Основания физики

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

Олейник В.П.

УСКОРЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ПО ИНЕРЦИИ И ПОРОЖДАЕМЫЕ ИМИ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

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

Работа посвящена исследованию собственных движений (СД) материальных частиц. СД являются атрибутом материи, т.е. врожденным свойством материи, внутренне присущим ей по самой природе вещей. СД характеризуются тем, что в качестве их источника выступает материя, но для них не существует уравнений движения, подобных тем, которые управляют вынужденными движениями (ВД) — движениями, происходящими под действием внешних полей. Особую роль среди собственных движений играют ускоренные движения по инерции (УДИ): они формируют такую зависимость массы частицы от скорости, которая обеспечивает стабильное развитие материи. Эти движения обладают следующими свойствами: они происходят с ускорением, на частицы действуют силы инерции, которые не совершают работы над частицами, энергия и модуль импульса частиц сохраняются.

Для описания физических явлений и процессов принято использовать инерциальные системы отсчета (ИСО), которые определяются из условия, чтобы в них выполнялся принцип инерции: свободная частица, т.е. частица, не подверженная действию внешних сил, покоится или движется равномерно и прямолинейно. Следует подчеркнуть, однако, что понятие свободная частица — это лишь абстракция, весьма далекая от реальности. Свободных частиц не существует в природе; реальная, физическая частица непрерывно движется, переходя из одного состояния движения в другое, и эти переходы совершаются спонтанно, без участия каких-либо внешних сил, и могут происходить с ускорением частицы. Для корректного описания СД необходимо построить модель движения частиц по инерции, качественно отличающуюся от модели свободных частиц. В качестве реальных движений по инерции в работе используются ускоренные движения по инерции (УДИ), которые обеспечивают устойчивое развитие материи.

В настоящее время в качестве основного метода исследования механических процессов используется принцип наименьшего действия (ПНД). Отметим, что ПНД имеет ограниченную область применимости: условием его применимости является наличие внешней силы, вызывающей эволюцию рассматриваемой системы во времени. Следовательно, ПНД может описать лишь вынужденные движения и не способен корректно описать собственные движения, поскольку не существует внешних сил, порождающих эти движения. УДИ принадлежат к числу собственных движений, и поэтому их невозможно исследовать с помощью ПНД. Однако это обстоятельство не может послужить помехой детальному анализу собственных движений. Как показано в настоящей работе, достаточно полным является описание собственных движений с помощью соотношений, связывающих изменение энергии частиц с работой, совершаемой силами инерции, действующими на частицы.

Исследование показывает, что если частица движется ускоренно по инерции в ИСО K, то с точки зрения наблюдателя, находящегося в ИСО K', движущейся относительно K, движение частицы не является УДИ. Это значит, что переход из ИСО K в ИСО K' выбивает частицу из состояния УДИ, т.е. движущиеся друг относительно друга ИСО неравноправны. Для корректного описания физических явлений и процессов нужно использовать такие системы отсчета, в которых в качестве движений по инерции выступают УДИ. Системы отсчета такого рода существенно отличаются от стандартных ИСО; в дальнейшем такие системы отсчета будем называть физическими инерциальными системами отсчета (ФИСО). Очевидно, что переходы из одной ФИСО в другую, движущуюся относительно исходной, не могут описываться преобразованиями Лоренца.

В работе получены преобразования пространственно-временных координат, которые при переходе из одной системы отсчета в другую сохраняют УДИ. С помощью этих преобразований вычислены квадраты пространственно-временных интервалов между двумя бесконечно близкими точками в системах отсчета *K* и *K'*. Из полученных формул видно, что пространство-время, в котором происходит ускоренное движение частицы по инерции, является неоднородным псевдоевклидовым 4-пространством, обладающим как пространственной неоднородностью, так и временной. Собственное движение частиц, таким образом, существенно влияет на пространство-время, наделяя его физическими свойствами.

Ускоренные движения по инерции структурных элементов материи — это дыхание материальных частиц, которое передается всему пространству-времени, вызывая его неоднородность и превращая собственное время частицы в величину, зависящую не только от скорости, но и от положения частицы в 4-пространстве. Собственные движения приводят к появлению связи частицы с пространством-временем, в котором происходит движение. Благодаря существованию этой связи частица приобретает энергию покоя и импульс покоя, которые являются следствием зависимости массы частицы от скорости движения.

На основании полученных в работе результатов можно сделать вывод о том, что важнейшей задачей фундаментальных исследований в области физики является раскрытие физических механизмов происходящих в природе процессов, которые обеспечивают самоорганизацию и самоуправление материи, развитие материи по восходящей линии. Указанные механизмы следуют, очевидно, из законов диалектики.

Ключевые слова: физическая природа массы частицы, дифференциальное уравнение для массы, зависимость массы от скорости, собственные и вынужденные движения, ускоренные движения по инерции, физические свойства пространства-времени, порождаемые ускоренными движениями по инерции, физический механизм ускоренного движения по инерции, энергия и импульс покоя частицы, масса которой зависит от скорости.

1. Введение

Раскрытие физической природы массы частицы в работе [1] позволяет взглянуть на массу с несколько неожиданной точки зрения — не только как на одну из физических характеристик частицы, служащих для описания происходящих в природе различных явлений и процессов, но и **как на фактор, существенно влияющий на развитие материального мира**. Принято считать массу частицы постоянным параметром, т.е. величиной, не изменяющейся со временем. Исследование показывает, однако, что масса частиц m изменяется с изменением величины скорости $\vec{v}$ частицы: $m = m(v),\ v = |\vec{v}(t)|$, и эта **зависимость массы от скорости** играет в природе исключительно важную роль — она **является необходимым условием стабильности движения структурных элементов материи, обеспечивая устойчивое развитие материи в целом.**

В настоящее время механика занимается исследованием вынужденных движений (ВД) — движений, происходящих под действием внешних полей, не «замечая» собственных движений (СД) материальных тел. Это объясняется тем, что в качестве основного метода исследования механических процессов принимается принцип наименьшего действия (ПНД). Принято считать, что уравнения движения частиц и полей, следующие из ПНД, т.е. уравнения Лагранжа, являются надежной основой теоретических исследований. Оказывается, однако, что ПНД имеет ограниченную область применимости: условием его применимости к исследованию физической системы является наличие внешней силы, вызывающей эволюцию рассматриваемой системы во времени. **ПНД** может корректно описать лишь вынужденные движения, вызванные действием внешних сил, и **не способен описать собственные движения**, поскольку последние **представляют собой атрибут материи**, т.е. врожденное свойство материи, и не зависят от внешних сил.

В отличие от **ВД**, которые являются следствием действия внешних сил и поэтому **имеют вторичный характер**, **СД первичны**. В качестве источника СД выступает материя, но не существует внешних сил $\vec{F}_{вн}$, порождающих эти движения. И поэтому **для СД не существует уравнений движения, подобных тем, которые управляют вынужденными движениями**. Подчеркнем, что это обстоятельство не может послужить помехой детальному анализу собственных движений. Достаточно полное описание собственных движений можно получить с помощью соотношений, связывающих изменение энергии частиц с работой, совершаемой силами инерции, действующими на частицы. Отметим, что в предельном случае, когда внешние силы отсутствуют ($\vec{F}_{вн} \to 0$), **уравнения движения**, следующие из ПНД, **приводят к равномерному и прямолинейному движению свободной частицы, которое называют движением по инерции**.

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**: свободная частица, т.е. частица, не подверженная действию внешних сил, покоится или движется равномерно и прямолинейно. ИСО привлекательны тем, что в этих системах отсчета пространство-время является однородным и изотропным и выполняется принцип относительности: следующие из ПНД уравнения движения сохраняют свой вид во всех ИСО. Следует подчеркнуть, однако, что свободных частиц не существует в природе. Понятие свободная частица — это лишь абстракция, созданная воображением человека и весьма далекая от реальности. Реальная, физическая частица непрерывно движется, переходя из одного состояния движения в другое, и эти переходы совершаются спонтанно, без участия каких-либо внешних сил, и могут происходить с ускорением частицы.

Для корректного описания СД необходимо построить модель движения частиц по инерции, качественно отличающуюся от модели свободных частиц, движущихся по инерции. Действительно, равномерное и прямолинейное движение свободных частиц — это движение «голых» частиц, которые не способны создавать силовые поля и поэтому не могут взаимодействовать с окружающими частицами. Очевидно, что реальным движением по инерции может быть только СД, которое подчиняется двум условиям: оно 1) должно быть ускоренным и, значит, должно порождать силовое поле и 2) не должно вызывать потерь энергии, связанных с ускорением. Следовательно, реальное ускоренное движение частицы по инерции может существовать только в случае, если имеется физический механизм, обеспечивающий восполнение потерь энергии, связанных с ускоренным движением.

Анализ СД материи показывает, что существует особая разновидность этих движений, обладающая тем свойством, что собственное движение частицы, рассматриваемой как структурный элемент материи, происходит с ускорением и порождает действующую на частицу силу инерции $\vec{F}$, которая не производит работы над частицей на каждом участке траектории движения частицы. Такого рода движения частицы мы называем **ускоренными движениями по инерции** (УДИ). Они являются аналогом движений по инерции свободных частиц, поскольку и те, и другие совершаются в отсутствие внешних полей, т.е. являются движениями по инерции. Однако различие между ними носит принципиальный характер: **УДИ принадлежат к числу СД, являющихся атрибутом материи, и поэтому их невозможно обнаружить с помощью ПНД**, а движение свободных частиц по инерции получается из ВД в пределе при $\vec{F}_{вн} \to 0$, т.е. является следствием ПНД. В качестве реальных движений по инерции естественно использовать ускоренные движения по инерции, которые обеспечивают устойчивое развитие материи.

Отметим, что движение (Д) любого структурного элемента материи во внешнем поле представляет собой суперпозицию собственного и вынужденного движений:

$$Д = СД + ВД. \qquad (1)$$

Согласно (1), **в отсутствие внешнего поля**, т.е. при $\vec{F}_{вн} = 0$, **реальное движение сводится к собственным движениям,** которые, однако, невозможно «заметить», используя принцип наименьшего действия. Среди собственных движений выделяются УДИ — движения, в которых сохраняются энергия и модуль вектора импульса частицы. Эти движения играют в природе особо важную роль: они ответственны за формирование такой зависимости массы частицы от скорости, которая обеспечивает стабильное развитие материи. Отметим, что в пределе $\vec{F}_{вн} \to 0$

вынужденные движения переходят в движение свободных частиц по инерции, так что в указанном пределе движение по инерции любого структурного элемента материи представляет собой наложение двух движений: УДИ и движения свободной частицы по инерции. На основании полученных результатов можно утверждать, что **при описании поведения физической системы с помощью ПНД из поля зрения теории выпадает огромный класс движений материи — собственные движения материи**, без учета которых описание явлений и процессов, происходящих в природе, оказывается существенно не полным.

Перечислим основные результаты, изложенные в последующих разделах работы.

Принято считать, что движущиеся друг относительно друга инерциальные системы отсчета (ИСО) физически эквивалентны. Однако исследование показывает, что если частица движется ускоренно по инерции в ИСО K, то с точки зрения наблюдателя, находящегося в ИСО K', движущейся относительно *K*, движение частицы не является УДИ. Это значит, что переход из ИСО K в ИСО K' выбивает частицу из состояния УДИ, т.е. движущиеся друг относительно друга ИСО неравноправны.

В разделе 2 рассматриваются преобразования пространственно-временных координат физической системы при переходе из одной системы отсчета (K) в другую (K') и обратные преобразования с учетом того, что системы отсчета неравноправны, физически неэквивалентны. Считается, что неравноправие систем отсчета обусловлено тем, что масса частиц является не постоянным параметром, а функцией скорости частиц. Получены формулы, описывающие преобразование скорости частицы при переходе из одной системы отсчета в другую. Новые преобразования учитывают неэквивалентность систем отсчета K и K' и поэтому отличаются, как и должно быть, от преобразований Лоренца.

С помощью новых преобразований вычисляются квадраты пространственно-временных интервалов между двумя бесконечно близкими точками в пространстве-времени. Из полученных формул следует, что **пространство-время неоднородно и что собственное время частицы зависит не только от скорости частицы, но и от положения частицы в 4-пространстве**. Указанные свойства пространства-времени и собственного времени обусловлены существованием собственных ускоренных движений частицы, формирующих зависимость массы частицы от скорости.

В разделе 3 выведены и исследованы соотношения, связывающие между собой массу m, энергию E и импульс p частицы. Показано, что имеются два класса соотношений указанного типа: тождества, в которых все рассматриваемые величины, m, E и p, относятся к одной и той же скорости частицы v, и решения уравнения, определяющего зависимость массы от скорости v, в которые входят энергия и импульс частицы, относящиеся к скорости v_0, определяющей начальные условия при вычислении массы. Описан **физический механизм собственного ускоренного движения, ответственного за сохранение энергии частицы**. Он состоит в том, что потери энергии частицы, связанные с ее ускоренным движением по инерции, в точности компенсируются увеличением кинетической энергии вследствие изменения массы частицы. Показано, что **ускоренные движения частицы по инерции характеризуются наличием у частицы не только энергии покоя E_0, но и импульса покоя p_0.** Последний равен импульсу частицы при скорости $v = 0$ и отличен от нуля вследствие того, что масса частицы является функцией скорости v. Уточняется понятие ускоренного движения частицы по инерции.

В заключительном разделе формулируются основные результаты и выводы работы. Отмечается, что **важнейшей задачей физики является раскрытие физических механизмов, обеспечивающих стабильное развитие материи как самоорганизующейся и самоуправляемой сущности**. Главную роль в этих механизмах играют, очевидно, ускоренные движения по инерции и порождаемые ими силовые поля, обеспечивающие взаимодействие между частицами материи.

2. Пространство-время, порождаемое ускоренными движениями по инерции

Поскольку использование инерциальных систем отсчета (ИСО) для описания процессов, происходящих в природе, основывается на предположении, что движение свободной частицы является равномерным и прямолинейным движением — движением по инерции, то это означает, что за реальные, наблюдаемые процессы принимаются отклонения от фона, образуемого движениями свободных частиц. Однако движение реальной, физической частицы не имеет ничего общего с движением по инерции свободной частицы. Истинное движение реальной частицы представляет собой непрерывные переходы частицы из одного состояния движения в другое, переходы, которые могут вызывать ускорение частицы и, следовательно, могут сопровождаться порождением силового поля, действующего и на частицу, и на ее окружение. И в результате получается такая **картина движения реальной частицы**, которая **качественно отличается от движений свободной частицы по инерции**.

Указанные переходы реальных частиц, рассматриваемых как структурные образующие материи, представляют собой своеобразное «дыхание» материи, которое обеспечивает стабильное, устойчивое развитие материи как самоорганизующейся и самоуправляемой сущности. Очевидно, что понятие свободного движения частицы по инерции совершенно неприменимо для описания реальных движений материи. Свободная частица — это, по существу, «голая» частица, лишенная каких-либо физических свойств; она представляет собой точку в абстрактном 4-мерном пространстве, точку, которая характеризуется четырьмя координатами (t, x, y, z) и описывается радиус-вектором в пространстве-времени. Точке приписывают физические характеристики — массу, электрический заряд и др., но это делается чисто формально, без установления их физической природы, без раскрытия физических механизмов, через которые проявляется их действие. Моделью, более подходящей для описания движения частицы, является ускоренное движение по инерции (УДИ) — такое собственное движение (СД) материи, которое происходит с ускорением и порождает действующую на частицу силу инерции. Существенно, что сила инерции, порождаемая частицей, не совершает работы над частицей при ее перемещении, и поэтому ее появление не приводит к нарушению закона сохранения энергии частицы. Физический механизм, обеспечивающий сохранение энергии, указан в работе [1]. Условие сохранения энергии частицы, совершающей УДИ, приводит к уравнению для массы частицы m. Решения этого уравнения дают такую зависимость массы от скорости $m = m(v)$, которая и обеспечивает сохранение энергии частицы, движущейся ускоренно по инерции. Следует подчеркнуть, что своим стабильным, устойчивым развитием материя обязана именно той зависимости массы от скорости, которая следует из решений указанного уравнения.

Как показано в работе [1], ускоренное движение по инерции (УДИ) частицы, происходящее в ИСО K, вовсе не является УДИ с точки зрения наблюдателя, находящегося в ИСО K', движущейся относительно K. Сила инерции $\vec{F}'$, действующая на частицу в K', совершает над частицей работу dA', $dA' = \vec{F}'d\vec{r}' \neq 0$, на каждом участке $d\vec{r}'$ траектории движения. Переход из K в K', таким образом, выбивает частицу из состояния УДИ. Это означает, что ИСО, в которой частица движется ускоренно по инерции, выделена среди всех других ИСО, движущихся относительно нее, т.е. ИСО, движущиеся друг относительно друга, неравноправны, физически не эквивалентны.

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что процессы, происходящие под действием возмущения, следует рассматривать не на фоне, образуемом движениями свободных частиц, не существующих в природе, а на фоне, порождаемом собственными ускоренными движениями материи, т.е. на фоне УДИ. Следовательно, для корректного описания физических явлений и процессов нужно использовать такие системы отсчета, в которых в качестве движений по инерции выступают УДИ. Системы отсчета такого рода существенно отличаются от стандартных ИСО; в дальнейшем такие системы отсчета будем называть **физическими инерциальными системами отсчета** (ФИСО). Очевидно, что переходы из одной ФИСО к другой, движущейся относительно исходной системы отсчета, не могут описываться преобразованиями Лоренца. Перейдем к выводу новых преобразований пространственно-временных координат, преобразований, сохраняющих УДИ при переходе из одной системы отсчета в другую.

Рассмотрим системы отсчета (с.о.) K и K', движущиеся друг относительно друга. С каждой из них свяжем декартовы координаты и будем считать, что оси x, y, z с.о. K параллельны соответствующим осям x', y', z' с.о. K', причем K' движется относительно K со скоростью

V_0 вдоль оси x, и начала координат O и O' совпадают в начальный момент времени $t = t' = 0$. Чтобы найти соотношения, связывающие между собой пространственно-временные координаты t, x, y, z и t', x', y', z' в рассматриваемых системах отсчета, отметим положение в них начал координат. Точка O' имеет координату $x' = 0$ в с.о. K' и координату $x = V_0 t$ в с.о. K, а точка O — координату $x = 0$ в с.о. K и $x' = -V_0 t'$ в с.о. K'. Следовательно, величины x' и $x - V_0 t$, с одной стороны, и величины x и $x' + V_0 t'$, с другой, одновременно проходят через нуль и поэтому должны выполняться равенства:

$$x' = \gamma(x - V_0 t) \text{ и } x = \gamma'(x' + V_0 t'), \qquad (2)$$

где γ и γ' — некоторые параметры, относящиеся, соответственно, к системам отсчета K и K'.

Чтобы установить соотношение, связывающее t' с t и x, найдем t' с помощью второго из равенств (2) и подставим в это выражение величину x', определенную первым из равенств (2). Простая выкладка дает:

$$t' = \gamma\left(t - \frac{\delta}{V_0}x\right), \quad \delta = 1 - (\gamma\gamma')^{-1}. \qquad (3)$$

Аналогично получаем соотношение, которое связывает t с t' и x':

$$t = \gamma'\left(t' + \frac{\delta}{V_0}x'\right). \qquad (4)$$

Учитывая, что рассматриваемые нами с.о. K и K' ориентированы друг относительно друга таким образом, что $y' = y, \quad z' = z$ для всех точек пространства, искомые соотношения можно записать в следующей форме:

$$\begin{aligned} &t' = \gamma\left(t - \frac{\delta}{V_0}x\right),\ x' = \gamma(x - V_0 t),\ y' = y,\ z' = z, \\ &t = \gamma'\left(t' + \frac{\delta}{V_0}x'\right),\ x = \gamma'(x' + V_0 t'),\ y = y',\ z = z', \quad \delta = 1 - (\gamma\gamma')^{-1}. \end{aligned} \qquad (5)$$

Если с.о. K и K' физически эквивалентны, то $\gamma = \gamma' = \gamma_0$. Величина γ_0 определяется из условия, что пространство-время является псевдоевклидовым, т.е. квадраты пространственно-временных интервалов $ds^2 = c^2dt^2 - d\vec{r}^{\,2}$ и $ds'^2 = c^2dt'^2 - d\vec{r}'^2$ между двумя бесконечно близкими точками в с.о. K и K' сохраняются:

$$ds^2 = ds'^2. \qquad (6)$$

Используя соотношения (5), в которых $\gamma = \gamma' = \gamma_0$ — числовой параметр, нетрудно убедиться в том, что условие (6) приводит к следующим значениям величин δ и γ_0:

$$\delta = V_0^2 / c^2 = 1 - \gamma_0^{-2}, \quad \gamma_0 = (1 - V_0^2 / c^2)^{-1/2}. \qquad (7)$$

Соотношения (5), в которых $\gamma = \gamma' = \gamma_0$ и выполняются равенства (7), совпадают, как и должно быть, с преобразованиями Лоренца.

Нас интересует движение частицы, масса которой зависит от скорости частицы: $m = m(v)$. В этом случае с.о. K и K', движущиеся друг относительно друга с постоянной скоростью, перестают быть равноправными вследствие того, что массы частицы в этих системах отсчета, вообще говоря, различны: $m = m(v) \neq m' = m'(v')$. Поэтому величины γ и γ' в (5) являются не постоянными числовыми параметрами, а функциями, зависящими от массы частицы:

$$\gamma = \gamma(m), \quad \gamma' = \gamma'(m'), \quad \gamma \neq \gamma'. \qquad (8)$$

Очевидно, что преобразования (5) пространственно-временных координат из одной системы отсчета в другую могут быть совместимыми с равенствами (8) лишь при условии, что величина δ, входящая в правые части соотношений (5), не зависит от m и m', т.е. выполняется равенство

$$\gamma\gamma' = const\,, \tag{9}$$

хотя каждая из величин γ и γ' является, согласно (8), переменной величиной, зависящей от массы частицы. Необходимость выполнения равенства (9) видна из преобразований (5). Действительно, в силу (5), все величины, относящиеся к с.о. K (т.е. не штрихованные координаты и величина γ), должны однозначно определяться через аналогичные величины, относящиеся к с.о. K', и наоборот. В случае, если масса частицы постоянна, преобразования (5) должны переходить в преобразования Лоренца. Это условие определяет постоянную в равенстве (9):

$$\gamma\gamma' = \gamma_0^2\,, \tag{9a}$$

(см. (5) и (7)). Следовательно, величины γ, γ' и δ в (5) можно представить в виде:

$$\gamma = \gamma_0 b,\ \gamma' = \gamma_0 b',\ b = b(m),\ b' = b'(m'),\ bb' = 1,\ \delta = V_0^2 / c^2\,. \tag{10}$$

Здесь учтено, что неравноправие систем отсчета обусловлено зависимостью массы частицы от скорости.

Поскольку преобразования (5) не затрагивают координаты y и z (y' и z'), то дифференциалы этих величин можно опустить в формулах для квадратов интервалов ds^2 и ds'^2, которые запишем в виде:

$$ds^2 = c_0(dt)^2 - c_1(dx)^2,\quad ds'^2 = c_0'(dt')^2 - c_1'(dx')^2, \tag{11}$$

где c_i и c_i', $i = 0,1$ — некоторые величины, подлежащие определению.

Вычислим дифференциалы координат в преобразованиях (5), выражающих t, x через t', x':

$$\begin{aligned} dt &= \left[\dot\gamma'\left(t' + \frac{V_0}{c^2}x'\right) + \gamma'\right]dt' + \gamma'\frac{V_0}{c^2}dx' = \gamma'\left(A'dt' + \frac{V_0}{c^2}dx'\right), \\ dx &= [\dot\gamma'(x' + V_0 t') + \gamma' V_0]dt' + \gamma' dx' = \gamma'(V_0 B' dt' + dx'). \end{aligned} \tag{12}$$

Здесь и далее используются обозначения:

$$\begin{aligned} &\dot\gamma' = \frac{d\gamma'}{dt'},\quad \Gamma' = \frac{\dot\gamma'}{\gamma'} = \frac{d}{dt'}(\ln\gamma'), \\ &A' = 1 + \left(t' + \frac{V_0}{c^2}x'\right)\Gamma',\quad B' = 1 + \left(t' + \frac{x'}{V_0}\right)\Gamma'. \end{aligned} \tag{13}$$

Подставляя величины dt и dx (12) в квадрат интервала ds^2 (11), получаем:

$$ds^2 = c_0\gamma'^2(A'dt' + \frac{V_0}{c^2}dx')^2 - c_1\gamma'^2(V_0 B'dt' + dx')^2\,. \tag{14}$$

В соотношении (14) выделяем сумму перекрестных членов, т.е. членов вида $dt'dx'$, и из условия обращения ее в нуль получаем равенство, выражающее c_1 через c_0:

$$c_1 = c_0\frac{A'}{c^2 B'}\,. \tag{15}$$

Учитывая последнее равенство, а также соотношение

$$A' - \frac{V_0^2}{c^2}B' = \left(1 - \frac{V_0^2}{c^2}\right)\left(1 + t'\Gamma'\right), \tag{16}$$

выражение (14) после несложных преобразований можно представить в следующем виде:

$$ds^2 = \frac{c_0}{c^2}b'^2\frac{1 + t'\Gamma'}{B'}\left(A'B'c^2(dt')^2 - (dx')^2\right). \tag{17}$$

При получении последней формулы использованы равенства (10). В предельном случае, когда $\gamma' = \gamma = \gamma_0$, в силу (13) выполняются равенства $\Gamma' = 0,\ \ A' = B' = 1$ и поэтому формула (17) принимает вид: $ds^2 = \frac{c_0}{c^2}\left(c^2(dt')^2 - (dx')^2\right)$, из которого следует, что

$$c_0 = c^2\,. \tag{18}$$

Далее с помощью преобразований (5) вычисляем дифференциалы dt' и dx'. Опуская промежуточные выкладки, приведем окончательный результат (ср. с (12) и (13)):

$$dt' = \gamma\left(Adt - \frac{V_0}{c^2}dx\right), \quad dx' = \gamma\left(-V_0 Bdt + dx\right),$$
$$A = 1 + \left(t - \frac{V_0}{c^2}x\right)\Gamma, \quad B = 1 + \left(t - \frac{x}{V_0}\right)\Gamma, \quad \Gamma = \frac{\dot{\gamma}}{\gamma} = \frac{d}{dt}(\ln\gamma). \tag{19}$$

Последующие вычисления аналогичны тем, которые были проведены выше при вычислении квадрата интервала ds^2. Из условия обращения в нуль суммы перекрестных членов вида $dtdx$ в квадрате интервала ds'^2 (11) получается равенство, аналогичное (15):

$$c_1' = c_0' \frac{A}{c^2 B}. \tag{20}$$

Учитывая (20), а также равенство

$$A - \frac{V_0^2}{c^2}B = \left(1 - \frac{V_0^2}{c^2}\right)\left(1 + t\Gamma\right), \tag{21}$$

аналогичное (16), величину ds'^2 можно представить в форме, аналогичной (17):

$$ds'^2 = \frac{c_0'}{c^2} b^2 \frac{1 + t\Gamma}{B}\left(ABc^2(dt)^2 - (dx)^2\right). \tag{22}$$

Легко убедиться в том, что

$$c_0' = c^2. \tag{23}$$

(ср. с (18)). Из сравнения соотношений (22) и (17) видно, что первое из них можно получить, как и должно быть, из второго, если во втором все штрихованные величины заменить на не штрихованные и наоборот и выполнить замену: $V_0 \to -V_0$.

В качестве функций b и b', учитывающих неравноправие движущихся друг относительно друга систем отсчета (см. (10)) и входящих в квадраты интервалов ds^2 и ds'^2, возьмем безразмерные величины:

$$b = \frac{m}{m_0}, \quad b' = \frac{m'}{m_0'}, \quad m = m(v), \quad m_0 = m(0), \quad m' = m'(v'), \quad m_0' = m'(0). \tag{24}$$

Учитывая (6) и (23), величину квадрата интервала (22) запишем в виде:

$$ds^2 = \alpha c^2 (dt)^2 - \beta (dx)^2,$$
$$\alpha = b^2 A(1 + t\Gamma), \quad \beta = b^2 \frac{1}{B}(1 + t\Gamma). \tag{25}$$

Пользуясь формулами (19) для A, B и Γ, легко показать, что $\alpha = \alpha(x,t), \quad \beta = \beta(x,t).$ Это значит, что пространство-время, в котором происходит ускоренное движение частицы по инерции, является неоднородным псевдоевклидовым 4-пространством, обладающим как пространственной неоднородностью, так и временной. Если выполняются неравенства

$$\frac{V_0^2}{c^2} << 1 \text{ и } \frac{V_0^2}{c^2}\left|\frac{x}{V_0 t}\right| << 1, \tag{26}$$

то, пренебрегая малыми величинами в формулах для A и B (19), можно записать:

$$A = 1 + t\Gamma, \quad B = 1 + \left(t - \frac{x}{V_0}\right)\Gamma. \tag{27}$$

Следовательно, ввиду того, что $\Gamma = \Gamma(t)$, в приближении (26) величина α зависит только от времени ($\alpha = \alpha(t)$), а величина β остается по-прежнему функцией x и t. Приведем формулу для дифференциала собственного времени $d\tau = ds / c$:

$$d\tau = \sqrt{\alpha - \beta v_x^2 / c^2}\, dt. \tag{28}$$

Согласно (25) и (28), величина $d\tau / dt$ зависит как от t, так и от x. Если модуль скорости частицы сохраняется со временем ($v = const$), то $\Gamma = 0$, $A = B = 1$, $\alpha = \beta = b^2$ и, следовательно,

$$d\tau / dt = b\sqrt{1 - \frac{v_x^2 + (v_y^2 + v_z^2) / b^2}{c^2}}. \tag{29}$$

Здесь в правой части восстановлены y- и z- компоненты вектора скорости, $b = b(m)$, $m = m(v)$.

Согласно полученным результатам, собственное движение частиц существенно влияет на пространство-время, наделяя его физическими свойствами. **Ускоренные движения по инерции структурных элементов материи — это дыхание материальных частиц**, которое передается всему пространству-времени, вызывая его неоднородность и превращая собственное время частицы в величину, зависящую не только от скорости, но и от положения частицы в 4-пространстве.

В заключение раздела рассмотрим преобразование скорости частицы при переходе из одной ФИСО в другую. Учитывая соотношения (12) и дополняющие их равенства $dy = dy', dz = dz',$ вычислим компоненты вектора скорости частицы $\vec{v} = d\vec{r} / dt,$ $\vec{r} = (x, y, z)$ в с.о. K:

$$v_x = \frac{v'_x + B'V_0}{A' + \frac{v'_x V_0}{c^2}}, \quad v_y = \frac{v'_y}{\gamma'\left(A' + \frac{v'_x V_0}{c^2}\right)}, \quad v_z = \frac{v'_z}{\gamma'\left(A' + \frac{v'_x V_0}{c^2}\right)}, \tag{30}$$

где $\vec{r}' = (x', y', z')$ и $\vec{v}' = d\vec{r}' / dt' = (v'_x, v'_y, v'_z)$ — радиус-вектор и вектор скорости частицы в с.о. $K',$ величины A' и B' выражаются формулами (13). В соответствии с соотношениями (30) модуль вектора скорости $\vec{v},$ $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$, выражается через компоненты вектора $\vec{v}'$ следующей формулой:

$$v = \frac{\sqrt{\gamma'^2 (v'_x + B'V_0)^2 + v'^2_y + v'^2_z}}{\gamma'\left|A' + \frac{v'_x V_0}{c^2}\right|}. \tag{31}$$

Формулы для обратных преобразований, отвечающих переходу из с.о. K в с.о. K', получаются с помощью соотношений (19). Приведем эти формулы:

$$v'_x = \frac{v_x - BV_0}{A - \frac{v_x V_0}{c^2}}, \quad v'_y = \frac{v_y}{\gamma\left(A - \frac{v_x V_0}{c^2}\right)}, \quad v'_z = \frac{v_z}{\gamma'\left(A - \frac{v_x V_0}{c^2} - \right)}. \tag{32}$$

Нетрудно убедиться в том, что при $\gamma = \gamma' = \gamma_0$ формулы (30) и (32) переходят в обычные преобразования скоростей, вытекающие из преобразований Лоренца.

С помощью приведенных выше формул, описывающих преобразование компонент вектора скорости, можно вывести ряд соотношений, выражающих собой условия непротиворечивости равенств (30) и (32). Так, из равенства, связывающего v_y с v'_y, и обратного ему равенства следует соотношение

$$\gamma'\gamma\left(A' + \frac{v'_x V_0}{c^2}\right)\left(A - \frac{v_x V_0}{c^2}\right) = 1. \tag{33}$$

Отметим, что соотношение (33) можно получить и иначе: не используя формулы преобразования скорости, а вычисляя производные dt / dt' и dt' / dt с помощью соотношений (12) и (19) и учитывая равенство $dt / dt' = \left(dt' / dt\right)^{-1}$.

3. Масса, энергия и импульс частицы, движущейся ускоренно по инерции

Согласно результатам работы [1], релятивистская частица массой m, зависящей от скорости, $m = m(v),$ описываемая функцией Лагранжа $L,$

$$L = -mc^2\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}, \tag{34}$$

т.е. движущаяся в отсутствие внешнего поля ($\vec{F}_{вн} = \partial L / \partial \vec{r} = 0$), обладает полной энергией E и импульсом $\vec{p}$, которые выражаются следующим образом:

$$\begin{gathered} E = mc^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} - v\frac{dm}{dv}c^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}, \\ \vec{p} = \frac{\partial L}{\partial \vec{v}} = p\vec{e}_{\vec{v}}, \quad p = mv\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} - \frac{dm}{dv}c^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}, \end{gathered} \tag{35}$$

где $\vec{e}_{\vec{v}} = \vec{v} / v$ — орт вектора скорости частицы. Из определения энергии $E = \vec{v}\vec{p} - L$ и выражения (34) для функции Лагранжа следует, что масса частицы m связана с энергией и импульсом следующим равенством:

$$m = \frac{E - vp}{c^2\left(1-\dfrac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}. \tag{36}$$

Исключая величину массы m из соотношений (35) для E и p, приходим к следующей формуле для производной dm / dv:

$$\frac{dm}{dv} = \frac{-p + vE / c^2}{c^2\left(1-\dfrac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}}. \tag{37}$$

Анализ соотношений (35)-(37) показывает, что равенства (36) и (37) представляют собой тождества, связывающие между собой величины m и dm / dv, с одной стороны, с энергией и импульсом частицы, с другой. Указанные тождества справедливы для произвольных значений скорости частицы v. Величины E и p, входящие в эти тождества, сами зависят от массы m и ее производной $dm / dv,$ как это видно из равенств (35). Следует подчеркнуть, что здесь речь идет только о собственных движениях: соотношения (35)-(37) относятся только к собственному движению частицы, т.е. к движению в отсутствие внешнего поля $(\vec{F}_{вн} = 0)$.

В силу (35), энергия E частицы, совершающей собственное движение, подчиняется уравнению

$$\frac{dE}{dt} = v\frac{dp}{dt}. \tag{38}$$

Поскольку энергия и импульс частицы являются функциями скорости: $E = E(v),\ p = p(v),$ то имеют место равенства:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{v}\frac{dE}{dv}, \quad \frac{dp}{dt} = \dot{v}\frac{dp}{dv}, \quad \dot{v} = \frac{dv}{dt}.$$

Следовательно, закон сохранения энергии частицы $dE / dt = 0$ можно записать в виде равенств:

$$\dot{v}\frac{dE}{dv} = \dot{v}v\frac{dp}{dv} = 0. \tag{39}$$

Отсюда, полагая, что энергия частицы должна сохраняться при произвольных значениях $\dot{v}$ и что $v \neq 0,$ приходим к равенству

$$\frac{dp}{dv} = 0. \tag{40}$$

Как видно из (38) и (39), равенство (40) обеспечивает сохранение энергии частицы, движущейся в отсутствие внешнего поля. Подставляя в (40) выражение (35) для модуля импульса $p,$ приходим к дифференциальному уравнению для массы, полученному в работе [1]:

$$\left(1-\hat{\Lambda}^2(v)\right)m=0, \quad m=m(v), \tag{41}$$

где оператор $\hat{\Lambda}(v)$ дается формулой

$$\hat{\Lambda}(v)=c\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)\frac{d}{dv}. \tag{42}$$

Выше описан механизм собственного ускоренного движения частицы, который обеспечивает стабильное развитие материи — движение, не сопровождающееся энергетическими потерями. Указанный механизм, основанный на соотношениях (38)-(40), приводит к уравнению (41) для массы частицы. Уравнение (41) имеет фундаментальный характер: оно дает такую зависимость $m=m(v)$, при которой сохраняются как энергия частицы, так и модуль вектора импульса. Это происходит благодаря тому, что действующая на частицу сила инерции $\vec{F}, \quad \vec{F}=d\vec{p}\,/\,dt=p\dot{\vec{e}}_{\vec{v}}$, не совершает работы dA над частицей на каждом участке $d\vec{r}=\vec{v}dt$ траектории движения:

$$dA=\vec{F}d\vec{r}=\vec{v}\frac{d\vec{p}}{dt}dt=0.$$

Физический механизм сохранения энергии частицы, совершающей УДИ, состоит в том, что в указанном движении потери энергии, связанные с ускорением частицы, в точности компенсируются увеличением кинетической энергии, происходящим вследствие изменения массы. Подчеркнем, что **собственное движение частицы описывается совершенно иначе, чем вынужденное движение, вызванное действием на частицу внешней силы**. Для описания собственного движения, из-за отсутствия уравнения движения, управляющего поведением частицы, используется соотношение (38), связывающее изменение энергии частицы с работой, совершаемой над частицей силой инерции. Это соотношение и приводит к уравнению (41), определяющему зависимость массы частицы от скорости.

Отметим, что в случае вынужденных движений (ВД) динамический принцип (принцип причинности) выражается уравнениями движения, которые описывают развитие системы во времени под действием внешней силы, выступающей в роли причины ВД. В случае собственных движений (СД), как указывалось выше, уравнения движения отсутствуют. По существу, в качестве динамического принципа выступает уравнение (41) для массы частицы, которое обеспечивает стабильное развитие материи.

Переходя к решению уравнения (41), отметим, что в силу тождества

$$1-\hat{\Lambda}^2(v)=\left(1-\hat{\Lambda}(v)\right)\left(1+\hat{\Lambda}(v)\right)$$

это уравнение распадается на два дифференциальных уравнения первого порядка:

$$\left(1-\hat{\Lambda}(v)\right)m_1=0, \quad \left(1+\hat{\Lambda}(v)\right)m_2=0. \tag{43}$$

Нетрудно показать, что общее решение уравнения (41) можно представить в следующей форме:

$$m=c_1m_1+c_2m_2, \tag{44}$$

где $m_1=m_1(v)$ и $m_2=m_2(v)$ — решения уравнений (43), c_1 и c_2 — произвольные постоянные. Согласно [1], функции $m_i(v),\ i=1,2,$ даются формулами:

$$m_1=\frac{1+v/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \quad m_2=\frac{1-v/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}}. \tag{45}$$

Отметим следующие соотношения:

$$\begin{gathered}\frac{dm_1}{dv}=\frac{m_1}{c\left(1-v^2/c^2\right)}, \quad \frac{dm_2}{dv}=-\frac{m_2}{c\left(1-v^2/c^2\right)},\\ m_2(v)=m_1(-v), \quad m_1m_2=1,\\ \left(1+\hat{\Lambda}\right)m_1=2m_1, \quad \left(1-\hat{\Lambda}\right)m_2=2m_2, \quad \hat{\Lambda}=\hat{\Lambda}(v).\end{gathered} \tag{46}$$

С помощью соотношений (44)-(46) легко показать, что имеет место равенство:

$$\frac{dm}{dv} = \frac{1}{c(1-v^2/c^2)}(c_1 m_1 - c_2 m_2). \qquad (47)$$

Из сравнения выражений (36) и (37) для массы m и ее производной dm/dv с соответствующими им выражениями (44) и (47) видно, что между ними имеется принципиальное различие, хотя входящие в них величины m и dm/dv имеют один и тот же физический смысл. Как разъяснялось выше, равенства (36) и (37) — это тождества, выражающие связь m и dm/dv с E и p. Они справедливы как для изменяющихся во времени энергии E и модуля импульса p, так и для постоянных E и p. В равенствах же (44) и (47) масса m является решением дифференциального уравнения (41), описывающего сохранение энергии и модуля импульса частицы, совершающей УДИ. Выражение (44) для массы содержит произвольные постоянные c_1 и c_2, которые мы определим, наложив на массу следующие начальные условия:

$$m(v)\big|_{v=0} = m_0, \quad \left.\frac{d\,m(v)}{dv}\right|_{v=0} = m_{01}, \qquad (48)$$

где m_0 и m_{01} — постоянные, которые могут быть определены из опытных данных. Начальные условия (48) , в силу (44) и (47), приводят к системе уравнений

$$c_1 + c_2 = m_0, \quad c_1 - c_2 = cm_{01},$$

решение которой дает:

$$c_1 = \frac{1}{2}(m_0 + cm_{01}), \quad c_2 = \frac{1}{2}(m_0 - cm_{01}), \qquad (49)$$

где $c_2 \ge c_1$ вследствие того, что $m_{01} \le 0$, как это следует из выражения (35) для модуля импульса. Подставляя постоянные c_1 и c_2 (49) в выражения (44) и (47), получаем:

$$m = \frac{m_0 + vm_{01}}{\left(1-v^2/c^2\right)^{1/2}}, \quad \frac{dm}{dv} = \frac{m_{01} + vm_0/c^2}{\left(1-v^2/c^2\right)^{3/2}}. \qquad (50)$$

Используя соотношения (50), вычислим по формулам (35) полную энергию E и модуль импульса p частицы:

$$E = m_0 c^2 \equiv E_0, \quad p = -m_{01}c^2 \equiv p_0. \qquad (51)$$

Учитывая последние равенства, нетрудно вычислить правые части тождеств (36) и (37) и убедиться в том, что эти тождества приводят в точности к соотношениям (50), которые определяют зависимость массы частицы m и ее производной dm/dv от скорости v при начальных условиях (48).

Согласно полученным результатам, **ускоренные движения частицы по инерции характеризуются тем, что частица обладает как энергией покоя $E_0 = m_0c^2$, так и импульсом покоя** $p_0 = |m_{01}|c^2$, где $m_0 = m(0)$, $m_{01} = \left.\frac{dm}{dv}\right|_{v=0}$. Как видно из равенств (50) и (51), масса частицы, движущейся ускоренно по инерции, и производная массы по скорости изменяются с изменением скорости частицы, а энергия и модуль импульса остаются постоянными, равными по величине энергии покоя E_0 и импульсу покоя p_0. На частицу действует сила инерции

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = p_0 \dot{\vec{e}}_{\vec{v}}, \qquad (52)$$

где $\vec{e}_{\vec{v}}$ — орт вектора скорости частицы $\vec{v}$, частица движется с ускорением $\vec{a} = \dot{v}\vec{e}_{\vec{v}} + v\dot{\vec{e}}_{\vec{v}}$. Отметим, что появление импульса покоя связано с тем, что масса частицы является функцией скорости. Поскольку масса частицы зависит от скорости v , то импульс частицы может быть отличен от нуля и при $v = 0$.

Равенства (50)-(52) отвечают начальным условиям (48). Если на решения уравнения (41) для массы наложить следующие начальные условия (ср. с начальными условиями (48)):

$$m(v_0)=\tilde{m}_0,\quad dm(v)/dv\big|_{v=v_0}=\tilde{m}_{01},\quad v_0\neq 0, \tag{53}$$

где $\tilde{m}_0$ и $\tilde{m}_{01}$ — постоянные, то константы c_1 и c_2 в (44) и (47) определятся формулами:

$$c_1=\frac{1}{2m_1(v_0)}[\tilde{m}_0+c(1-v_0^2/c^2)\tilde{m}_{01}],$$
$$c_2=\frac{1}{2m_2(v_0)}[\tilde{m}_0-c(1-v_0^2/c^2)\tilde{m}_{01}]. \tag{54}$$

Используя (54), величины m и dm/dv (44) и (47) легко преобразовать к виду:

$$m(v)=(1-v^2/c^2)^{-1/2}\left(B^{(+)}+\frac{v}{c}B^{(-)}\right),$$
$$\frac{dm(v)}{dv}=c^{-1}(1-v^2/c^2)^{-3/2}\left(B^{(-)}+\frac{v}{c}B^{(+)}\right), \tag{55}$$

где $B^{(+)}$ и $B^{(-)}$ — постоянные, зависящие от v_0:

$$B^{(+)}=(1-v_0^2/c^2)^{-1/2}\left[\tilde{m}_0-v_0(1-v_0^2/c^2)\tilde{m}_{01}\right],$$
$$B^{(-)}=-(1-v_0^2/c^2)^{-1/2}\left[\frac{v_0}{c}\tilde{m}_0-c(1-v_0^2/c^2)\tilde{m}_{01}\right]. \tag{56}$$

Подстановка величин m и dm/dv (55) в выражения (35) для E и p дает:

$$E(v)=B^{(+)}c^2\equiv E(v_0),\quad p(v)=-B^{(-)}c\equiv p(v_0). \tag{57}$$

Таким образом, величины $m(v)$ и $dm(v)/dv$ (55), полученные из (44) и (47) с помощью тождественных преобразований и отвечающие начальным условиям (53), имеют вид:

$$m(v)=c^{-2}(1-v^2/c^2)^{-1/2}\left(E(v_0)-vp(v_0)\right),$$
$$\frac{dm(v)}{dv}=c^{-2}(1-v^2/c^2)^{-3/2}\left(-p(v_0)+\frac{v}{c^2}E(v_0)\right). \tag{58}$$

Обратим внимание на то обстоятельство, что равенства (58) по своей форме аналогичны равенствам (35) и (36), хотя по физическому содержанию эти равенства качественно отличаются друг от друга. Первые следуют из решений уравнения (41) для массы m и подчиняются начальным условиям (53), и поэтому их правые части содержат постоянные величины $E(v_0)$ и $p(v_0)$ (см. (58)). Вторые же представляют собой тождества, в которых величины m, E и p зависят от одной и той же переменной v. Отметим, что при $v_0=0$ соотношения (58) совпадают, как и должно быть, с выражениями (50). Следует подчеркнуть, что если начальные условия для массы отвечают начальной скорости $v_0\neq 0$, то энергия E и модуль импульса p частицы, совершающей УДИ, являются постоянными величинами $E(v_0)$ и $p(v_0)$ (57), соответствующими скорости $v_0\neq 0$, а не $v_0=0$, и при этом $p_0=p(v_0)$ в формуле (52) для силы инерции $\vec{F}$.

Изложенное выше позволяет уточнить понятие ускоренного движения частицы по инерции. Это такое собственное движение (СД) частицы, которое совершается с ускорением в отсутствие внешнего поля (т.е. при $\vec{F}_{вн}=0$) и в котором действующая на частицу сила инерции $\vec{F}$, $\vec{F}=d\vec{p}/dt$, $\vec{p}$ — импульс частицы, не производит работы над частицей на каждом участке $d\vec{r}=\vec{v}dt$ траектории движения:

$$dA=\vec{F}d\vec{r}=0,\quad \vec{F}\neq 0. \tag{59}$$

В УДИ сохраняются полная энергия E и модуль импульса p частицы ($E=E(v_0)$, $p=p(v_0)$, см. (57)), на частицу действует сила инерции $\vec{F}=p_0\dot{\vec{e}}_{\vec{v}}$, которая работы не совершает в соответствии с (59). Выше v_0 — это скорость, которая определяет начальные условия (53), накладываемые на решение уравнения (41) для массы частицы. Масса частицы, движущейся ускоренно по инерции, изменяется с изменением скорости v в соответствии с формулой (58), энергия и модуль импульса сохраняют постоянные значения, отвечающие скорости v_0, вектор импульса изменяется только по направлению: $\vec{p} = p(v_0)\vec{e}_{\vec{v}}$, так что УДИ представляет собой криволинейное движение.

Следует подчеркнуть, что ускоренные движения частиц по инерции обладают замечательной особенностью. **Эти движения не только формируют такую зависимость массы частиц от скорости, которая обеспечивает сохранение энергии и модуля импульса частиц, но и наделяют пространство-время физическими свойствами**. 4-пространство становится неоднородным, а собственное время частицы превращается в величину, зависящую от положения частицы в 4-пространстве.

4. Заключение

Для описания механических процессов обычно используются инерциальные системы отсчета (ИСО), которые определяются из условия, чтобы в отсутствие возмущения движение свободной частицы было движением по инерции — равномерным и прямолинейным. Однако движение свободной частицы по инерции — это абстракция, таких движений не существует в природе. Реальная, наблюдаемая частица характеризуется тем, что она непрерывно совершает переходы из одного состояния движения в другое, и эти переходы сопровождаются ускорением частицы. Как показано в [1], существует ускоренное движение частицы по инерции, которое может продолжаться как угодно долго по той причине, что в этом движении потери энергии, вызванные ускорением частицы, компенсируются кинетической энергией, выделяющейся при изменении массы частицы. Полная энергия частицы в таком движении с ускорением остается постоянной. Реальное движение по инерции, таким образом, может быть ускоренным, если существует физический механизм восполнения энергетических потерь, связанных с ускорением.

Очевидно, что ИСО непригодны для описания физических систем, в которых движение по инерции является ускоренным. Необходимы новые системы отсчета, в основе которых лежит следующий принцип инерции: в отсутствие внешнего возмущения ускоренное движение частицы по инерции продолжается как угодно долго. Системы отсчета, в которых выполняется сформулированный выше принцип инерции, естественно назвать физическими инерциальными системами отсчета (ФИСО). В настоящей работе получены преобразования пространственно-временных координат, описывающие переход из одной ФИСО в другую. Эти преобразования существенно отличаются от преобразований Лоренца, связывающих между собой ИСО. Следует подчеркнуть, что ФИСО, движущиеся друг относительно друга с постоянной скоростью, не равноправны, физически не эквивалентны. Это обусловлено тем, что масса частицы не является постоянным параметром, она изменяется при изменении скорости движения частицы.

Ускоренные движения частиц по инерции, представляющие собой своеобразное «дыхание» материи и обеспечивающие ее устойчивое развитие, накладывают заметный отпечаток на пространство-время, наделяя его физическими свойствами. Реальное пространство-время, в котором протекают все физические процессы, оказывается неоднородным, собственное время частицы становится величиной, зависящей не только от скорости частицы, но и от положения частицы в 4-пространстве. Из результатов работы видно, что собственные движения приводят к появлению связи частицы с пространством-временем, в котором происходит движение. Благодаря существованию этой связи частица приобретает энергию покоя и импульс покоя, которые являются следствием зависимости массы частицы от скорости движения.

Из факта существования материального мира, находящегося в состоянии непрерывного развития, следует, что существуют неизвестные нам физические механизмы, обеспечивающие стабильное развитие материи. **Раскрытие физических механизмов** происходящих в природе процессов, **которые обеспечивают самоорганизацию и самоуправление материи**, развитие материи по восходящей линии, **представляет собой одну из важнейших задач фундаментальных исследований в области физики**. Из наблюдений за окружающим миром видно, что **материя — творческая сущность, которая владеет этими механизмами в совершенстве и искусно использует их в интересах всей природы.** По-видимому, одним из таких механизмов является использование ускоренных движений по инерции, благодаря которым выполняются законы сохранения энергии и модуля вектора импульса частицы и тем самым обеспечивается стабильное развитие материи.

Поскольку любая физическая система представляет собой сосуществование противоположностей, противостоящих друг другу, то естественно предположить, что **главную задачу, которая решается в творческой мастерской материи**, можно сформулировать следующим образом. **Противостояние противоположностей, мешающее развитию всей системы в целом, нужно превратить в согласие между ними**. Необходимо организовать такие взаимоотношения между противоположностями, когда возникает гармония их интересов: успешное развитие одной из них не только не мешает развитию другой, но и становится стимулом к развитию другой противоположности. И тогда развитие всей системы в целом идет по восходящей линии. По-видимому, эта задача не имеет однозначного решения. Существует много способов, позволяющих противостояние превратить в свою противоположность — согласие, гармонию.

Отметим, что в настоящей работе представлен и детально описан конкретный пример решения указанной выше задачи превращения противостояния в гармонию интересов. Речь идет об ускоренном движении частицы по инерции, которое выражает собой столкновение двух противоположностей. Перед нами, с одной стороны, движение с ускорением, которое требует поглощения энергии частицей, а с другой — движение с изменением массы, вызывающее изменение кинетической энергии. Результирующее движение может быть движением по инерции лишь в том случае, когда потери энергии, вызванные ускорением, восполняются энергией, связанной с изменением массы частицы. Решения уравнения (41) для массы частицы и дают такую зависимость массы от скорости, которая отвечает согласию между ускорением и изменением массы. В результате движение с ускорением становится движением по инерции, в котором полная энергия частицы сохраняется. Ускоренное движение частицы по инерции является, таким образом, результатом согласия между двумя противоположностями.

Отметим, что автором открытия ускоренного движения по инерции является Галилео Галилей, который под движением по инерции понимал не прямолинейное, а равномерное криволинейное движение. В частности, круговое движение Земли вокруг Солнца Галилей считал движением по инерции [2,3]. В механике Ньютона принцип инерции принимается в качестве первого закона механики, но движение по инерции определяется по Декарту — как равномерное прямолинейное движение свободной частицы, не подверженной действию внешней силы. С тех пор в физике под движением по инерции принято понимать равномерное и прямолинейное движение свободной частицы, а принцип инерции принято формулировать только для движения свободных частиц, хотя некоторые философы уже давно приняли точку зрения Галилея на движение по инерции [4].

Следует подчеркнуть, что движения свободных частиц по инерции не играют никакой роли в динамике реальных многочастичных систем. Ускоренные же движения частиц по инерции играют фундаментальную роль, обеспечивая устойчивое развитие материи [1].

Среди представителей физической науки широко распространено мнение, что теоретическая физика как основа физических представлений полностью завершена, надежно проверена практикой и дает физическую картину мира, адекватную природе. Однако астрофизические исследования показывают, что 90-95% массы вещества Вселенной составляет темная энергия и темная материя. Физическая природа этих составляющих космоса не известна. Это обстоятельство указывает на необходимость пересмотра устоявшихся физических представлений, которые не позволяют объяснить поведение большей части Вселенной.

П.А.М. Дирак, один из создателей квантовой электродинамики, анализируя в 60-х годах прошлого века трудности электродинамики, писал: «**Правильный вывод состоит в том, что основные уравнения неверны. Их нужно очень существенно изменить, с тем, чтобы в теории вообще не возникали бесконечности и чтобы уравнения решались точно, по обычным правилам, без всяких трудностей. Это условие потребует каких-то очень серьезных изменений: небольшие изменения ничего не дадут …**» [5] (с.197). По словам Дирака, трудности теории, «**ввиду их глубокого характера, могут быть устранены лишь радикальным изменением основ теории, вероятно, столь же радикальным, как и переход от теории боровских орбит к современной квантовой механике**» [6] (с.403).

Исследования [7-10] по проблеме, сформулированной П.А.М. Дираком, показали, что причина трудностей электродинамики состоит в неполноте теории: из поля зрения электродинамики выпал огромный класс движений — ускоренные движения по инерции (УДИ). Устранение трудностей теории невозможно без учета УДИ, поскольку эти движения играют фундаментальную роль в природе: они обеспечивают устойчивое, стабильное развитие материи. Подчеркнем, что крайне важно установить физическую природу не только массы частицы, но и электрического заряда.

Литература:

1. *Олейник В.П.* Физическая природа массы частицы. Релятивистская механика на основе ускоренных движений по инерции. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2018. — Т. 18. — №1-2. — С. 15-37.
2. *Галилео Галилей.* Избранные произведения в двух томах. Т. 1, 2. — М.: Наука, 1964.
3. *Кузнецов Б.Г.* Проблема истинного движения Земли в «Диалоге» Галилея // Труды Института истории естествознания и техники. Вып. 1. — М.: Академия наук СССР, 1954. — С. 249-267.
4. *Гегель Г.В.Ф.* Философия природы. Энциклопедия философских наук. Т. 2. — М.: Мысль, 1975.
5. *Дирак П.А.М.* Собрание научных трудов. Т. IV. Гравитация и космология. Воспоминания и размышления (лекции, научные статьи 1937-1984 гг.). / Под общ. ред. А.Д. Суханова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 784 с.
6. *Дирак П.А.М.* Принципы квантовой механики. — М.: Наука, 1979.
7. *Олейник В.П.* Проблема Дирака. Обобщение уравнений Максвелла для электромагнитного поля. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2014. — Т. 14. — №3(55). — С. 5-17.
8. *Олейник В.П.* Проблема Дирака, часть 2. Электромагнитное взаимодействие как прямое следствие законов механики. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2014. — Т. 14. — №4(56). — С. 5-23.
9. *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 — Т. 15. — №1(57). — С. 32-61.
10. *Олейник В.П.* Решение проблемы Дирака: физические следствия. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2016. — Т. 16. — №1(61). — С. 44–55.

Статья поступила в редакцию 21.06.2019 г.

Oleinik V.P.

Accelerated movements by inertia and the physical properties of the space-time provided by them

The work is devoted to the study of the proper motions (PM) of material particles. PM are an attribute of matter, i.e. inherent property of matter, intrinsic to it by the very nature of things. PM are characterized by the fact that their source is matter, but for them there are no equations of motion similar to those that govern forced motions (FM) — motions that occur under the influence of external fields. A special role among proper motions is played by accelerated motions by inertia (AMI): they form such a dependence of the particle mass on the velocity, which ensures the stable development of matter. These motions of the particles occur with acceleration, the particles are influenced by inertia forces that do not work on the particles, the energy and modulus of the particle momentum are conserved.

To describe physical phenomena and processes, it is customary to use inertial reference systems (IRS), which are determined from the condition that the inertia principle is fulfilled in them: a free particle, i.e. a particle not exposed to external forces, rests or moves uniformly and straightforwardly. It should be emphasized, however, that the concept of a free particle is only an abstraction, very far from reality. Free particles do not exist in nature; a real, physical particle moves continuously, moving from one state of motion to another, and these transitions occur spontaneously, without the participation of any external forces, and can occur with particle acceleration. To correctly describe the PM, it is necessary to construct a model of particle motion by inertia, which is qualitatively different

from the model of free particles. As real movements by inertia in the work, AMIs are used, which ensure the sustainable development of matter.

At present, the principle of least action (PLA) is used as the main method for studying mechanical processes. However, the PLA has a limited area of applicability: the condition for its applicability is the presence of an external force causing the evolution of the system under consideration in time. Consequently, the PLA can only describe forced motions and is not able to correctly describe its proper motions, since there are no external forces generating these motions. AMI belong to the number of proper motions, and therefore it is impossible to investigate them with the help of PLA. This circumstance cannot serve as a hindrance to the detailed analysis of one's proper motions. As shown in this paper, a sufficiently complete description of proper motions can be obtained using relations that relate the change in particle energy to work done by inertia forces acting on particles.

The study shows that if a particle moves with acceleration by inertia in IRF K, then from the point of view of an observer located in IRF K', moving relative to K, the movement of the particle is not AMI. This means that the transition from IRF K to IRF K' knocks the particle out of the state of AMI, i.e. moving relative to each other IRF are unequal. For a correct description of physical phenomena and processes, it is necessary to use such reference frames in which AMI act as inertia motions. Reference frames of this kind differ significantly from standard IRF; in the future, such reference frames will be called physical inertial reference frames (FIRF). It is obvious that transitions from one FIRF to another, moving relative to the original, cannot be described by the Lorentz transformations.

Transformations of space-time coordinates are obtained in the work, which, when moving from one reference frame to another, retain AMI. Using these transformations, we calculated squares of space-time intervals between two infinitely close points in the reference frames K and K'. It can be seen from the formulas obtained that the space-time, in which the accelerated motion of a particle occurs by inertia, is a non-uniform pseudo-Euclidean 4-space, possessing both spatial and temporal non-uniformity. The proper motion of particles, thus, significantly affects space-time, giving it physical properties.

Accelerated inertial movements of the structural elements of matter are the breathing of material particles, which is transmitted to the entire space-time, causing its non-uniformity and turning the particle's own time into a quantity depending not only on speed, but also on the position of the particle in 4-space. Proper movements lead to the appearance of a connection between a particle and the space-time in which movement occurs. Due to the existence of this connection, the particle acquires rest energy and rest momentum, which are the result of the dependence of the particle mass on the speed of movement.

On the basis of the results obtained in the work, it can be concluded that the most important task of basic research in the field of physics is the discovery of the physical mechanisms of the processes occurring in nature, which ensure the self-organization and self-government of matter, the development of matter along an ascending line.

Keywords: physical nature of particle mass, differential equation for mass, mass dependence on velocity, proper and forced motions, accelerated inertia motions, physical properties of space-time generated by accelerated inertia motions, physical mechanism of inertia accelerated motion, energy and momentum rest of a particle whose mass depends on speed.