

**О КЛАССИФИКАЦИИ СИСТЕМ ОТСЧЁТА  
В КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ НЬЮТОНА МАКСВЕЛЛА, [9]**

**Потехин А. Ф.**

Одесский Национальный морской университет  
65029, Одесса, ул. Мечникова, 34. Украина

Аннотация.

Выявлено, что отнесение в современной физике всех неускоренных друг относительно друга систем отсчёта к инерциальным, а всех, ускоренных по отношению к ним, к неинерциальным системам отсчёта, является ошибочным. Введено понятие динамических и кинематических систем отсчёта. Показано, что инерциальными и неинерциальными могут быть только динамические системы отсчёта. Выведены недостающие в современной физике основное уравнение динамики материальной точки в динамических неинерциальных системах отсчёта в механике и электродинамические уравнения Максвелла в кинематических неускоренных (по отношению к инерциальным) системах отсчёта в электродинамике. Обоснован эффект Доплера для электромагнитной волны в кинематических системах отсчёта как следствие уравнений Максвелла и преобразования Галилея. Показано, что если все инерциальные системы отсчёта идентичны в том смысле, что в каждой из них выполняется динамический принцип относительности Галилея-Ньютона, то все кинематические системы отсчёта идентичны в том смысле, что записанные в них уравнения движения ковариантны относительно преобразования Галилея.

Уважаемые коллеги!

Систему отсчёта, связанную с этой аудиторией, с известной точностью, можно считать инерциальной в общепринятом сегодня в физике смысле. Направляю три пальца моей руки по трём взаимно перпендикулярным направлениям, образуя, таким образом, новую систему отсчёта, и двигаю её относительно вас поступательно, равномерно и прямолинейно. Согласно современным физическим представлениям, эта движущаяся система отсчёта также является инерциальной. Это глубочайшее заблуждение, истоки которого восходят к Маху, к его утверждению, что безразлично, что относительно чего движется: Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли. Это утверждение Маха, справедливое в кинематике, оказывается неверным в динамике. Это обусловлено тем, что вследствие динамического взаимодействия, Земля, вместе с телами солнечной системы, вовлекается в переносное движение гелиоцентрической системы отсчёта, но Солнце и тела солнечной системы в переносное движение геоцентрической системы отсчёта не вовлекаются. Это понял Ньютон, создатель динамики, но, к сожалению, не понял Мах и его последователи.

Перейдём к обсуждению данного вопроса более детально.

**О классификации систем отсчёта в современной физике.**

Когда корабль плывёт в безбрежных морских просторах, то время от времени возникает необходимость в корректировке правильности его курса по надёжным ориентирам. Совершенно аналогично, когда мы движемся в безграничных просторах природы в поисках царствующих в ней законов, мы должны время от времени сверять и корректировать наш курс по надёжным ориентирам – творениям гениев, достоверность которых подтверждена многовековой практикой. Сверим курс современной теоретической физики с Началами Ньютона по такому фундаментальному вопросу, как классификации систем отсчёта.

Ни у кого из вас не возникнет возражения утверждению, что лабораторная система отсчёта, скрепленная с этой аудиторией, с известной точностью является инерциальной в обще-

признанном сегодня смысле. Рассмотрим ещё две системы отсчёта, моделируемые тремя взаимно перпендикулярными пальцами, соответственно кистей правой  $A$  и левой  $B$  руки. При этом система отсчёта  $A$  – пустая, а в системе отсчёта  $B$  к одному из пальцев привязана нить с грузиком. Сообщаем каждой из этих систем отсчёта поступательное, равномерное и прямолинейное движение относительно лабораторной системы отсчёта. Согласно современным физическим представлениям, каждая из систем отсчёта  $A$  и  $B$  является инерциальной – цитирую начало первой страницы второго тома курса теоретической физики “Теория поля” Ландау, Лифшица: “Существуют системы отсчёта, в которых свободное движение тел, т. е. движение тел, не находящихся под действием внешних сил, происходит с постоянной скоростью. Такие системы отсчёта носят название инерциальных. Если две системы отсчёта движутся друг относительно друга равномерно и прямолинейно и если одна из них инерциальная, то, очевидно, что и другая тоже является инерциальной (всякое свободное движение и в этой системе отсчёта будет прямолинейным и равномерным). Таким образом, имеется сколько угодно инерциальных систем отсчёта, движущихся друг относительно друга равномерно-поступательно”.

Таков общепризнанный сегодня критерий выделения класса инерциальных систем отсчёта в физике. А теперь, разрешите задать вам, в связи с этим, несколько вопросов. Вопрос первый. Скажите, делает ли современная физика какое либо различие между введенными выше системами отсчёта  $A$  и  $B$ , считая обе инерциальными лишь на том основании, что они движутся равномерно-поступательно относительно лабораторной системы отсчёта? Нет, современная физика такого различия не делает. Вопрос второй, сама постановка которого для вас покажется странной: для каких тел, процессов, взаимодействий каждая из этих систем отсчёта является инерциальной? И здесь современная физика никаких ограничений не накладывает, считая, что если система отсчёта инерциальная, то она инерциальная для всех тел, процессов, взаимодействий. И вопрос третий. Почему в современной физике эти системы отсчёта называются инерциальными? Ведь понятие инерции или инертности тел связано с сугубо динамическим понятием массы. Но в современной физике выделение инерциальных систем отсчёта производится по формально-математическому, кинематическому признаку, по скорости движения свободного тела, когда, ни масса этого тела, ни масса тела отсчёта во внимание не принимается.

Если ответы на первые два вопроса у вас могли вызвать затруднение, то на третий вопрос каждый из вас готов ответить (цитирую такой ответ из тома 1 “Механики” Ландау, Лифшица): “В инерциальной системе отсчёта всякое свободное движение тела происходит с постоянной по величине и направлению скоростью. Это утверждение составляет содержание так называемого закона инерции” (конец цитаты). Такое формирование научного мировоззрения в трактовке, в понимании, в интерпретации первого закона Ньютона, является характерной чертой и неотъемлемой частью физики XX века. Такое извращение основ динамики Ньютона восходит к концу XIX века, к научной школе Маха: “Ланге, которому посчастливилось больше всего, дал правильное толкование закона инерции Ньютона уже в 1885г... Так вот, важнейшее содержание закона инерции Ланге видит в том, что при помощи трёх свободных материальных точек может быть задана система координат, относительно которой не только четыре, но и любое число свободных материальных точек движется прямолинейно, проходя взаимно пропорциональные отрезки пути. Следовательно, случай, представленный в природе, соответствовал бы упрощению и ограничению кинематически (! – Мах ещё умел думать, критиковать, но понимать!) возможного многообразия” (Э. Мах Механика. Историко-критический очерк её развития.). Кинематическая трактовка закона инерции Ньютона проникла и в учебники по теоретической механике: “Аксиома 1. (Принцип инерции). Материальная точка, которая не подвержена никаким воздействиям извне, имеет постоянную скорость ( $v = const$ ) т.е. она движется прямолинейно и равномерно или находится в покое” (Бухгольц и Гольцман. Курс теоретической механики, 1939г.). И если некоторые авторы и цитировали непосредственно формулировку закона инерции по Ньютону, то расхождение с Ньютоном уже не замечалось.

Итак, современная физика утверждает, что выделение в ней инерциальных систем отсчёта по кинематическому признаку производится согласно первому закону динамики Ньютона,

закону инерции. Но так ли это? Сверим курс современной физики в этом вопросе с нашим маяком, с Началами Ньютона.

Цитирую первый закон динамики Ньютона, закон инерции, по одному из лучших переводов Ньютона с латыни, выполненным Крыловым А. Н. “Всякое тело (Ньютон рассматривает свободное тело) продолжает удерживать своё состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние”. Но ведь это совершенно не та редакция первого закона Ньютона, на которую ссылается современная физика! У Ньютона формулировка этого закона состоит из двух частей: кинематической (необходимой) – “свободное тело продолжает удерживать своё состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения”, и динамической (достаточной) – “пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние”. Таким образом, современная физика выделяет инерциальные системы отсчёта только по первой, кинематической части формулировки первого закона Ньютона, полностью игнорируя вторую, динамическую часть этого закона. Если же, действительно, выделять инерциальные системы отсчёта согласно полной формулировке первого закона Ньютона, то наша система отсчёта  $A$  не является инерциальной ни для одного из тел, потому что ускорение относительно неё любого из тел, например, находящихся в этой аудитории, может быть вызвано и без приложения сил к этим телам, для этого достаточно сообщить ускорение самой этой системе отсчёта относительно лабораторной  $CO$ . Система же отсчёта  $B$  является инерциальной, но лишь для того грузика, которое движется вместе с этой системой отсчёта, взаимодействуя с ней. Изменить скорость этого грузика относительно системы отсчёта  $B$  можно, лишь приложив к нему силу как непосредственно, так и опосредствовано, через связь с телом отсчёта. Вот что пишет об этом сам Ньютон. “Причины происхождения, которыми различаются истинные (динамические) и кажущиеся (кинематические) движения суть те силы, которые надо к телам приложить, чтобы произвести эти движения. Истинные абсолютные (динамические) движения не могут ни произойти, ни измениться иначе как от действия сил, приложенных непосредственно к самому движущемуся телу, тогда как относительные (кинематические) движения тела может быть, и произведено, и изменено без приложения сил к этому телу, достаточно, чтобы силы были приложены к тем телам, по отношению к которым это движение определяется”. Яснее не скажешь!

Рассмотрим этот же вопрос об инерциальных системах отсчёта с другой стороны. Запишем уравнение движения свободной материальной точки  $M$ , испущенной с начальной скоростью  $\bar{v}$  относительно лабораторной, инерциальной по Ньютону, системы отсчёт  $\Sigma$

$$\bar{v} = C(const). \quad (1)$$

Так как мы рассматриваем инерциальную систему отсчёта по Ньютону, то данная материальная точка участвует также и в переносном движении лабораторной системы отсчёта. Рассмотрим теперь движение этой же материальной точки относительно нашей системы отсчёта  $A$ , которая движется относительно  $\Sigma$  поступательно равномерно и прямолинейно со скоростью  $\bar{u} = const$ . Материальная точка  $M$  не принимает участия в движении системы отсчёта  $A$ . Согласно кинематическому преобразованию Галилея, относительная скорость  $\bar{v}'$  точки  $M$  в системе отсчёта  $A$  равна разности абсолютной и переносной скоростей

$$\bar{v}' = \bar{v} - \bar{u} = C'(const). \quad (2)$$

то есть

$$\bar{v}' = C'(const). \quad (3)$$

Сравнивая между собой выражения (1) и (3) видим, что, они ковариантны относительно преобразования Галилея, то есть, эти выражения имеют одинаковый вид: скорость одной и той же точки  $M$  относительно каждой из рассматриваемых здесь двух систем отсчёта равна константе. Но значения констант в этих уравнениях, разное! Следовательно, движение рассматриваемой точки в этих системах описывается по-разному. Заметим, что это обусловлено тем, что одна и та же точка не может иметь одинаковые начальные условия в движущихся друг относительно друга системах отсчёта, по крайней мере, по начальным скоростям. Поэтому значения

произвольных постоянных, после интегрирования дифференциальных уравнений движения свободной материальной точки в каждой из систем отсчёта, будут разными. Так что глубоко ошибочным является общепринятое в современной физике утверждение: “Если на частицу не действуют никакие силы и система  $\Sigma$  инерциальная, то скорость  $\bar{v}$  частицы в этой системе будет постоянной (верное утверждение - ПАФ). Отсюда следует, что скорость  $\bar{v}'$  частицы в системе  $A$  тоже оказывается постоянной (также верное утверждение - ПАФ). Это означает, что система  $A$  также инерциальная (ошибочный вывод при верных посылах - ПАФ)” [Савельев, том 1, 1989. С. 34-35]. Глубочайшее заблуждение! Последнее утверждение основано на ошибочном отождествлении таких принципиально различных математических понятий как “некоторая величина остаётся постоянной при преобразовании систем отсчёта”, “некоторая величина остаётся ковариантной при преобразовании систем отсчёта”.

Итак, кинематическое выделение класса инерциальных и неинерциальных систем отсчёта в современной физике является ошибочным. Динамический аспект введенных таким образом “инерциальных” систем отсчёта упущен. Только в динамике, где проявляется такое свойство тел, как их инертность, может быть корректно дано понятие инерциальных и неинерциальных систем отсчёта. Поэтому, введенные в современной физике указанным выше кинематическим способом системы отсчета  $A$  целесообразно называть кинематическими неускоренными и кинематическими ускоренными друг относительно друга системами отсчёта или, для сокращения, просто неускоренными и ускоренными системами отсчёта.

### **Динамические и кинематические, инерциальные и неинерциальные системы отсчёта в механике Ньютона и электродинамике Максвелла**

Совершенно иной подход к классификации систем отсчёта у Ньютона, основателя динамики. Основная задача, которая стояла перед Ньютоном, заключалась в установлении взаимосвязи между силой, приложенной к материальной точке и кинематическими параметрами движения этой же материальной точки (координаты, скорость, ускорение). Но сила, как мера взаимодействия тел, от выбора системы отсчёта не зависит. Кинематические же параметры движения материальной частицы существенно зависят от выбора системы отсчёта. Как соединить в одном равенстве эти, несовместимые на первый взгляд, величины, как заложить математические начала динамики? Вот та задача, которая стояла перед Ньютоном.

Вначале Ньютон создаёт динамику движения тел солнечной системы, где вопрос выбора системы отсчёта был предопределён Коперником и кинематическими законами Кеплера – это гелиоцентрическая система отсчёта. Именно в этой, гелиоцентрической, системе отсчёта Ньютон и формулирует динамические законы механики неба. Затем, у него не мог не возникнуть вопрос о справедливости этих законов в других системах отсчёта. Проследим за дальнейшей логикой обоснования динамики Ньютоном.

В соответствии с динамическим принципом относительности Галилея, на который ссылается Ньютон (этот термин введён в физику значительно позже Ньютона), взаимное движение системы взаимодействующих между собой материальных частиц не будет зависеть от их общего движения с одной и той же переносной скоростью. Это положение сформулировано у Ньютона в Следствии Y после изложения его законов: “Относительные движения друг по отношению к другу тел, заключенных в каком-либо пространстве, одинаковы, покоится ли это пространство или движется равномерно и прямолинейно без вращения”. При этом следует учесть следующее замечание Ньютона: “Тело, движущееся в подвижном пространстве, участвует и в движении этого пространства, поэтому тело, движущееся от подвижного места, участвует в движении своего места”. Следствие Y Ньютон заключает таким комментарием: “Это подтверждается обильно опытами. Все движения на корабле совершаются одинаково, находится ли он в покое или движется равномерно и прямолинейно”. Итак, внутри всех замкнутых кают кораблей, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, идентичные опыты, связанные с взаимодействием тел, протекают, наблюдаются и описываются одинаково. Осознавая, что поверхность Земли и связанная с ней система отсчёта с достаточно большой точностью может считаться каютой корабля, который поступательно, равномерно и

прямолинейно перемещается относительно гелиоцентрической системы отсчёта, Ньютон делает вывод о применимости его законов Небесной механики в лабораторной системе отсчёта поверхности Земли. При этом он в разных вариантах, неоднократно, подчёркивает неотъемлемую часть своей динамики – взаимодействующие между собой тела, движущееся в подвижном пространстве (в данном случае в пространстве поверхности Земли), участвует и в движении этого пространства, (в данном случае в пространстве поверхности Земли), поэтому тела, движущееся от подвижного места, участвует в движении своего места.

Таким образом, согласно Ньютону, все системы отсчёта должны быть разделены на два класса - динамические и кинематические. Если рассматриваемая система взаимодействующих между собой материальных частиц движется вместе с системой отсчёта  $\Sigma$ , которая, в свою очередь, движется относительно Гелиоцентрической системы отсчёта  $\Sigma^0$ , то  $\Sigma$  называется динамической системой отсчёта для данного процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении совместно с системой отсчёта  $\Sigma'$ , то последняя называется кинематической системой отсчёта для данного процесса. Следует подчеркнуть относительность этих понятий: одна и та же система отсчёта для одних процессов может быть динамической, для других – кинематической. Так, для всех тел, находящихся на движущемся корабле и перемещающихся вместе с ним, система отсчёта корабля будет динамической. Для всех же тел, находящихся вне этого корабля и не перемещающихся вместе с ним, система отсчёта корабля будет кинематической.

Динамические системы отсчёта, в свою очередь, подразделяются на два класса – инерциальные и неинерциальные. Именно в динамике появляется понятие инерциальных систем отсчёта. Динамические, для данной совокупности тел, системы отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно сферы удалённых звёзд, следовательно, и друг относительно друга, называются динамическими инерциальными системами отсчёта для этой совокупности тел. В каждой из таких систем отсчёта, согласно динамическому принципу относительности Галилея, физические законы формулируются и записываются одинаково с точностью до обозначения координат. В уравнения движения физических процессов в динамических инерциальных системах отсчёта никогда не входит скорость их движения относительно других систем отсчёта. Динамические, для данной совокупности тел, системы отсчёта, которые движутся ускоренно относительно динамических инерциальных систем отсчёта, называются динамическими неинерциальными системами отсчёта для этой совокупности тел. Именно введенные таким способом системы отсчета следует называть динамическими инерциальными и динамическими неинерциальными системами отсчёта или, для сокращения, просто инерциальными и неинерциальными системами отсчёта. В связи с неверной классификацией систем отсчёта в современной физике, оставалось незамеченным отсутствие основного уравнения динамики материальной точки в динамических неинерциальных системах отсчёта в механике. Ниже дан вывод этого недостающего уравнения механики.

Обратимся теперь к электродинамике.

Известно, что электродинамические уравнения Максвелла, по его собственному признанию, базируются на опытах Фарадея: “Прежде чем начать изучение электричества, я решил не читать никаких математических работ по этому предмету, до окончательного прочтения мною экспериментальных исследований в области электричества Фарадея”. Поэтому, мы не вправе требовать от теории Максвелла более того, чем это заложено в ней условиями проведения опытов Фарадея. Главным же в этих условиях является то, что эти опыты проводились в физической лаборатории, жёстко привязанной к поверхности Земли. А это обозначает, что все объекты этих опытов вовлекались как во вращение Земли вокруг своей оси, так и в её орбитальное движение, что изначально заложено в результаты экспериментов Фарадея. Задавшись целью математического описания экспериментальных результатов Фарадея, Максвелл учёл это обстоятельство выбором системы отсчёта, жёстко привязанной к физической лаборатории, то есть к поверхности Земли. Таким образом, система отсчёта, в которой справедливы уравнения Максвелла, характеризуется тем, что рассматриваемая в ней система материальных объектов дви-

жется вместе системой отсчёта, и эта система отсчёта, в свою очередь, движется поступательно, равномерно и прямолинейно относительно Гелиоцентрической системы отсчёта, то есть электродинамические уравнения Максвелла справедливы в инерциальных, по Ньютону, системах отсчёта.

Когда Максвелл, в конечном итоге, следуя экспериментам Фарадея, добавив фундаментальное понятие тока смещения, создал свои знаменитые электродинамические уравнения, справедливые в лабораторной системе отсчёта, то выяснилось, что в эти уравнения движения не входит скорость движения этой системы отсчёта относительно других систем отсчёта. Отсюда сразу же возникало подозрение, что не только в механике, но и в электродинамике, выполняется динамический принцип относительности Галилея. Эти подозрения с большой точностью были подтверждены серией разнообразных экспериментов в конце XIX века. Итак, во всех инерциальных, по Ньютону, системах отсчёта оказываются справедливыми как основное уравнение динамики Ньютона, так и электродинамические уравнения Максвелла. Это обозначает, что идентичные опыты не только механики, но и электродинамики протекают, наблюдаются и описываются одинаково как в физической лаборатории на берегу, так и в замкнутой каюте корабля, который движется поступательно, равномерно и прямолинейно относительно берега. Это экспериментальный факт. Никаким логическим, формально-математическим приёмом мы не можем обосновать тот факт, что в динамические уравнения движения в инерциальных системах отсчёта не входит скорость движения самих этих инерциальных систем отсчёта относительно других систем отсчёта.

Любой электродинамический процесс в инерциальной системе отсчёта описывается стандартными уравнениями Максвелла. Однако круг практических задач приводит нас к необходимости решения электродинамических задач за пределами инерциальных, по Ньютону, системах отсчёта. Например, найти уравнение электромагнитной волны, источник которой покоится в физической лаборатории на поверхности Земли, относительно системы отсчёта самолёта, летящего относительно этой же лаборатории поступательно, равномерно и прямолинейно. Очевидно, система отсчёта самолёта не будет инерциальной для данного волнового процесса. И данная волна в системе отсчёта самолёта уже не будет описываться стандартными уравнениями Максвелла. Однако, в связи с неверной классификацией систем отсчёта в современной физике, оставалось незамеченным отсутствие недостающих уравнений электродинамики в кинематических неускоренных, по отношению к инерциальным, системах отсчёта. Ниже, дан вывод этих уравнений.

Я исчерпал отведенное мне для доклада время и успел изложить лишь его методологическую часть. Математическую же часть доклада изложена в журнале «Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського» (Выпуск 5/2008 (52). Частина I. С .118-124), который вам роздан [9] (<http://potjekhin.narod.ru/>). Поэтому позвольте мне на этом закончить. Отмечу только, что во второй части моего доклада, представленном в этом сборнике, дан вывод основного закона динамики относительного движения материальной точки в динамических неинерциальных системах отсчёта и уравнений Максвелла в кинематических неускоренных системах отсчёта. Показано, что законы классической физики ковариантны относительно преобразования Галилея во всех кинематических системах отсчёта, причём это преобразование обладает групповыми свойствами. Оптический эффект Доплера получен как следствие уравнений Максвелла и преобразований Галилея в кинематических системах отсчёта.

### Выводы

1. Все движущиеся друг относительно друга системы отсчёта подразделяются на два класса – динамические и кинематические. Если рассматриваемая система материальных частиц движется вместе с системой отсчёта  $\Sigma$ , которая, в свою очередь, движется относительно Гелиоцентрической системы отсчёта  $\Sigma^0$ , то  $\Sigma$  называется динамической системой отсчёта для данного процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении вместе с системой отсчёта  $\Sigma$ , то последняя называется кинематической для данного процесса.

2. Динамические системы отсчёта, в свою очередь, подразделяются на два класса – инерциальные и неинерциальные. Динамические системы отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно сферы удалённых звёзд, следовательно, и друг относительно друга, называются инерциальными системами отсчёта. В каждой из таких систем отсчёта, согласно экспериментальному принципу Галилея-Ньютона, физические законы формулируются и записываются одинаково с точностью до обозначения координат. Уравнения движения физических процессов в инерциальных системах отсчёта никогда не содержат скорость их движения относительно других систем отсчёта. Динамические системы отсчёта, которые движутся ускоренно относительно инерциальных систем отсчёта, называются неинерциальными. Следовательно, все неинерциальные системы отсчёта движутся ускоренно относительно сферы удалённых звёзд.

3. Подразделение кинематических систем отсчёта на неускоренные и ускоренные условно (относительно), поскольку все они равноправны и любая из них может быть принята за неподвижную. Если уравнение движения некоторого процесса относительно одной из систем отсчёта, принятой за неподвижную, известно, то уравнение движения этого же процесса относительно другой кинематической (для данного процесса) системы отсчёта может быть получено кинематическим преобразованием этих систем отсчёта, например, преобразованием Галилея, Лоренца и пр. Уравнение движения физического процесса в кинематической системе отсчёта всегда содержит скорость её движения относительно другой системы отсчёта, принятой за неподвижную.

4. Как в классической механике, так и в классической электродинамике, динамические инерциальные системы отсчёта равноправны в том смысле, что в них выполняется экспериментально установленный динамический принцип относительности Галилея-Ньютона, то есть идентичные физические процессы в каждой из таких систем отсчёта протекают, наблюдаются и описываются одинаково. Являясь обобщением всей совокупности физических экспериментов, динамический принцип относительности Галилея-Ньютона теоретическому, формально-математическому обоснованию не подлежит, являясь, по существу, лишь иной формулировкой первой аксиомы Ньютона, закона инерции.

5. Как в классической механике, так и в классической электродинамике, кинематические системы отсчёта равноправны в том смысле, что уравнения движения одного и того же процесса в них ковариантны, в частности, относительно преобразования Галилея, причём это преобразование, обладает групповыми свойствами. Ковариантность уравнений движения классической физики, записанных в кинематических системах отсчёта, есть формально-математическое следствие кинематических преобразований этих систем отсчёта.

#### Приложение к докладу (задачи)

#### МЕХАНИКА

##### Задача 1.

В основе ОТО Эйнштейна заложен принцип (аксиома) эквивалентности сил инерции и сил гравитации.. Вот один из вариантов объяснения сущности данного принципа самим Эйнштейном..

“Представим себе серьёзного учёного, полагающего, что закон инерции можно подтвердить или опровергнуть прямым экспериментом. Он толкает небольшие шарики на поверхности горизонтального стола, стараясь по возможности исключить трение. Он замечает, что движение становится всё более равномерным по мере того, как стол и шарик становятся всё более гладкими. И вот в момент, когда он готов провозгласить принцип инерции, кто-то вдруг разыгрывает над ним шутку. Наш физик работает в комнате без окон и не имеет никакой связи с внешним миром. Шутник строит какой-то механизм, позволяющий ему быстро вращать всю комнату вокруг оси, проходящей через её центр. Коль скоро вращение началось, наш физик наблюдает новые и неожиданные факты. Шар, только что двигавшийся равномерно, стремится удалиться от центра и возможно ближе подкатиться к стенкам комнаты. Он сам ощущает странную силу, толкающую его к стенке, Он испытывает такое же чувство как человек, находящийся в поезде или автомобиле, который идёт по сильно закруглённому пути или даже больше, как человек на

вращающейся карусели. Все его предыдущие результаты разбиваются вдребезги” (Эйнштейн А. Собрание научн. тр., Т. IV. – М.: Наука, 1965. С. 453).

Вопросы:

а) Действительно ли абсолютно гладкий шарик на абсолютно гладком столе устремиться от оси вращения, если стол начнёт вращаться?

б) При каком дополнительном условии, наблюдатель Эйнштейна в этом опыте будет “испытывать такое же чувство как человек, находящийся на вращающейся карусели”?

Задача 2.

В книге С. Э. Хайкина “Силы инерции и невесомость” (М.: Наука, 1967, с. 299), раздел “Эквивалентность сил инерции сил тяготения” читаем:

“Если космический корабль вращается не только вокруг Земли, но и вокруг одной из осей, проходящих через его центр масс, то силы инерции, обусловленные первым вращением, компенсируются силами притяжения Земли, а силы инерции, обусловленные вторым вращением, никак не компенсируются. Поэтому связанная с корпусом корабля система координат не будет инерциальной. В ней на все тела будет действовать центробежная сила инерции, направленная от оси корабля и равная  $m\omega^2 r$ , где  $m$  – масса тела,  $r$  – его расстояние от оси корабля и  $\omega$  – угловая скорость вращения корпуса корабля. Эта сила инерции заставит все незакреплённые тела двигаться с ускорением к стенкам кабины, параллельным оси вращения и в результате возникших при соприкосновении со стенками деформаций, давить на них с силой  $m\omega^2 r_k$ , где  $r_k$  – радиус кабины”.

Вопросы:

а) Действительно ли при указанных условиях, то есть при вращении космического корабля вокруг одной из своих осей, “сила инерции заставит все незакреплённые тела двигаться с ускорением к стенкам кабины”?

б) При каком дополнительном условии, тело “в результате возникших при соприкосновении со стенками деформаций, будет давить на них с силой  $m\omega^2 r_k$ ”?

Задача 3.

Известно, что эффект Доплера для звука несимметричен относительно того, что движется – источник или приёмник. Если источник движется относительно среды, а приёмник покоится в среде, то эффект Доплера определяется по одной формуле. Если приёмник движется относительно среды, а источник покоится в среде, то эффект Доплера определяется по другой формуле. Наконец, если и источник и приёмник движутся относительно среды одновременно с разными скоростями, то эффект Доплера определяется по третьей формуле (см. любой учебник по курсу общей физики для вузов). Формулы для этого эффекта были получены Доплером ещё в 1843 году, но объяснения физической сущности такой несимметричности нет до настоящего времени. Получите эти формулы исходя из представлений о динамических и кинематических системах отсчёта.

## ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Задача 4

В книге В.А. Угарова “Специальная теория относительности” (М.: Наука, 1969, с. 161), глава “Релятивистская электродинамика”, читаем:

“Поле равномерно движущегося заряда.

Магнитное и электрическое поля равномерно движущегося заряда проще всего получить пересчётом полей от системы  $K'$ , где заряд покоится. Если точечный электрический заряд покоится в системе  $K'$ , то в этой системе мы имеем дело с чисто электростатической задачей и заряд создаёт лишь электрическое поле. Однако если рассматривать тот же самый заряд с точки зрения системы  $K$ , движущееся относительно  $K'$  со скоростью  $V$ , то заряд образует прямолинейный ток. Магнитное поле, создаваемое прямолинейным током, хорошо известно: силовые линии магнитного поля представляют собой окружности, центры которых совпадают с током; плоскости этих окружностей нормальны направлению тока. Формулы преобразования полей приводят именно к этим результатам”.



Пусть система отсчёта  $K$  будет лабораторной системой отсчёта, которая с известной точностью является инерциальной, а система отсчёта  $K'$  является системой отсчёта тележки, которая движется поступательно, равномерно и прямолинейно относительно  $K$ . Покажите, с позиции динамических и кинематических систем отсчёта, что:

А) Если заряд покоится относительно системы  $K'$  (но движется вместе с тележкой относительно системы  $K$ ), то приведенное выше утверждение релятивистской электродинамики о возникновении магнитного поля заряда является верным.

б) Если заряд покоится относительно лабораторной системы отсчёта  $K$ , то, несмотря на относительное движение этого заряда в системе  $K'$ , магнитное поле заряда в этом случае не возникнет (вопреки утверждению релятивистской электродинамики), а будет наблюдаться чисто кулоновское, сферически симметричное электрическое поле, удаляющееся от тележки в сторону, противоположную её движению.

## ОПТИКА

### Задача 5

Вагон движется по рельсам поступательно, равномерно и прямолинейно. Из покоящегося в вагоне ствола, в плоскости, сопровождающей вагон и перпендикулярной к вектору скорости его движения, производится выстрел в направлении, перпендикулярном вектору скорости вагона. Будут ли траектории пули (материальной частицы) и фотона света оставаться в указанной плоскости в предположении их одновременного вылета из ствола? Если нет, то, что отклонится от этой плоскости и в каком направлении – по вектору скорости вагона или против? С учётом правильного ответа на этот вопрос, найдите принципиальную ошибку в теоретическом расчёте времени хода поперечного луча оптического опыта Майкельсона-Морли. Выполняется ли первый закон Ньютона, закон инерции, для фотона? Если нет, то почему?

### **Данный доклад является обобщением и дальнейшим развитием следующих опубликованных работ автора:**

1. Potjekhin A.F. On the Evolution of the Relativity Principle from Copernicus to Einstein // In International Collection of Scientific Papers: Fundamental Open Problems in Science at the Turn of the Millennium. – Hadronic Press (USA), Vol. II, 1999. – P. 627-644.
2. Potjekhin A.F. // Hadronic Journal Supplement (USA), Vol. 14, 1999. – P. 297-313.
3. Потехин А.Ф. Объективные и субъективные аспекты принципа относительности в физике // Тез. докладов ХУП Международных чтений “Великие преобразователи естествознания: А. Пуанкаре” – Минск, 2001. – С. 91 – 94.
4. Потехин А.Ф. Щодо замкнутого кола понять наука-освіта-наука на прикладі фізики. //Науковий вісник Академії наук вищої школи України, №28. – Київ, 2004. – С.112-120.
5. Potjekhin A.F. To the Question of the Principle of Equivalence in the Einstein's GTR. //Gamow Memorial International Conference Dedicated to 100-th Anniversary of Georg Gamow «Astrophysics and Cosmology after Gamow-Theory and Observations». – Odessa, 2004. – P. 126.
6. Потехин А. Ф. Основное уравнение динамики точки в ускоренных системах отсчёта. // Сборник трудов IX международной учебно-методической конференции «Современный физический практикум», Волгоград (Россия) – Москва, 2006. – С. 95
7. Potjekhin A.F. Maxwell Field Equations are Galileo Covariant for all Kinematic Reference Systems. // Proc. Int. Conf. Mathematical Methods in EM Theory (ММЕТ\*08). – Odessa, 2008. – P. 256-258
8. Потехин А. Ф. Ковариантность уравнений движения как аналог принципа относительности Галилея-Ньютона. // Материалы IV Всеукраинской конференции «Актуальные вопросы теор. и прикл. биофизики, физики и химии» – Севастополь, 2008 – С. 75-76.
9. Потехин А.Ф. О классификации систем отсчёта в классической физике Ньютона-Максвелла. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського (Україна). Випуск 5/2008 (52), частина 1 (<http://potjekhin.narod.ru/>). – Кременчук (Україна). 2008. – С. 118-124.