойства пространства-времени, динамический принцип для собственных движений.

1. Введение

Существует два типа движений материальных частиц — **вынужденные движения** и **собственные движения**. Под вынужденными понимают такие движения, которые происходят под действием внешних сил, сил, порождаемых заданными внешними полями. Внешним принято считать силовое поле, физические свойства которого остаются неизменными после его воздействия на пробную частицу. Внешняя сила выступает в качестве причины вынужденных движений (ВД). Собственные движения (СД) — это атрибут материи, т.е. врожденное свойство материи, присущее ей по самой природе вещей. Характерной особенностью СД служит то обстоятельство, что источником СД является материя, но не существует порождающих эти движения внешних сил. СД простейшего структурного элемента материи — точечной частицы представляют собой непрерывные переходы частицы из состояния движения $\vec{r}, \vec{v}$ в момент времени t в другое состояние движения $\vec{r} + d\vec{r}, \vec{v} + d\vec{v}$ в следующий момент времени $t + dt$ ($d\vec{r}$ и $d\vec{v}$ — приращения радиус-вектора $\vec{r}$ и вектора скорости $\vec{v}$ частицы за время $dt,\ \ dt \to +0$). Если $d\vec{v} / dt \equiv \vec{a} \neq 0,\ \vec{a}$ — ускорение, СД частицы является ускоренным; на частицу действует сила $\vec{F} = d\vec{p} / dt$ ($\vec{p}$ — импульс частицы); сила $\vec{F}$ не является внешней, она выступает в качестве следствия СД, а не его причины. **СД и ВД представляют собой, таким образом, диалектические противоположности**: СД порождают силы, действующие на частицы, а ВД порождаются внешними силами, т.е. являются следствием действия на частицы внешних сил.

Качественное различие между СД и ВД приводит к тому, что эти движения невозможно описать единообразно, пользуясь обычной схемой описания, основанной на принципе наименьшего действия (ПНД). Вследствие отсутствия внешних сил, управляющих собственными движениями частиц, не существует уравнений, описывающих собственные движения аналогично уравнениям для вынужденных движений во внешнем поле. Особенность собственных движений частиц состоит в том, что в любой системе частиц они происходят непрерывно, независимо от внешних воздействий на систему. И если некоторая физическая система помещается во внешнее поле, то на собственные движения частиц системы накладываются вынужденные ускоренные движения, вызванные действием внешнего поля, так что движение каждой частицы представляет собой суперпозицию СД и ВД. Собственные движения продолжают выполнять свою основную работу — формировать такую зависимость массы от состояний движения частиц, какая обеспечивает устойчивое движение системы. Достоверное и надежное описание поведения физической системы во внешнем поле возможно, очевидно, лишь при условии, что при построении теории в качестве массы частицы используется не постоянный параметр, а та функция состояний движения частицы, какая сформирована собственными движениями и описывается уравнением для массы.

Наиболее важную роль в развитии материи играют те из собственных движений частиц, в которых энергия частиц сохраняется. Такие собственные движения мы называем ускоренными движениями по инерции (УДИ). Их отличительная черта состоит в том, что масса частицы, совершающей такое движение, изменяется со временем так, чтобы энергетические потери частицы, связанные с ускоренным движением, компенсировались увеличением кинетической энергии. Это означает, что масса m частицы, совершающей УДИ, оказывается функцией состояний движения частицы. В работах [14, 15] рассмотрен частный случай УДИ, движений, в которых масса частицы зависит только от модуля скорости частицы: $m = m(v)$, $v = |\vec{v}|$. Здесь получено уравнение для массы m как функции скорости v, представляющее собой дифференциальное уравнение второго порядка. Дальнейшие исследования показали, что масса частицы может зависеть не только от модуля скорости, но и от положения частицы в пространстве. В настоящей работе получено обобщение результатов [14, 15] на общий случай, когда масса частицы m является функцией состояний движения, т.е. $m = m(\vec{r}, \vec{v})$.

Для описания физических явлений и процессов принято использовать инерциальные системы отсчета (ИСО), которые определяются из условия, чтобы в них выполнялся принцип инерции в формулировке Декарта: частицы, не подверженные действию внешних полей, т.е. свободные частицы, движутся равномерно и прямолинейно. Движения свободных частиц, которые называют движениями по инерции, получаются из общепринятых уравнений движения во внешнем поле в предельном случае $\vec{F}_{вн} \to 0$, где $\vec{F}_{вн}$ — действующая на частицы внешняя сила. Следует подчеркнуть, однако, что при отключении внешнего поля остаются частицы, совершающие собственные движения, которые являются отнюдь не равномерными и прямолинейными, а представляют собой, как отмечалось выше, непрерывные переходы из одних состояний движения в другие. Такие собственные движения характеризуются тем, что они происходят с сохранением энергии частиц, и поэтому именно они играют роль реальных движений по инерции, существующих в природе. Свободных частиц, движущихся по инерции, нет в природе. Следовательно, приписывание свободным частицам какой-либо роли в динамике реальных физических систем теряет смысл.

Как видно из изложенного, механика существенно не полна, как механика Ньютона, так и релятивистская механика — специальная теория относительности (СТО). Механика не учитывает собственных движений частиц, составляющих материальные тела, движений, которые формируют зависимость массы частиц от состояний движения, обеспечивая стабильное развитие системы. Раскрытие физической природы массы частицы [14] позволяет установить причину того факта, на который указал П.А.М. Дирак [16]: основные уравнения электродинамики неверны. Причиной является неполнота релятивистской механики, в которой собственные движения частиц не принимаются во внимание, учитываются лишь вынужденные движения, происходящие под действием внешних сил, и предполагается, что масса частиц является неизменным, постоянным параметром.

Основанием для приведенного выше утверждения П.А.М. Дирака послужило то обстоятельство, что расчет физических величин в соответствии с квантовой электродинамикой (КЭД) приводит к расходимостям — бесконечно большим значениям вычисляемых физических величин [16, с.197]. Для устранения расходимостей приходится прибегать к специальной процедуре, называемой перенормировкой массы и электрического заряда. Хотя эта процедура и позволяет устранить расходимости, но ее использование вызывает чувство неудовлетворенности, поскольку она не следует из физических принципов, положенных в основу КЭД. П.А.М. Дирак не разъяснил, почему появляются расходимости и почему они связаны с массой и зарядом. Причина становится понятной только сейчас, благодаря тому, что раскрыта физическая природа массы. Из результатов работ [14, 15] и настоящей работы видно, почему стандартная схема описания приводит к необходимости выполнения процедуры перенормировки. Причина заключается в том, что в общепринятой схеме механики масса частицы рассматривается как постоянный параметр, в то время как в действительности она является функцией состояний движения частицы, функцией, зависимость которой от координат и скорости формируется собственными движениями. Из-за наличия собственных движений масса непрерывно изменяется со временем, но при выводе уравнений движения из принципа наименьшего действия масса считается постоянным параметром. Поэтому-то и пришлось разработать искусственную процедуру изменения массы, которую назвали перенормировкой массы. Необходимость перенормировки массы указывает, таким образом, на то, что гипотеза $m = const$ не выполняется. Отметим, что физическая природа электрического заряда частицы такова же, как и массы: на основании полученных нами результатов можно утверждать, что масса и электрический заряд формируются собственными движениями частиц и представляют собой функции состояний движения частиц, обеспечивающие стабильное развитие материи.

Перечислим основные результаты, представленные в последующих разделах работы.

В разделе 2 исследуется масса точечной частицы как функция координат и скорости частицы. Причиной, по которой масса частицы может зависеть не только от скорости, но и от положения частицы в пространстве, является то обстоятельство, что масса частиц играет в природе особую роль — она обеспечивает стабильное развитие материи как самоорганизующейся, самоуправляемой сущности. Очевидно, что справиться с этой задачей можно лишь при условии, что отсутствуют какие-либо ограничения на функциональную зависимость массы от координат и скорости. По-видимому, именно по такому пути идет эволюция материи. Уравнение для массы m как функции состояний движения релятивистской частицы,

$$m = m(\vec{r}, \vec{v}), \;\; \vec{r} = \vec{r}(t), \;\; \vec{v} = \vec{v}(t), \tag{1}$$

выведено из условия сохранения полной энергии частицы, совершающей ускоренные движения по инерции (УДИ). Полученное уравнение представляет собой дифференциальное уравнение второго порядка с частными производными вида $\partial / \partial\vec{r}$ и $\partial / \partial\vec{v}$; из соображений удобства и простоты записи в работе приведено уравнение для величины μ, которая связана с массой m равенством $\mu = m\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$. В частном случае, когда масса частицы не зависит от положения частицы в пространстве, это уравнение переходит в обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка, полученное и исследованное в работе [14].

При движении точечной частицы выделенными направлениями в пространстве являются направления вдоль векторов $\vec{r}$ и $\vec{v}$. Точка с радиус-вектором $\vec{r}$, в которой находится частица, выделена с физической точки зрения среди других точек пространства тем, что, в отличие от других точек, она обладает, благодаря пребыванию в ней частицы, энергией покоя и импульсом покоя частицы. Зависимость массы m от модуля скорости частицы является основной, наиболее сильной; зависимость массы от угла между векторами $\vec{r}$ и $\vec{v}$ оказывается более слабой, и еще более слабой оказывается зависимость m от длины радиус-вектора $\vec{r}$.

Поскольку масса частицы является скалярной величиной, то ее функциональная зависимость от скорости и координат выражается через скаляры $\vec{v}^2, \vec{r}\vec{v}, \vec{r}^2$. Рассмотрено разложение массы частицы в ряд теории возмущений по степеням $\vec{r}\vec{v}$ и r, справедливое при слабой зависимости массы от радиус-вектора $\vec{r}$. Указанное разложение массы исследовано в линейном приближении по $\vec{r}$.

В разделе 3 исследуются физические особенности ускоренных движений по инерции [5, 7, 15, 20, 21]. Проведено сравнение собственных и вынужденных движений. Обсуждаются различия между силами, действующими на частицу, совершающую собственные и вынужденные движения. Отмечается, что изменение массы частицы с изменением положения частицы в пространстве означает неоднородность и неизотропность пространства и неоднородность времени. На частицу, движущуюся ускоренно по инерции, действует дополнительная сила, появление которой обусловлено неоднородностью пространства; она является реакцией окружающего частицу пространства на собственное движение. Согласно полученным результатам, движение свободной частицы по инерции, возникающее при отключении внешнего поля, существенно отличается от ускоренного движения по инерции. Если в первом из указанных движений сохраняется вектор импульса $\vec{p}$ и частица движется равномерно и прямолинейно, то во втором сохраняется не вектор импульса, а лишь его модуль и частица движется по криволинейной траектории, испытывая действие силы, которая не совершает работы при перемещении частицы.

Для определения функциональной зависимости массы частицы от состояний движения можно использовать закон сохранения $E = const$, где E - полная энергия частицы, движущейся ускоренно по инерции. В случае, если зависимость массы от положения частицы в пространстве слабая, можно ограничиться линейным приближением по $\vec{r}$, считая, что имеет место разложение вида: $m = \alpha_1 + \vec{r}\vec{v}\alpha_2 + r\alpha_3$, где $\alpha_i = \alpha_i(v),\ \ i = 1,2,3$. Из приведенного выше закона сохранения энергии следуют дифференциальные уравнения первого порядка, определяющие величины α_i. В разделе приведены эти уравнения, получены их решения и с их помощью исследовано выражение для силы $\vec{F}$, действующей на частицу. Показано, что вектор $\vec{F}$ ортогонален вектору скорости частицы $\vec{v}$ и поэтому сила не совершает работы над частицей при перемещении частицы по траектории.

Обсуждается известное высказывание Р. Фейнмана о неполноте второго закона Ньютона и о том, что сила, действующая на частицу, должна обладать физическими свойствами в дополнение к закону движения [18, с.209, 19].

В заключительном разделе формулируются основные результаты и выводы работы. Подчеркивается, что причиной серьезных трудностей, испытываемых квантовой электродинамикой (КЭД), является неполнота специальной теории относительности (СТО) — теории, составляющей фундамент КЭД. Если из поля зрения СТО выпадают ускоренные движения по инерции, представляющие собой истинные движения частиц по инерции, которые обеспечивают стабильное развитие материи, то нет оснований надеяться, что уравнения электродинамики могут правильно описывать реальные, физические процессы. Из ошибочности основных уравнений электродинамики, на чем настаивал П.А.М. Дирак еще полвека назад, с необходимостью следует, что трудности электродинамики обусловлены неполнотой СТО.

В приложении изложены общие представления о массе точечной частицы как функции состояний движения.

2. Масса релятивистской частицы как функция состояния движения. Уравнение для массы

Согласно [14,15], физическая природа массы классической частицы состоит в том, что масса представляет собой функцию состояний движения, которая играет в природе особую роль. Масса структурных элементов материи отвечает за стабильное развитие материи, т.е. несет ответственность за само существование материи как самоорганизующейся, самоуправляемой сущности. Особенностью поведения реальных, физических частиц являются непрерывные переходы каждой частицы из одного состояния движения в другое, переходы, которые происходят спонтанно, в отсутствие каких-либо внешних сил.

Особую роль в эволюции материи играют такие собственные движения частиц, в которых энергия частиц E сохраняется: $E = const$. Такие движения, происходящие в отсутствие внешних сил, мы называем ускоренными движениями по инерции (УДИ). Иными словами, УДИ — это собственные движения, представляющие собой атрибут материи, движения, происходящие с ускорением частиц, но не приводящие к энергетическим потерям частиц. Как разъясняется в [15], физическим механизмом сохранения энергии частицы, движущейся ускоренно по инерции, является такое изменение массы частицы со временем, при котором энергетические потери, вызванные ускоренным движением частицы, восполняются увеличением кинетической энергии, так что полная энергия частицы сохраняется. Отметим, что полная энергия E частицы, совершающей УДИ, не совпадает с кинетической энергией частицы; она отличается от кинетической энергии поправкой, пропорциональной величине $\vec{v}\partial m / \partial\vec{v}$, где $m = m(\vec{r}, \vec{v})$.

Уравнение для массы (1) как функции состояний движения частицы можно вывести из условия сохранения полной энергии частицы, совершающей УДИ. Исходим из уравнения Лагранжа релятивистской частицы массой m, движущейся со скоростью $\vec{v}$,

$$L = L_0 - U,\ \ L_0 = -mc^2\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}},\ \ U = U(\vec{r},t), \tag{2}$$

где c — скорость света, U — потенциальная энергия частицы во внешнем поле. Полная энергия E во внешнем поле и импульс $\vec{p}$ частицы определяются формулами:

$$E = \vec{v}\vec{p} - L, \quad \vec{p} = \frac{\partial L}{\partial \vec{v}}. \tag{3}$$

Приведем соотношение, определяющее скорость изменения со временем полной энергии частицы (при $\partial U / \partial t = 0$):

$$\frac{dE}{dt} = \vec{v}\left(\frac{d\vec{p}}{dt} - \vec{F}_{вн} - \vec{\tilde{F}}\right),\ \ \vec{F}_{вн} = -\vec{\nabla}U, \quad \vec{\tilde{F}} = -\frac{\partial m}{\partial \vec{r}}c^2\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \tag{4}$$

Здесь $\vec{F}_{вн}$ — внешняя сила, действующая на частицу со стороны внешнего поля U, $\vec{\tilde{F}}$ — сила, порождаемая частицей, движущейся ускоренно по инерции; сила $\vec{\tilde{F}}$ возникает вследствие того, что величина массы частицы зависит от положения частицы в пространстве.

Массу частицы мы определяем из условия сохранения энергии $E_0 = \vec{v}\vec{p}_0 - L_0 = const$ или

$$dE_0 / dt = 0, \tag{5}$$

где E_0, $\vec{p}_0$ и L_0, соответственно, — энергия, импульс и функция Лагранжа частицы в отсутствие внешнего поля, т.е. при $U = 0$. Приведем соотношения, определяющие величины E_0, $\vec{p}_0$ и dE_0 / dt, которые потребуются в дальнейшем:

$$\begin{aligned} &E_0 = mc^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} - \left(\vec{v}\frac{\partial m}{\partial \vec{v}}\right)c^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}, \\ &\vec{p}_0 = m\vec{v}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} - \frac{\partial m}{\partial \vec{v}}c^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}, \quad \frac{dE_0}{dt} = \vec{v}\left(\frac{d\vec{p}}{dt} - \vec{\tilde{F}}\right). \end{aligned} \tag{6}$$

В силу (1) энергия E_0 является функцией состояния движения частицы и поэтому условие (5) можно представить в виде

$$\frac{dE_0}{dt} = \vec{v}\frac{\partial E_0}{\partial \vec{r}} + \dot{\vec{v}}\frac{\partial E_0}{\partial \vec{v}} = 0. \tag{7}$$

Учитывая равенства (2) и (3), величину E_0 можно выразить через функцию Лагранжа следующим образом:

$$E_0 = \left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial \vec{v}} - 1\right)L_0. \tag{8}$$

Подставляя (8) в (7) и представляя функцию Лагранжа L_0 (2) в виде

$$L_0 = -c^2\mu, \quad \mu = m\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}, \tag{9}$$

получаем следующее уравнение для величины μ, которую далее будем называть «массой» частицы:

$$\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial \vec{r}} + \dot{\vec{v}}\frac{\partial}{\partial \vec{v}}\right)\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial \vec{v}} - 1\right)\mu = 0, \quad \mu = \mu(\vec{r},\vec{v}). \tag{10}$$

Здесь «масса» μ связана с реальной массой частицы m вторым из равенств (9), так что масса m выражается через решение уравнения (10) равенством

$$m = \mu\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}. \tag{11}$$

Отметим, что, согласно соотношениям (7)–(9), изменение энергии частицы, совершающей собственное движение, зависит от величины $\partial\mu/\partial\vec{r}$, т.е. энергия частицы изменяется при изменении положения частицы в пространстве. Отсюда следует, что и масса частицы может быть функцией радиус-вектора частицы.

Уравнение (10) представляет собой дифференциальное уравнение второго порядка с частными производными вида $\partial/\partial\vec{r}$ и $\partial/\partial\vec{v}$. Отметим, что равенство (7), в котором величины $\vec{v}$ и $\dot{\vec{v}}$ могут принимать произвольные значения, эквивалентно равенствам

$$\frac{\partial E_0}{\partial\vec{r}}=0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial E_0}{\partial\vec{v}}=0, \tag{12}$$

которые должны выполняться одновременно. Если в равенствах (12) использовать соотношения (8) и (9), то получается система уравнений для «массы» μ, эквивалентная уравнению (10). Указанная система уравнений имеет следующий вид:

$$\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}-1\right)\frac{\partial\mu}{\partial\vec{r}}=0, \quad \left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\frac{\partial\mu}{\partial\vec{v}}=0\,. \tag{13}$$

При вычислении массы частицы с помощью уравнений (13) нужно учесть, что величина μ должна подчиняться обоим уравнениям (13) одновременно.

Отметим, что, помимо зависимости массы частицы от времени через радиус-вектор и вектор скорости, как это указано в равенствах (1), может обнаружиться и явная зависимость массы от времени. Такая зависимость может возникнуть потому, что из-за ускоренных движений частиц по инерции пространство-время приобретает физические свойства, превращаясь в неоднородное 4-пространство (см. [15]). Но в данной работе не исследуется возможность появления явной зависимости массы от времени.

Рассмотрим решение уравнения (10) в частном случае, когда выполняется условие

$$\frac{\partial\mu}{\partial\vec{r}}=0\,. \tag{14}$$

В этом случае уравнение (10) можно привести к виду:

$$\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\left(\dot{\vec{v}}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\mu=0\,. \tag{15}$$

Выражение (15) следует из равенства

$$\left(\dot{\vec{v}}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}-1\right)\mu=\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\left(\dot{\vec{v}}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\mu-\sum_{i,k}\frac{\partial\mu}{\partial v_k}\left(v_i\frac{\partial\dot{v}_k}{\partial v_i}\right), \tag{16}$$

которое справедливо при выполнении условия (14). Последнее слагаемое, стоящее в правой части равенства (16), обращается в нуль ввиду того, что имеет место соотношение

$$\frac{\partial\dot{v}_k}{\partial v_i}=\frac{\partial}{\partial v_i}\frac{d}{dt}v_k=\left(\frac{d}{dt}\frac{\partial}{\partial v_i}+\frac{\partial}{\partial r_i}\right)v_k=0\,.$$

Используя равенство (16), нетрудно показать, что решение уравнения (15) можно представить в виде

$$\mu=\mu_1+\mu_2\,, \tag{17}$$

где величины μ_1 и μ_2 подчиняются следующим дифференциальным уравнениям первого порядка:

$$\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}-1\right)\mu_1=0, \quad \left(\dot{\vec{v}}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\mu_2=0\,. \tag{18}$$

Как видим, при выполнении условия (14) дифференциальное уравнение второго порядка (10) расщепляется на систему из двух уравнений первого порядка. Очевидно, что при условии (14) величина μ зависит только от модуля вектора скорости, т.е. $\mu=\mu(v)$, $v=|\vec{v}\,|$, и поэтому справедливы равенства $\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}=v\frac{\partial}{\partial v}$, $\dot{\vec{v}}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}=\dot{v}\frac{\partial}{\partial v}$. Следовательно, уравнение (15) принимает вид:

$$v\dot{v}\frac{d^2}{dv^2}\mu = 0\,. \qquad (19)$$

С помощью последней из формул (9) уравнение (19) легко преобразовать к следующему уравнению для массы m (напомним, что нас интересуют решения уравнения (19) при $v \neq 0$ и $\dot{v} \neq 0$):

$$\left(1-\hat{\Lambda}^2\right)m = 0, \quad \hat{\Lambda} = c\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)\frac{d}{dv} \qquad (20)$$

Уравнение (20) получено и исследовано в работе [14]. Приведем общее решение уравнений (19) и (20):

$$\mu = c_1 v + c_2, \quad m = \mu\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}, \quad c_i = const, \quad i = 1,2\,. \qquad (21)$$

Равенства (12) определяют условия, при которых энергия частицы сохраняется. Из первого из соотношений (6) видно, что если масса частицы m является постоянным параметром, то имеет место неравенство: $\dfrac{\partial E_0}{\partial \vec{v}} = m\vec{v}\left(1-\dfrac{v^2}{c^2}\right)^{-3/2} \neq 0$ при $v \neq 0$, т.е. второе из условий (12) не выполняется. Это значит, что масса частицы, энергия которой сохраняется, должна зависеть от скорости движения частицы. Зависимость массы частицы от модуля вектора скорости является основной, наиболее сильной; зависимость массы от угла между векторами $\vec{r}$ и $\vec{v}$ оказывается более слабой, и еще более слаба зависимость m от длины радиус-вектора $\vec{r}$.

Зависимость «массы» μ от положения частицы в пространстве можно исследовать, разложив величину μ в ряд теории возмущений по степеням $\vec{r}\vec{v}$ и r. Полагая, что μ_0 — «масса» частицы при $\vec{r} = 0$, представим величину μ в виде:

$$\mu = \mu_0 + \mu_1\frac{\vec{r}\vec{v}}{r} + \mu_2 r + \ldots, \quad \mu_i = \mu_i(v), \quad i = 0,1,2\,. \qquad (22)$$

Используя равенства

$$\frac{\vec{r}\vec{v}}{r} = \vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}, \quad \frac{\partial}{\partial \vec{v}}\left(\vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}\right) = \vec{e}_{\vec{r}}, \quad \frac{\partial}{\partial \vec{r}}\left(\vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}\right) = \frac{1}{r}\left[\vec{v} - \left(\vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}\right)\vec{e}_{\vec{r}}\right],$$

$$\vec{e}_{\vec{r}}\frac{\partial}{\partial \vec{r}}\left(\vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}\right) = 0, \quad \vec{e}_{\vec{r}}\frac{\partial}{\partial \vec{v}}\left(\vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}\right) = 1,$$

где $\vec{e}_{\vec{r}} = \vec{r}\,/\,r$ — орт радиус-вектора, получаем следующие выражения для производных $\partial\mu/\partial\vec{r}$ и $\partial\mu/\partial\vec{v}$, входящих в уравнения (13):

$$\begin{aligned}\frac{\partial\mu}{\partial\vec{r}} &= \frac{1}{r}\left[\vec{v} - \left(\vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}\right)\vec{e}_{\vec{r}}\right]\mu_1 + \vec{e}_{\vec{r}}\mu_2,\\ \frac{\partial\mu}{\partial\vec{v}} &= \frac{\partial\mu_0}{\partial\vec{v}} + \left(\vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}\right)\frac{\partial\mu_1}{\partial\vec{v}} + \vec{e}_{\vec{r}}\mu_1 + r\frac{\partial\mu_2}{\partial\vec{v}}.\end{aligned} \qquad (23)$$

С помощью соотношений (23) система уравнений (13) запишется следующим образом:

$$\begin{aligned}&\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}} - 1\right)\frac{\partial\mu}{\partial\vec{r}} = \frac{\partial}{\partial\vec{r}}\left(\vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}\right)\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\mu_1 - \vec{e}_{\vec{r}}\left(1 - \vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\mu_2 = 0,\\ &\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\frac{\partial\mu}{\partial\vec{v}} = \left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\frac{\partial\mu_0}{\partial\vec{v}} + \left(\vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}\right)\left(1 + \vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\frac{\partial\mu_1}{\partial\vec{v}} + \vec{e}_{\vec{r}}\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\mu_1 + r\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right)\frac{\partial\mu_2}{\partial\vec{v}} = 0.\end{aligned} \qquad (24)$$

Анализ системы уравнений (24) с учетом того, что величина $\mu_0 = \mu_0(v)$ представляет собой «массу» частицы в нулевом приближении, приводит к следующим выражениям для μ_1 и μ_2:

$$\mu_1 = c_1, \quad \mu_2 = c_2 v, \quad c_i = const, \quad i = 1,2\,. \qquad (25)$$

Равенства (25) справедливы, если выполняются условия применимости теории возмущений:

$$\frac{\mu_1}{\mu_0}\left(\vec{e}_{\vec{r}}\vec{v}\right) << 1, \quad \frac{\mu_2}{\mu_0} r << 1 .$$

3. Физические особенности ускоренных движений по инерции

В СТО полная энергия E и импульс $\vec{p}$ релятивистской частицы массой m, $m = const$, во внешнем поле U, $U = U(\vec{r})$, даются формулами

$$E = mc^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} + U, \quad \vec{p} = m\vec{v}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}. \tag{26}$$

Закон сохранения энергии E имеет вид:

$$\frac{dE}{dt} = \vec{v}\left(\frac{d\vec{p}}{dt} - \vec{F}_{вн}\right) = 0, \tag{27}$$

где $\vec{F}_{вн} = -\vec{\nabla}U$ — внешняя сила, действующая на частицу во внешнем поле U. Закон сохранения энергии (27), $E = const$, выполняется благодаря тому, что движение частицы подчиняется уравнению движения

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{вн}. \tag{28}$$

В механике под силой, действующей на частицу с импульсом $\vec{p}$, понимают величину $d\vec{p}/dt$, которую обозначим через $\vec{F}$. Согласно уравнению движения (28), сила $\vec{F}$ совпадает с внешней силой $\vec{F}_{вн}$, которая выступает в качестве причины вынужденного движения частицы с ускорением $\vec{F}_{вн}/m \equiv \vec{a}$.

Рассмотрим теперь собственное движение (СД) частицы, сравнив его с приведенным выше вынужденным движением (ВД). Напомним, что СД качественно отличается от ВД: эти движения являются диалектическими противоположностями. СД является атрибутом материи и имеет первичный характер. СД — это дыхание материи, представляющее собой непрерывные переходы структурных элементов материи из одного состояния движения в другое, происходящие с ускорением спонтанно, без участия каких-либо внешних сил. В собственном ускоренном движении на частицу действует сила, которая, однако, является не причиной ускорения частицы, подобно внешней силе в вынужденном движении, а его следствием: она порождается собственным движением. Обозначим через E_0 и $\vec{p}_0$ полную энергию и импульс частицы, совершающей собственное движение. Закон сохранения энергии частицы можно описать формулой типа (4), в которой нужно положить: $E = E_0$, $\vec{p} = \vec{p}_0$ и $\vec{F}_{вн} = 0$. Представим этот закон в следующей форме:

$$\frac{dE_0}{dt} = \vec{v}\vec{F}' = 0, \tag{29}$$

где

$$\vec{F}' = \frac{d\vec{p}_0}{dt} - \vec{\tilde{F}}, \quad \vec{\tilde{F}} = -\frac{\partial m}{\partial \vec{r}} c^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}, \quad m = m(\vec{r},\vec{v}). \tag{30}$$

Равенство $\vec{v}\vec{F}' = 0$ (29) является следствием цепочки равенств, приведенных ниже:

$$\vec{v}\vec{F}' = \vec{v}\dot{\vec{p}}_0 - \vec{v}\vec{\tilde{F}} = \frac{d}{dt}\left(\vec{v}\vec{p}_0 - L_0 + L_0\right) - \dot{\vec{v}}\vec{p}_0 - \vec{v}\vec{\tilde{F}} = \frac{d}{dt}\left(\vec{v}\vec{p}_0 - L_0\right),$$

где L_0 — функция Лагранжа (9), $\vec{v}\vec{p}_0 - L_0 = E_0 = const$ и учтено, что

$$\frac{dL_0}{dt} = \vec{v}\frac{\partial L_0}{\partial \vec{r}} + \dot{\vec{v}}\frac{\partial L_0}{\partial \vec{v}} = \vec{v}\vec{\tilde{F}} + \dot{\vec{v}}\vec{p}_0. \tag{31}$$

Величина $\vec{F}'$, определенная формулой (30), представляет собой силу, действующую на частицу, а величина $\vec{v}\vec{F}'$ (29) — работу dA/dt, совершаемую над частицей силой $\vec{F}'$ в единицу времени. Сила $\vec{F}'$ не равна нулю, вектор $\vec{F}'$ перпендикулярен вектору скорости частицы $\vec{v}$ и поэтому сила $\vec{F}'$ не совершает работу над частицей, тем самым обеспечивается сохранение энергии:

$$\vec{F}' \neq 0, \ \frac{dA}{dt} = \vec{v}\vec{F}' = 0, \ E_0 = const.$$

Отметим, что если масса частицы m не зависит от положения частицы в пространстве, т.е. если $\partial m/\partial\vec{r} = 0$, то $\vec{\tilde{F}} = 0$ и тогда в соответствии с формулами (6) имеют место равенства:

$$\frac{\partial m}{\partial\vec{v}} = \frac{dm}{dv}\vec{e}_{\vec{v}}, \quad \vec{p}_0 = p_0\vec{e}_{\vec{v}}.$$

Поэтому сила $\vec{F}'$, действующая на частицу, принимает вид:

$$\vec{F}' = \frac{d\vec{p}_0}{dt} = p_0\dot{\vec{e}}_{\vec{v}} \neq 0. \tag{32}$$

Здесь учтено, что согласно [14] имеет место соотношение $dE_0/dt = v\dot{v}\,dp_0/dt$, справедливое при произвольных значениях v и $\dot{v}$, которое в силу (29) дает: $dp_0/dt = 0$. Таким образом, на частицу, движущуюся ускоренно по инерции, действует сила $\vec{F}'$ (32), которая работы не совершает вследствие ортогональности векторов $\vec{F}'$ и $\vec{v}$. Заметим, что в формуле (32) $\dot{\vec{e}}_{\vec{v}} \neq 0$ ввиду того, что частица движется по криволинейной траектории.

Следует подчеркнуть, что изменение массы частицы при изменении положения частицы в пространстве означает неоднородность и неизотропность пространства и неоднородность времени. В самом деле, поскольку масса, согласно (1), является функцией состояний движения, то выбор момента времени t означает, что в этот момент фиксируется положение частицы в пространстве и выделяются направления вдоль векторов $\vec{r}$ и $\vec{v}$, отвечающих состоянию движения частицы. Тем самым момент времени t оказывается выделенным среди других моментов времени, а также выделенными будут положение частицы и указанные выше направления в пространстве. Формирование массы как функции состояний движения приводит, таким образом, к неоднородности и неизотропности пространства-времени. В сущности, перед нами раскрывается физический механизм возникновения физических свойств 4-пространства, связанный с собственными движениями материи. Отметим, что, вследствие неоднородности пространства, на частицу, совершающую собственные движения, действует дополнительная сила $\vec{\tilde{F}}$ (см. (30)).

Как видно из изложенного, движение свободной частицы по инерции, возникающее в пределе $\vec{F}_{вн} \to 0$, существенно отличается от ускоренного движения по инерции. Если в первом из указанных выше движений сохраняется вектор импульса $\vec{p}$ и частица движется равномерно и прямолинейно, то во втором сохраняется не вектор импульса, а лишь его модуль, и частица движется по криволинейной траектории, испытывая действие силы $\vec{F}'$ (32), которая работы не совершает. **Существует два типа ускоренных движений частиц — вынужденные движения, которые являются следствием действия внешних сил, и собственные движения**, в которых порождаются силовые поля, т.е. движения, выступающие в качестве причины появления действующих на частицу сил.

Поскольку масса частицы m является скалярной функцией состояний движения, $m = m(\vec{r},\vec{v})$, то величина массы может зависеть только от скаляров $\vec{v}^2, \ \vec{r}\vec{v}, \vec{r}^2$. Отсюда следует, что должны выполняться равенства вида

$$\partial m/\partial\vec{v} = A\vec{v} + B\vec{r}, \ \ \partial m/\partial\vec{r} = A'\vec{v} + B'\vec{r},$$

где величины A, B, A', B' являются функциями указанных выше скаляров. Очевидно, что если зависимость массы от $\vec{r}$ слабая, можно ограничиться линейным приближением по $\vec{r}$ и положить:

$$m = \alpha_1 + \vec{r}\vec{v}\alpha_2 + r\alpha_3, \tag{33}$$

где $\alpha_i = \alpha_i(v)$, $i = 1,2,3$. Отметим следующие соотношения, вытекающие из (33), которые потребуются в дальнейшем:

$$\frac{\partial m}{\partial \vec{r}} = \vec{v}\alpha_2 + \vec{e}_{\vec{r}}\alpha_3, \quad \frac{\partial m}{\partial \vec{v}} = \left(\frac{d\alpha_1}{dv} + \vec{r}\vec{v}\frac{d\alpha_2}{dv} + r\frac{d\alpha_3}{dv}\right)\vec{e}_{\vec{v}} + \vec{r}\alpha_2, \quad \vec{e}_{\vec{r}} = \frac{\vec{r}}{r}, \quad \vec{e}_{\vec{v}} = \frac{\vec{v}}{v}. \tag{34}$$

Как видно из (33) и (34), вектор импульса $\vec{p}_0$, $\vec{p}_0 = \partial L_0 / \partial \vec{v}$, имеет компоненты, направленные вдоль обоих выделенных направлений — как вдоль вектора скорости $\vec{v}$, так и вдоль радиус- вектора $\vec{r}$.

В качестве уравнения, определяющего функциональную зависимость массы частицы от $\vec{r}$ и $\vec{v}$, можно использовать не общее уравнение (10), являющееся дифференциальным уравнением в частных производных, а равенство $E_0 = const$, где E_0 — полная энергия частицы, выражающаяся первой из формул (6). Указанное равенство запишем в виде:

$$\left(\vec{v}\frac{\partial}{\partial \vec{v}}\right)m - \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} m = -\frac{E_0}{c^2}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \tag{35}$$

и будем рассматривать его как дифференциальное уравнение для определения массы. Подставляя в уравнение (35) выражение (33) для массы и отделяя друг от друга в полученном выражении члены, содержащие величины $\vec{r}\vec{v}$, r и остальные величины, получаем следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{gathered} v\frac{d\alpha_1}{dv} - \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}\alpha_1 = -\frac{E_0}{c^2}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}; \quad \frac{d\alpha_2}{dv} - \frac{v}{c^2}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}\alpha_2 = 0; \\ v\frac{d\alpha_3}{dv} - \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}\alpha_3 = 0. \end{gathered} \tag{36}$$

При выводе системы уравнений (36) использованы соотношения (34) и учтено, что $\partial\alpha_i / \partial\vec{v} = \vec{e}_{\vec{v}}\, d\alpha_i / dv$, поскольку $\alpha_i = \alpha_i(v)$, $i = 1,2,3$. Опуская детали вычислений, приведем окончательные формулы для решений уравнений (36):

$$\begin{gathered} \alpha_i = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}\alpha_i', \quad A_i = const, \; i = 1,2,3, \\ \alpha_1' = A_1 v + \frac{E_0}{c^2}, \quad \alpha_2' = A_2, \quad \alpha_3' = A_3 v. \end{gathered} \tag{37}$$

С помощью выражений (33) и (37) «массу» μ (9) частицы можно представить в следующей простой форме (ср. с (22)):

$$\mu = \alpha_1' + \vec{r}\vec{v}\alpha_2' + r\alpha_3'. \tag{38}$$

Поскольку масса частицы m является функцией состояний движения, $m = m(\vec{r}, \vec{v})$, то функция Лагранжа L, полная энергия E и вектор импульса $\vec{p}$ также являются функциями, зависящими от $\vec{r}$ и $\vec{v}$. Если $f = f(\vec{r}, \vec{v})$ — произвольная функция, $\vec{r} = \vec{r}(t)$, $\vec{v} = \vec{v}(t)$, то ее производная по времени определяется формулой: $\dfrac{df}{dt} = \vec{v}\dfrac{\partial f}{\partial \vec{r}} + \dot{\vec{v}}\dfrac{\partial f}{\partial \vec{v}}$. Следовательно, роль оператора производной по времени $\dfrac{d}{dt}$ функции $f = f(\vec{r}, \vec{v})$ играет следующая величина:

$$\frac{d}{dt} = \vec{v}\frac{\partial}{\partial \vec{r}} + \dot{\vec{v}}\frac{\partial}{\partial \vec{v}} \tag{39}$$

Приведем соотношения коммутации оператора производной по времени (39), которые потребуются в дальнейшем, с некоторыми величинами:

$$\left[\frac{d}{dt},\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\right]=-\frac{\partial}{\partial\vec{r}},\quad \left[\frac{d}{dt},\frac{\partial}{\partial\vec{r}}\right]=0,\quad \left[\frac{d}{dt},\vec{r}\right]=\vec{v},\quad \left[\frac{d}{dt},\vec{v}\right]=\dot{\vec{v}}\,. \tag{40}$$

При выводе соотношений (40) предполагалось, что $\dfrac{\partial}{\partial v_i}\dot{\vec{v}}=0,\ \dfrac{\partial}{\partial r_i}\dot{\vec{v}}=0,\ \ i=1,2,3.$

Учитывая соотношения коммутации (40), нетрудно вычислить величины $d\vec{p}_0/dt$ и dE_0/dt, где $\vec{p}_0=\dfrac{\partial L_0}{\partial\vec{v}}$, $E_0=\left(\vec{v}\dfrac{\partial}{\partial\vec{v}}-1\right)L_0$, $L_0=-c^2\mu$ (см. (8) и (9)). Приведем результаты вычислений:

$$\frac{d\vec{p}_0}{dt}=\frac{d}{dt}\frac{\partial L_0}{\partial\vec{v}}=\left(\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\frac{d}{dt}-\frac{\partial}{\partial\vec{r}}\right)L_0=-c^2\left(\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\frac{d\mu}{dt}-\frac{\partial\mu}{\partial\vec{r}}\right), \tag{41}$$

$$\frac{dE_0}{dt}=\left(\vec{v}\frac{d}{dt}+\dot{\vec{v}}\right)\frac{\partial L_0}{\partial\vec{v}}-\frac{dL_0}{dt}=\vec{v}\left(\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\frac{d}{dt}-\frac{\partial}{\partial\vec{r}}\right)L_0+\dot{\vec{v}}\frac{\partial L_0}{\partial\vec{v}}-\frac{dL_0}{dt}=\vec{v}\left(\frac{d\vec{p}_0}{dt}-\frac{\partial L_0}{\partial\vec{v}}\right)=\vec{v}\vec{F}'\,. \tag{42}$$

Цепочка равенств (41) получается немедленно с помощью первого из соотношений коммутации (40), а при получении равенств (42) вначале используется последнее из соотношений (40) и вслед за ним — первое, а затем учитываются формулы (41) и (31). Из выражений (41) и (42) получается следующее выражение для силы $\vec{F}'$ (см. (30)):

$$\vec{F}'=-c^2\left(\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\frac{d\mu}{dt}-2\frac{\partial\mu}{\partial\vec{r}}\right). \tag{43}$$

Проанализируем результаты, полученные выше в приближении, когда зависимость массы частицы m от положения частицы в пространстве оказывается слабой в сравнении с зависимостью от скорости и при вычислении массы можно ограничиться лишь величинами первого порядка по $\vec{r}$. Используя формулы (37)–(39), находим:

$$\begin{aligned}&\frac{\partial\mu}{\partial\vec{r}}=\left(\vec{e}_{\vec{v}}A_2+\vec{e}_{\vec{r}}A_3\right)v,\\ &\frac{\partial\mu}{\partial\vec{v}}=\vec{e}_{\vec{v}}\left(A_1+rA_3\right)+\vec{r}A_2,\\ &\frac{\partial}{\partial\vec{v}}\frac{d\mu}{dt}=\dot{\vec{e}}_{\vec{v}}\left(A_1+rA_3\right)+2\vec{v}A_2+\left[(\vec{v}\vec{e}_{\vec{r}})\vec{e}_{\vec{v}}+v\vec{e}_{\vec{r}}\right]A_3.\end{aligned} \tag{44}$$

При выводе последней формулы учтены равенства: $\dfrac{\partial}{\partial\vec{v}}\left(\vec{e}_{\vec{v}}\dot{\vec{v}}\right)=\dfrac{\partial\dot{v}}{\partial\vec{v}}=\dot{\vec{e}}_{\vec{v}},\ \dfrac{\partial}{\partial\vec{v}}\left(\vec{r}\dot{\vec{v}}\right)=0$. С помощью соотношений (44) можно вычислить величины $\vec{\tilde{F}}=-c^2\dfrac{\partial\mu}{\partial\vec{r}}$ (см.(30)) и $\vec{p}_0=-c^2\dfrac{\partial\mu}{\partial\vec{v}}$; приведем выражение для величины $\vec{F}'$ (43):

$$\vec{F}'=-c^2\left\{\dot{\vec{e}}_{\vec{v}}\left(A_1+rA_3\right)+\left[(\vec{v}\vec{e}_{\vec{r}})\vec{e}_{\vec{v}}-v\vec{e}_{\vec{r}}\right]A_3\right\}\,. \tag{45}$$

Учитывая равенства: $\vec{v}\dot{\vec{e}}_{\vec{v}}=0$ и $\vec{v}\left[(\vec{v}\vec{e}_{\vec{r}})\vec{e}_{\vec{v}}-v\vec{e}_{\vec{r}}\right]=0$, на основании (45) заключаем, что вектор силы $\vec{F}'$ ортогонален вектору скорости $\vec{v}$: $\vec{v}\vec{F}'=0$, причем $\vec{F}'\neq 0$. Как видно из соотношений (37), (38) и (44), импульс частицы $\vec{p}_0$ при $\partial\mu/\partial\vec{r}\neq 0$ имеет составляющие, направленные как вдоль вектора скорости $\vec{v}$, так и вдоль радиус-вектора $\vec{r}$, а при $\partial\mu/\partial\vec{r}=0$ импульс направлен вдоль вектора скорости.

Размышляя о содержании второго закона Ньютона $m\vec{a}=\vec{F}$ и о физическом смысле силы $\vec{F}$, входящей в этот закон, Р. Фейнман пишет: «…самое точное и красивое из мыслимых определений силы состояло бы в том, что сила есть масса тела, умноженная на его ускорение» [18] (с.209). Однако тут же Р. Фейнман делает оговорку, отмечая неполноту и неточность физических законов и подчеркивая, что все они — в какой-то степени приближения: «Истинное содержание законов Ньютона таково: предполагается, что сила обладает независимыми свойствами в дополнение к закону $\vec{F} = m\vec{a}$; но характерные независимые свойства сил не описал полностью ни Ньютон, ни кто-нибудь еще; поэтому физический закон $\vec{F} = m\vec{a}$ — закон неполный» [18, с.210].

Результаты, изложенные в настоящей работе и в работах [14, 15], позволяют уточнить интуитивную догадку Р. Фейнмана о существовании свойств сил, которые не учитываются уравнениями движения Ньютона. Суть дела состоит в том, что под силой $\vec{F}$, входящей во второй закон Ньютона, принято понимать внешнюю силу, которая предназначена для того, чтобы, действуя на частицу, сообщить ей ускорение. Иными словами, силе $\vec{F}$ приписывается роль причины ускорения частицы и считается само собой разумеющимся, что служить причиной ускоренного движения частицы — это единственно возможная роль силы, действующей на частицу.

Однако сила может служить не только причиной ускорения частицы. Она может быть также и следствием ускоренного движения. Простейший пример: при равномерном движении частицы по окружности на частицу действует сила, направленная к центру окружности, которая является следствием ускоренного движения частицы по криволинейной траектории, а не его причиной. Другим примером силы, которая выступает не в качестве причины, а в качестве следствия ускоренного движения, является сила, действующая на реальные, физические частицы, входящие в материальные тела, частицы, совершающие собственные движения — непрерывные переходы из одного состояния движения в другое в отсутствие каких-либо внешних сил. Собственные движения — это атрибут материи, они имеют первичный характер и могут быть ускоренными. Указанные выше силы — сила, входящая как в уравнения движения Ньютона, так и в уравнения движения специальной теории относительности (СТО), и сила, порождаемая собственными движениями структурных элементов материи, — представляют собой диалектические противоположности, которые качественно отличаются друг от друга.

Следует особо подчеркнуть, что силы, порождаемые собственными движениями частиц материальных тел, играют в природе основополагающую роль, обеспечивая стабильное развитие материи. **Причина неполноты механики Ньютона и СТО состоит в том, что из поля зрения теории выпали движения материи, ответственные за формирование массы частицы как функции состояний движения, и принимается, что масса частицы является постоянным параметром.** Как видно из [14], решение проблемы неполноты механики требует отказа от ряда фундаментальных физических принципов. Отметим, что устранение неполноты теории становится возможным благодаря тому, что раскрыта физическая природа массы релятивистской частицы.

4. Заключение

Общеизвестно, что фундаментом современной теоретической физики и, в частности, квантовой электродинамики (КЭД) является релятивистская механика — СТО. Утверждая, что основные уравнения электродинамики не верны, П.А.М. Дирак не указал конкретно на причины, по которым уравнения ошибочны. Дирак исходил из естественного убеждения в том, что уравнения, полученные на основе фундаментальных физических принципов, не могут приводить к бесконечно большим значениям исследуемых физических величин, если воспользоваться этими уравнениями для описания реальных физических процессов. Но если уравнения все-таки приводят к расходимостям, то, по Дираку, трудности теории «могут быть устранены лишь радикальным изменением основ теории, вероятно, столь же радикальным, как и переход от теории боровских орбит к современной квантовой механике» [17, с.403]. Как становится понятным только сейчас, назвать причину кризиса физики полвека назад было невозможно из-за того, что все еще оставалась неизвестной истинная физическая природа массы частицы.

До сих пор принято считать, что масса частицы — неизменный, постоянный параметр, так что для описания поведения частиц достаточно знать численные значения массы частиц, которые можно оценить из опытных данных, и затем подставить эти величины в уравнения движения, полученные на основе стандартного принципа наименьшего действия (ПНД). Исследования показали, однако, что масса частицы — вовсе не постоянный параметр, а фундаментальная физическая характеристика материи, ответственная за само существование материи.

Масса является функцией состояний движения частицы, которая изменяется со временем так, чтобы обеспечить сохранение энергии частицы. Неожиданным оказывается то обстоятельство, что масса частицы, как функция состояний движения, формируется не вынужденными ускоренными движениями, а собственными движениями материи — движениями, которые полностью выпадают из поля зрения механики, как нерелятивистской, так и релятивистской.

Следует подчеркнуть, что собственные движения радикально отличаются от вынужденных. Для собственных движений не существует уравнений движения, подобных тем, которые управляют вынужденными движениями. Причина заключается в том, что сила, действующая на частицу, совершающую собственное движение, является не причиной ускорения частицы, а следствием ускорения. Здесь уместно вспомнить еще раз замечание Р. Фейнмана о том, что существуют дополнительные свойства силы, действующей на частицу, свойства, не учитываемые в механике Ньютона. К их числу относится свойство силы выступать в одних случаях в качестве причины, а в других — в качестве следствия движения с ускорением. В вынужденном движении сила играет роль генератора ускоренного движения. Развитие системы во времени идет в соответствии с динамическим принципом, подчиняясь уравнению движения и начальному условию. С помощью уравнения движения определяется состояние движения в момент времени t при условии, что выполняется заданное начальное условие. В собственном движении сила (силовое поле) порождается ускоренным движением, которое формирует массу как функцию состояния движения. Изменение массы со временем, обусловленное изменением состояния движения частицы, сопровождается воздействием на частицу и ее окружение силового поля и приводит к неоднородности и неизотропности пространства-времени.

Отметим, что уравнение для массы частицы, совершающей ускоренные движения по инерции, выступает в роли своеобразного динамического принципа для собственных движений частицы. Действительно, это уравнение определяет массу частицы как такую функцию состояний движения в произвольный момент времени, которая обеспечивает сохранение энергии частицы, и тем самым гарантирует устойчивость движения частицы во времени. По физическому содержанию, уравнение для массы существенно отличается от уравнений вынужденного движения. Если уравнение для массы служит для определения массы как функции состояния движения частицы, то уравнения движения определяют развитие во времени самого состояния движения.

В сущности, причиной кризиса физики является незнание и непонимание истинной физической природы массы частицы. В основе квантовой электродинамики лежит СТО, которая описывает лишь вынужденные движения частиц с постоянной массой, происходящие в заданном внешнем поле. Основную роль в природе играют, однако, не вынужденные, а собственные движения, характерная особенность которых состоит в том, что они формируют зависимость массы от координат и скорости частиц, так что масса является функцией, изменяющейся во времени. Представление о массе как функции состояний движения частицы принципиально важно для построения теории, описывающей физическую реальность, поскольку именно масса, выступающая в указанном выше качестве функции координат и скоростей, обеспечивает стабильное развитие материи.

Приложение
Масса точечной частицы как функция состояний движения. Общие представления

В работе [14] предполагалось, что масса частицы зависит только от модуля вектора скорости частицы: $m = m(v)$, $v = |\vec{v}|$. Ввиду того, что масса частицы играет исключительно важную роль в развитии материи, естественно ожидать, что масса реальной, физической частицы зависит как от вектора скорости $\vec{v}$, так и от радиус-вектора $\vec{r}$, т.е. является функцией состояний движения: $m = m(\vec{r}, \vec{v})$. Вид функциональной зависимости массы определяется из условия сохранения энергии частицы, совершающей собственное движение. Исследование показывает, что указанное условие не выполняется, если $\vec{v} = 0$. Это означает, что частица, совершающая собственное ускоренное движение, не может быть покоящейся. Основной зависимостью массы как функции состояний движения является зависимость от модуля вектора скорости, более слабой оказывается зависимость массы от угла между векторами $\vec{r}$ и $\vec{v}$, и еще более слабой — ее зависимость от модуля радиус-вектора. Следовательно, считая зависимость массы от $\vec{r}$ слабой и пренебрегая квадратичными членами по $\vec{r}$, массу частицы m можно записать в виде:

$$m = m(v, \vec{r}\vec{v}). \tag{46}$$

Введя обозначение $\eta = \vec{r}\vec{v}$, находим:

$$\frac{\partial m}{\partial \vec{r}} = \alpha \vec{v}, \quad \frac{\partial m}{\partial \vec{v}} = \beta \vec{v} + \gamma \vec{r}, \tag{47}$$

где коэффициенты α, β и γ зависят от v и $\vec{r}\vec{v}$.

В случае линейной зависимости m от $\vec{r}$ получаем: $\alpha = \alpha(v),\ \beta = \beta(v,\eta),\ \gamma = \gamma(v)$.

Из выражения (46) следуют равенства:

$$\begin{gathered} \frac{\partial m}{\partial \vec{r}} = \frac{\partial m}{\partial \eta}\vec{v}, \quad \frac{\partial m}{\partial \vec{v}} = \frac{\partial m}{\partial v}\vec{e}_{\vec{v}} + \frac{\partial m}{\partial \eta}\vec{r}, \\ \frac{dm}{dt} = \vec{v}\frac{\partial m}{\partial \vec{r}} + \dot{\vec{v}}\frac{\partial m}{\partial \vec{v}}, \quad \vec{e}_{\vec{v}} = \vec{v}/v. \end{gathered} \tag{48}$$

Из сравнения выражений (47) и (48) нетрудно найти коэффициенты α, β и γ.

При рассмотрении частицы, описываемой функцией Лагранжа L_0 (2), необходимо исследовать состояние движения частицы с постоянной энергией E_0, $E_0 = const$ (6). Условие сохранения энергии дается равенствами (см. (7) и (12)):

$$\frac{\partial E_0}{\partial \vec{r}} = 0, \quad \frac{\partial E_0}{\partial \vec{v}} = 0. \tag{49}$$

Поскольку функциональная зависимость энергии частицы E_0 от векторов $\vec{r}$ и $\vec{v}$ такая же, как и массы m, то с помощью соотношений (48) получаем следующие выражения:

$$\frac{\partial E_0}{\partial \vec{r}} = \frac{\partial E_0}{\partial \eta}\vec{v}, \quad \frac{\partial E_0}{\partial \vec{v}} = \frac{\partial E_0}{\partial v}\vec{e}_{\vec{v}} + \frac{\partial E_0}{\partial \eta}\vec{r}.$$

Дальнейшие выкладки приводить не целесообразно, поскольку они просты, но весьма громоздки. Окончательные результаты приведены в разделах 2 и 3 настоящей работы.

Отметим, что существование зависимости массы частицы от положения частицы в пространстве имеет большое значение для эволюции материи, так как чрезвычайно расширяются возможности материи по организации стабильного развития ее структурных элементов.

Литература:

1. *Олейник В.П. и Прокофьев В.П.* Вращательная инерция и ее физические следствия. Что такое гравитация? // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2008. — №2. — С.23-56.
2. *Олейник В.П.* Новый подход к проблеме движения: ускоренные движения по инерции // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2009. — №3. — С.24-56.
3. *Олейник В.П.* О физической природе гравитации. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2010. — №3. — С. 24-55.
4. *Олейник В.П., Третяк О.В.* Проблема инерции и антигравитация. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2011. — №1. — С. 24-52.
5. *Олейник В.П.* О физической сущности вращательного движения. Квантовая картина движения классических частиц. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2012. — №1. — С. 17-54.
6. *Олейник В.П.* Криволинейные движения по инерции и закон Кулона. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2012. — №3. — С. 34–39.
7. *Олейник В.П.* О физической сущности явления криволинейного движения по инерции. Классическая частица как открытая самоорганизующаяся система. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2013. — №2. — С. 13-46.
8. *Олейник В.П.* Закон всемирного тяготения и криволинейное движение по инерции. О физической природе силы, регистрируемой в опыте Кавендиша. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2013. — №4. — С. 11-32.
9. *Олейник В.П.* Проблема Дирака. Обобщение уравнений Максвелла для электромагнитного поля. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2014. — №3. — С. 5–17.

10. *Олейник В.П.* Проблема Дирака, часть 2. Электромагнитное взаимодействие как прямое следствие законов механики // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2014. — №4. — С. 5–23.
11. *Олейник В.П.* Проблема Дирака, часть 3. Электромагнитное поле и криволинейное движение по инерции. Приложение к модели атома и холодному синтезу ядер. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2015. — №1. — С.32–61.
12. *Олейник В.П.* Решение проблемы Дирака: физические следствия. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2016. — №1. — С.44–55.
13. *Олейник В.П.* Решение проблемы Фейнмана: физические следствия. Ускоренные движения по инерции и силы инерции // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2017. — №1-2. — С.22-55.
14. *Олейник В.П.* Физическая природа массы частицы. Релятивистская механика на основе ускоренных движений по инерции. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2018. — №1-2. — С. 15-37.
15. *Олейник В.П.* Ускоренные движения по инерции и порождаемые ими физические свойства пространства-времени. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2018. — №3-4. — С. 22-38.
16. *Дирак П.А.М.* Собрание научных трудов. Т.IV. Гравитация и космология. Воспоминания и размышления (лекции, научные статьи 1937-1984 гг.). / Под ред. А.Д. Суханова. — М.: Физматлит, 2005. – 784с.
17. *Дирак П.А.М.* Принципы квантовой механики. — М.: Наука, 1979.
18. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т 1. Современная наука о природе. Законы механики. — М.: Мир, 1967.
19. *Фейнман Р.* Характер физических законов. — М.: «Наука», 1987. — С. 33–34.
20. *Олейник В.П.* Ускоренные движения по инерции: гравитация и аномальные явления. // Биоинформационные и энергоинформационные технологии развития человека. / Под ред. Д.Н. Жданова. — Россия, Барнаул: ООО «Статика», 2009. — Т.1. — С. 9-16.
21. *Арепьев Ю.Д., Олейник В.П.* Траектории ускоренного (криволинейного) движения классической частицы по инерции // Вестник МАЭН, вып.7, апрель 2010 г., г. Барнаул / Под ред. Д.Н. Жданова. — Россия, Барнаул: ООО «Статика», 2010. — С. 13-20.
22. *Олейник В.П. и Белоусов И.В.* Проблемы квантовой электродинамики вакуума, диспергирующих сред и сильных полей. — Кишинев: Штиинца, 1983. — 256 стр.
23. *Oleinik V.P.* The Problem of Electron and Superluminal Signals. (Contemporary Fundamental Physics). — Nova Science Publishers, Inc., Huntington, New York, 2001. — 229 pages.

Статья поступила в редакцию 13.01.2020 г.

Oleinik V.P.

Mass of relativistic particle as a function of states of motion. Physical properties of accelerated motions by inertia

The work is the completion of a series of articles devoted to the study of accelerated motions by inertia [1-15]. **The main research results**: the physical nature of accelerated motions by inertia (AMI) and particle masses is revealed; it is shown that they play leading roles in the play, which is called the stable development of matter; the cause of the difficulties that physics is now experiencing is established, and the right way to overcome them is found.

The disclosure of the physical nature of AMI and the particle mass made it possible to establish the cause of a deep crisis of physical science. P.A.M. Dirac, one of the creators of quantum electrodynamics (QED), drew attention to the existence of a crisis in physics in the middle of the last century [16], [17] (p. 403). He argued that the basic equations of electrodynamics were incorrect, but did not explain the reason for the difficulties of QED. The reason is the incompleteness of the special theory of relativity (STR), which forms the foundation of QED. The incompleteness of STR is expressed in the fact that STR considers only forced accelerated motions and it is assumed that the particle mass is a constant parameter. AMI fell out of the field of view of SRT, although these movements of particles play an extremely important role in the development of matter. AMI are an attribute of matter, they occur with the acceleration of particles, but do not lead to energy loss of particles. AMI form such a functional dependence of the mass of particles on velocities and coordinates of particles, which ensures the stable development of matter. AMI generate force fields with the help of which the interaction between particles occurs.

It is shown that the particle mass depends not only on the particle velocity modulus, as it was assumed in previous works, but also on the particle's position in space, i.e. mass is a function of motion states. The existence of dependence of the particle mass on the position of the particle in space is of great importance for the evolution of matter, since the possibilities of matter to organize the stable development of its structural elements are extremely expanded. The mass equation is derived from the energy conservation condition. It is a second-order partial differential equation. In the particular case, when the mass of the particle does not depend on the position of the particle in space, this equation transforms into an ordinary differential equation of the second order, obtained and studied in [14, 15]. The equation for the particle mass acts as a kind of dynamic principle for the proper motions of the particle. In physical content, the equation for mass is significantly different from the equations of forced motions. If the equation for mass serves to determine mass as a function of the state of motion of the particle, the equations of motion determine the development in time of the state of motion itself.

The physical properties of accelerated motions by inertia are investigated, and proper and forced motions, which are dialectical opposites, are compared. There is a qualitative difference between the forces acting on a particle in forced and in its proper motions: in a forced motion, the force is the cause of acceleration, and its proper motions are the result of acceleration. A change in the mass of a particle with a change in the position of a particle in space causes the heterogeneity and non-isotropy of space and the heterogeneity of time.

A new approach is formulated in relativistic mechanics, in which there are no difficulties with the incompleteness of the theory inherent to STR. Unlike STR, in the formulation of mechanics developed here, both proper motions of particles and forced ones are taken into account; not the motions of free, bare particles that do not exist in nature, but accelerated motions by inertia (AMI) — the motions of real, physical particles are considered as motions by inertia; the assumption that the particle mass is a constant parameter is not used; mass acts as a function of the state of motion; the functional dependence of the particle mass on the coordinates and velocities is formed by AMI and is determined by the equation for the mass, which guarantees the conservation of particle energy (in the absence of external field).

Based on the results obtained, the following conclusion can be formulated. **The reason for the crisis of physics is STR, which is the basis of electrodynamics. STR is an abstract mathematical scheme, which due to its incompleteness cannot describe physical reality**. Matter, as a self-organizing, self-governing, thinking entity, prefers to develop in a completely different way than STR prescribes for it. The work is an extension and continuation of studies [22, 23] in the field of quantum electrodynamics.

Keywords: physical nature of particle mass, proper and forced motions, accelerated motions by inertia (AMI), mass as a function of motion states, equation for mass, special theory of relativity (STR), incompleteness of mechanics, physical properties of space-time, dynamic principle for proper motions.