А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
Письма в редакцию
26. 08. 1980.

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОНТУРОВ С ГРАВИТАЦИОННЫМИ ТОКАМИ С УЧЁТОМ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО МОМЕНТА

А. Ф. Потехин
Тамбовский институт химического машиностроения
392620, Тамбов, ул. Ленинградская 1, Россия

Установлено, что между гравитогироскопическим и электромагнитным полями существует аналогия, позволяющая описать гравитогироскопические поля и волны системой уравнений в форме уравнений Максвелла.

Исходя из закона Кулона $F \approx q_1 q_2 / r^2$ и закона всемирного тяготения $F \approx m_1 m_2 / r^2$, введём понятие гравитационного заряда по аналогии с электрическим зарядом q, при этом физический смысл m не меняется – это масса материальной частицы. Введём также понятие гравитационной силы тока аналогичное понятию электрической силы тока, т. е. гравитационной силой тока I будем называть величину гравитационного заряда, протекающего в единицу времени через поперечное сечение условного гравитационного проводника

$$I = vsnm, \tag{1}$$

где v - средняя скорость движения гравитационных частиц в проводнике, s – площадь поперечного сечения проводника, n – объёмная концентрация движущихся в проводнике гравитационных частиц, m – гравитационный заряд (масса) отдельной частицы.

Рассмотрим два замкнутых круговых контура с токами I_1 и I_2, плоскости которых расположены под углом α. Пусть, например, контур 2 неподвижно закреплён, а контур 1 может совершать сферическое движение – рис. 1. Ток I_1 образуется перемещающимися гравитационными зарядами, суммарная масса M_1 которых в контуре 1 равна

$$M_1 = 2\pi R_1 s_1 n_1 m_1, \tag{2}$$

где R_1 – радиус контура 1.

Гравитационные частицы, циркулирующие в контуре 1, образуют вращающийся с угловой скоростью $\overline{\omega}_1$ ротор гироскопа, который циркулирующими гравитационными частицами тока I_2 принуждается прецессировать с угловой скоростью $\overline{\omega}_2$. В таком случае, возникает гироскопический момент

$$\overline{M}_{гир} = J_1 \overline{\omega}_1 \times \overline{\omega}_2, \tag{3}$$

от воздействия которого контур 1 будет прецессировать относительно контура 2 так, чтобы кратчайшим путём совместить вектор $\overline{\omega}_1$ с вектором $\overline{\omega}_2$. Так как момент инерции ротора $J_1 = M_1 R_1^2$, а угловая скорость его вращения $\omega_1 = v_1 / R_1$, то с учётом (1) и (2) из (3) получим

$$M_{гир} = 2\omega_2 I_1 S_1 \sin\alpha \tag{4}$$

где $S_1 = \pi R_1^2$ - площадь контура 1.

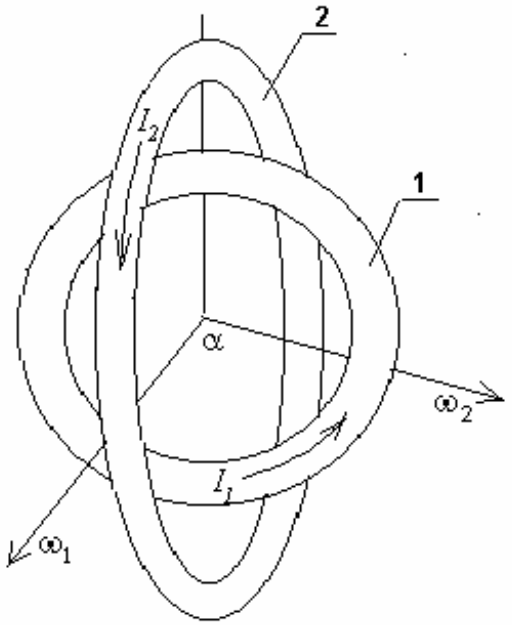


Рис.1 Схема взаимодействия контуров с гравитационными токами

Причиной появления гироскопического момента являются Кориолисовы силы инерции. Кориолисова сила инерции, действующая на гравитационную частицу m_1 контура 1, равна

$$\overline{F}^{кор} = -2m_1\overline{\omega}_2 \times \overline{v}_1, \tag{5}$$

Выделим в контуре 1 элемент Δl. Результирующая сил Кориолиса, действующих на этот элемент, равна

$$\Delta\overline{F}^{кор} = \Delta l s_1 n_1 \overline{F}^{кор},$$

Или, с учётом (5)

$$\Delta\overline{F}^{кор} = -2\Delta l\overline{\omega}_2 \times \overline{I}_1, \tag{6}$$

где $\overline{I}_1 = s_1 n_1 m_1 \overline{v}_1$ - вектор тока.

Обозначим

$$\overline{G}_2 = 2\overline{\omega}_2 \tag{7}$$

и по аналогии с вектором магнитной индукции $\overline{B}$, назовём $\overline{G}$ вектором гироскопической индукции. Тогда выражения (4) – (6) примут вид

$$M_{гир} = G_2 I_1 S_1 \sin\alpha \tag{8}$$

$$\overline{F}^{кор} = m_1\overline{v}_1 \times \overline{G}_2, \tag{9}$$

$$\Delta\overline{F}^{кор} = \Delta l\overline{I}_1 \times \overline{G}_2, \tag{10}$$

Заменяя m на q и $\overline{G}$ на $\overline{B}$ получим известные в классической электродинамике выражения вращающего момента петли с электрическим током в магнитном поле из (8), силы Лоренца из (9) , закона Ампера из (10).

<u>Следствие.</u> Используя установленную аналогию между m и q, $\overline{G}$ и $\overline{B}$ гравитогирскопические поля и волны можно описать уравнениями в форме Максвелла, полученных для электромагнитных полей и волн. Это, прежде всего, позволяет дополнить классическую механику результатами, полученными в классической электродинамике и наоборот. Отсюда, например, следует, что должна существовать гравитогироскопическая индукция, что

орбиты центрально-взаимодействующих материальных частиц (гравитационных, кулоновских и т. п.) стремятся расположиться в параллельных плоскостях и т. д.

1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Краткий курс теоретической физики. Механика. Электродинамика. М.: Наука, 1969.

Примечание Переписку с Редакцией журнала по данной статье см. в разделе ПЕРЕПИСКА настоящего сайта

ФИЗИКА В ШКОЛЕ (СССР)
Регистр №349/80

А.Ф. Потехин

ЗАКОН ОМА КАК СЛЕДСТВИЕ ВТОРОГО ЗАКОНА ГЬЮТОНА

Показано, что установленный экспериментальным путём закон Ома для участка цепи получается аналитически как следствие из второго закона Ньютона.

При изучении законов механического движения в физике учащемуся чрезвычайно “важно понять, что действующие на тело силы определяют его ускорение, т.е. изменение скорости, а не саму скорость движения тела” [1, стр. 89]. Но при изучении электродинамики он встречает совершенно противоположное утверждение о том, что “скорость упорядоченного движения электронов зависит от силы, действующей на них, т.е. от напряжённости поля внутри проводника” [2, стр. 168]… “Под влиянием этой силы электроны приобретают определенную скорость упорядоченного движения” [2, стр. 189]. Это вызывает недоумение пытливого ума учащегося и может поставить в затруднительное положение преподавателя. Поэтому целесообразно, при молекулярно-кинетическом объяснении закона Ома [2, §99], вывести этот закон непосредственно из второго закона Ньютона. Приводим этот вывод.

Рассмотрим участок цилиндрического проводника длиною Δl с поперечным сечением S. На дискретный заряд q этого проводника действует сила $\overline{F} = q\overline{E}$, где $\overline{E}$ есть напряженность электрического поля. Тогда, в соответствии со вторым законом динамики,

$$qE = m\overline{a}, \qquad (1)$$

где m – масса заряда, $\overline{a}$ – ускорение его упорядоченного движения. Так как среднее значение вектора начальной скорости заряда равно нулю [2, стр. 189], то среднее значения скорости направленного движения зарядов в проводнике $\overline{v} = \overline{a}\tau$, откуда

$$\overline{a} = \overline{v}/\tau, \qquad (2)$$

Здесь τ – интервал времени, по истечении которого заряд испытывает очередное столкновение в его хаотическом тепловом движении. Перейдя к модулям и просуммировав (1) по всем зарядам рассматриваемого участка проводника с учётом (2), получим

$$qnS\Delta lE = mnS\Delta lv/\tau, \qquad (3)$$

где n – объёмная концентрация зарядов в проводнике. Так как ΔlE есть разность потенциалов U на концах участка проводника, то с учётом выражения для силы тока $I = qnSv$, (3) примет вид

$$\frac{q^2nS\tau}{\Delta lm}U = I$$

Или, водя обозначение,

$$R = \frac{\Delta lm}{q^2nS\tau}, \qquad (4)$$

Получим

$$\frac{U}{R} = I, \qquad (5)$$

что совпадает с выражением для полученного экспериментальным путём законом Ома, где R есть сопротивление участка цепи

В заключение важно подчеркнуть, что такое решение данного вопроса проявляет диалектическую взаимосвязь различных . на первый взгляд, явлений материального мира.

1. И.К. Кикоин, А.К. Кикоин. Физика 8. М., Просвещение, 1977.
2. Б.Б. Буховцев, Ю.Л. Климонтович, Г.Я. Мякишев. Физика 9. М., Просвещение, 1977.

ОТВЕТ РЕАКЦИИ ЖУРНАЛА

№288 от 18 сентября 1980г.

Уважаемый, Потехин А. Ф.

Редакция возвращает Вам Вашу статью №349/80 и рецензию на неё.

Зам главного редактора (подпись)

Рецензия

На статью Потехина А.Ф. “Закон Ома как следствие второго закона Ньютона”

В статье Потехина А.Ф. повторяется практически дословно вывод закона Ома, данный в стабильном учебном пособии “Физика 9” (с. 188-190).

Кажущийся парадокс, о котором говорит автор в начале статьи, действительно имеет место и его следует разъяснять учащимся. Однако в статье это сделано мало убедительно.

В таком виде публикация статьи не целесообразна.

Рецензент

ОТВЕТ АВТОРА

На Ваш №288 от 18 сентября 1980г.

Учитывая ошибочность рецензии, прошу направить статью “Закон Ома как следствие второго закона Ньютона” на повторное рецензирование академику И.К. Кикоину как одному из авторов школьного учебника по физике.

Рецензент утверждает, что в данной статье “повторяется практически дословно вывод закона Ома, данный в стабильном учебном пособии”.

Возражение.

Логика доказательства закона Ома в учебнике: а) получается выражение для силы тока, куда входит скорость упорядоченного движения электронов; б) утверждается, что “скорость упорядоченного движения электронов зависит от силы” и определяется эта скорость; в) подставляя найденное выражение для скорости в выражение для силы тока, получается закон Ома. При таком выводе закон Ома преподносится как самостоятельный физический закон, а не как другая форма записи второго закона Ньютона.

В предлагаемой статье это доказательство переворачивается с головы на ноги. Логика доказательства в статье следующая: а) записывается выражение для второго закона Ньютона; б) записывается кинематическое выражение ускорения через скорость; в) подставляя найденное выражение для ускорения во второй закон Ньютона, после элементарных преобразований получается закон Ома, но уже как следствие второго закона Ньютона. Такая трактовка вопроса и, соответственно, изменение хода доказательства (по сравнению с приведенным в учебнике) принципиально нова и есть проявление взаимосвязи законов в гравитационных и электрических полях (к проблеме Эйнштейна). Это позволяет устранить в школьных учебниках противоречивость утверждений, о которых говорится в начале статьи.

При направлении статьи на повторное рецензирование, прошу приложить данное возражение.

С уважением, А. Ф. Потехин

Ответа из Редакции журнала на это письмо не последовало.

От автора. Удивительно, но факт. Повсеместно встречается замечание об аналогии закона Кулона в электростатике и закона всемирного тяготения в гравитостатике. Но осталось незамеченным, что при рассмотрении постоянного тока заряженных частиц в электродинамике закон Ома играет такую же роль, как и второй закон Ньютона при рассмотрении движения отдельной частицы в гравитодинамике.

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Статья поступила 9 февраля 1981 г.

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОНТУРОВ С ГРАВИТАЦИОННЫМИ ТОКАМИ С УЧЁТОМ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО МОМЕНТА

А. Ф. Потехин

> “Естественно, что большим шагом вперёд было бы объединение в одну общую картину гравитационного и электромагнитного полей. Тогда была бы достойно завершена эпоха теоретической физики начатая Фарадеем и Максвеллом …и вся физика стала бы замкнутой теорией, подобной общей теории относительности, охватывающей геометрию, кинематику и тяготение” (А. Эйнштейн, [1], стр. 689).

Установлено, что между гравито-гироскопическим и электромагнитным полями существует аналогия, позволяющая описать гравито-гироскопические поля и волны системой уравнений в форме уравнений Максвелла.

Исходя из закона Кулона $F = q_1 q_2 / 4\pi\varepsilon_0 r^2$ и закона всемирного тяготения $F = m_1 m_2 / 4\pi\gamma_0 r^2$, введём понятие гравитационного заряда по аналогии с электрическим зарядом q, при этом физический смысл m не меняется – это масса материальной частицы. Введём также понятие гравитационной силы тока аналогичное понятию электрической силы тока, т. е. гравитационной силой тока I будем называть величину гравитационного заряда, протекающего в единицу времени через поперечное сечение условного гравитационного проводника

$$I = vsnm, \qquad (1)$$

где v - средняя скорость движения гравитационных частиц в проводнике, s – площадь поперечного сечения проводника, n – объёмная концентрация движущихся в проводнике гравитационных частиц, m – гравитационный заряд (масса) отдельной частицы.

Рассмотрим два замкнутых круговых контура с токами I_1 и I_2, плоскости которых расположены под углом α. Пусть, например, контур 2 неподвижно закреплён, а контур 1 может совершать сферическое движение – рис. 1. Ток I_1 образуется перемещающимися гравитационными зарядами, суммарная масса M_1 которых в контуре 1 равна

$$M_1 = 2\pi R_1 s_1 n_1 m_1, \qquad (2)$$

где R_1 – радиус контура 1.

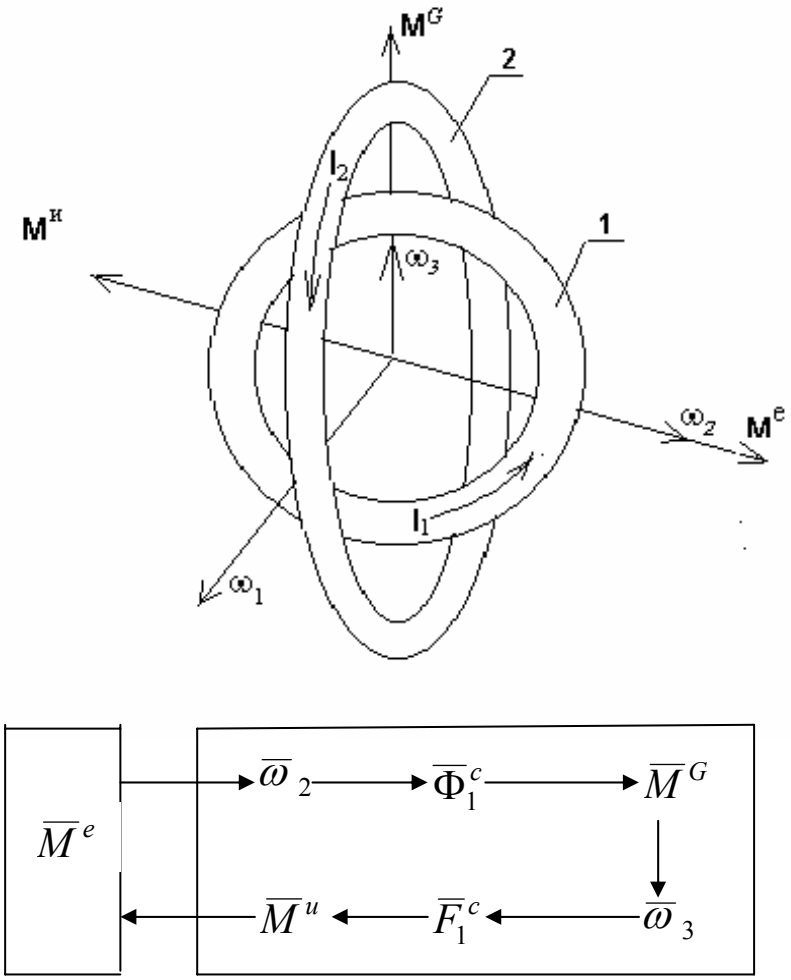


Рис. 1. Схема взаимодействия контуров с гравитационными токами

Гравитационные частицы, циркулирующие в контуре 1, образуют вращающийся с угловой скоростью $\overline{\omega}_1$ ротор гироскопа, который, с учётом релятивистского эффекта (сжатия поля движущегося заряда в направлении его движения – [2], §61), циркулирующими гравитационными частицами тока I_2 принуждается прецессировать внешним моментом $\overline{M}^e$. Под действием данного момента контур 1 должен вращаться с угловой скоростью ω_2 согласно закону

$$\frac{d}{dt}(J_2\omega_2) = M^e.$$

Вследствие этого вращения на каждую из частиц контура 1 будет действовать сила Кориолиса

$$\overline{\Phi}_1^c = -2m_1\overline{\omega}_2 \times \overline{v}_1, \qquad (3)$$

Результирующая сил Кориолиса, действующих на элемент Δl контура, равна

$$\Delta\overline{\Phi}_1^c = \Delta l s_1 n_1 \overline{\Phi}_1^c,$$

Или, с учётом (3)

$$\Delta\overline{\Phi}_1^c = -2\Delta l\overline{\omega}_2 \times \overline{I}_1, \qquad (4)$$

где $\overline{I}_1 = s_1 n_1 m_1 \overline{v}_1$ - вектор тока. В совокупности эти силы образуют гироскопический момент

$$\overline{M}^G = J_1\overline{\omega}_1 \times \overline{\omega}_2,$$

Отсюда, т. к. момент инерции ротора $J_1 = M_1 R^2$, а угловая скорость его вращения $\omega_1 = v_1 / R_1$, с учётом (1) и (2) получим

$$M^G = 2\omega_2 I_1 S_1 \sin\alpha \tag{5}$$

где $S_1 = \pi R_1^2$ - площадь контура 1. От воздействия последнего момента контур 1 будет прецессировать с угловой скоростью $\overline{\omega}_3$, причём

$$\frac{d}{dt}(J_3\omega_3) = M^G.$$

Следовательно, у каждой из частиц контура 1 возникает сила Кориолиса

$$\overline{F}_1^c = -2m_1\overline{\omega}_3 \times \overline{v}_1,$$

А в совокупности создаётся гироскопический момент

$$\overline{M}^u = J_1\overline{\omega}_1 \times \overline{\omega}_2.$$

Этот момент, в соответствии с принципом Даламбера, и уравновешивает внешний момент, т. е.

$$\overline{M}^e + \overline{M}^u = 0,$$

В результате, получаем замкнутую следящую систему, структурная схема которой дана на рис 1. В итоге, в каждый момент времени значение сигнала на выходе $\overline{M}^u(t)$ удерживается близким к значению входного сигнала $\overline{M}^e(t)$, т. е. обеспечивается достаточная малость рассогласованности $\varepsilon = \overline{M}^e + \overline{M}^u$ следящей системы.

Заметим, что согласно принципа Даламбера, динамическое уравнение относительного движения отдельной частицы контура 1 имеет вид

$$\overline{F}_1 + \overline{F}_1^r + \overline{F}_1^e + \overline{F}_1^c + \overline{\Phi}_{1c} = 0,$$

где $\overline{F}_1$ - равнодействующая сила, приложенная к частице, $\overline{F}_1^r$, $\overline{F}_1^e$, $\overline{F}_1^c$, $\overline{\Phi}_1^c$ - соответственно, относительная, переносная и кориолисовы силы инерции частицы. Это уравнение в инерциальной системе отсчёта может быть представлено в форме второго закона Ньютона

$$m w_1^a = \overline{F}_1 + \overline{\Phi}_1^e, \tag{6}$$

где $\overline{w}_1^a = \overline{w}_1^r + \overline{w}_1^e + \overline{w}_1^c$, причём здесь $\overline{w}_1^c = 2\overline{\omega}_3 \times \overline{v}_1$.

Обозначим

$$\overline{G}_2 = 2\overline{\omega}_2 \tag{7}$$

и по аналогии с вектором магнитной индукции $\overline{B}$, назовём $\overline{G}$ вектором гироскопической индукции. Тогда выражения (3) – (6) примут вид

$$\overline{\Phi}_1^c = m_1\overline{v}_1 \times \overline{G}_2, \tag{8}$$

$$\Delta\overline{\Phi}_1^c = \Delta l \overline{I}_1 \times \overline{G}_2, \tag{9}$$

$$M^G = G_2 I_1 S_1 \sin\alpha \tag{10}$$

Заменяя m на q и $\overline{G}$ на $\overline{B}$, получим известные в классической электродинамике выражения магнитной части силы Лоренца из (8), закона Ампера из (9) и вращающего момента, действующего на петлю с электрическим током в магнитном поле, из (10).

Продолжая данную аналогию, получим, что гравито-гироскопическое поле описывается, подобно электромагнитному полю, системой уравнений в форме Максвелла. Эти уравнения дл вакуума в рационализованной системе единиц СИ имеют вид

$$\begin{aligned} &rot\overline{H} = \frac{\partial \overline{G}}{dt}, \\ &rot\overline{G} = g_0(\bar{j} - \gamma_0 \frac{\partial \overline{H}}{dt}), \\ &\partial iv\overline{H} = -\frac{1}{\gamma_0}\rho, \\ &\partial iv\overline{G} = 0. \end{aligned} \qquad (11)$$

Здесь $\overline{H}$ [$м/c^2$] – вектор напряжённости гравитационного поля; $\overline{G}$ [$1/c$] – вектор гироскопической индукции; $\bar{j}$ [$кг/c \cdot м^2$] – вектор плотности гравитационного тока; ρ [$кг/м^3$] объёмная плотность гравитационного заряда; гироскопическая постоянная g_0 [$м/кг$] определяется через гравитационную постоянную γ_0 [$кг \cdot c^2/м^3$], входящую в закон всемирного тяготения, из соотношения $c^2 = 1/\gamma_0 g_0$, где c [$м/c$] – скорость света в вакууме.

Зная ρ и $\bar{j}$, можно определить из системы уравнений (11) для каждой точки пространства соответствующие значения векторов $\overline{H}$ и $\overline{G}$. Если законы Ньютона позволяют описать движение материальной частицы как материальной точки с массой m, то знание $\overline{H}G$ - поля позволяет описать движение материальной частицы, характеризуемой не только массой m, но и собственным вращением – вектором кинетического момента. С учётом (6), материальная частица движется согласно уравнению

$$\frac{d}{dt}(m\bar{v}) = m(\overline{H} + \bar{v} \times \overline{G})$$

При этом она ориентирует свой вектор кинетического момента по направлению вектора $\overline{G}$ в данной точке поля.

Полагая в (11) $\rho = 0$ и $\bar{j} = 0$, получим систему уравнений, описывающих гравито-гироскопические волны

$$\begin{aligned} &rot\overline{H} = \frac{\partial \overline{G}}{dt}, \\ &rot\overline{G} = -\frac{1}{c^2}\frac{\partial \overline{H}}{dt}, \\ &\partial iv\overline{H} = 0, \\ &\partial iv\overline{G} = 0. \end{aligned} \qquad (12)$$

Понятие гравито-гироскопического поля, аналогичное понятию электромагнитного поля, и их единая математическая модель в форме системы уравнений Максвелла, позволяют дополнить классическую механику результатами, полученными в классической электродинамике, и наоборот. Отсюда, например, следует, что должна существовать гравито-гироскопическая индукция, что гравито-гироскопическое поле характеризуется плотностью энергии

$$w_{HG} = \frac{1}{2g_0}(\frac{1}{c^2}H^2 + G^2)$$

и вектором Пойтинга (плотностью потока гравито-гироскопической энергии)

$$\overline{S}_{HG} = \frac{1}{g_0}\overline{H} \times \overline{G},$$

а также плотностью и потоком импульса гравито-гироскопического поля и т. д.

Очевидно, что с позиций теории единого гравито-гироскопического поля может быть понята сущность многих процессов, происходящих во Вселенной.

1. А. Эйнштейн, Собрание научн. тр. Т. I. – М.: Наука, 1965.
2. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Краткий курс теоретической физики. Механика. Электродинамика. М.: Наука, 1969.

Примечание Переписку с Редакцией журнала по данной статье см. в разделе ПЕРЕПИСКА настоящего сайта.

ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
С С С Р
Депонированная рукопись №1114 от 12.03.1982.
Печатается в соответствии с решением Учёного совета
Одесского института инженеров морского флота от 21 января 1982 г.

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВИХРЕЙ И ЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ

А. Ф. Потехин
Одесский институт инженеров морского флота

Рассмотрено развитие принципов относительности и теории гравитации от Ньютона до Эйнштейна как движение о абстрактного к конкретному в направлении учёта всё большего числа взаимосвязей. Показано, что второй закон Ньютона может быть сформулирован в форме закона Ома. Рассмотрено взаимодействие двух круговых контуров с гравитационными токами. Обращено внимание на то, что заряды, циркулирующие в одном контуре, образуют ротор гироскопа, который принуждается прецессировать гравитационными зарядами, циркулирующими во втором контуре. Показано, что удвоенная угловая скорость прецессии, названная вектором гироскопической индукции, есть аналог вектора магнитной индукции, сила Кориолиса есть аналог силы Лоренца и т. д. Получено, что гравитогироскопические поля и волны описываются уравнениями в форме уравнений Максвелла для электромагнитных полей и волн. Это позволяет дополнить классическую механику результатами, полученными в классической электродинамике и наоборот. Объясняются некоторые факты, наблюдаемые в астрономии, и указывается, что экспериментальные методы регистрации гравитогироскопических полей и волн должны базироваться на механизме взаимодействия контуров с гравитационными токами.

1. О развитии принципов относительности и теории гравитации

Классическая теория относительности Галилея Ньютона базируется на следующих исходных принципах, обобщающих первый уровень познания гравитационных взаимодействий.

Принцип 1. *Существуют системы отсчёта, относительно которых изолированная материальная точка движется с постоянной по величине и направлению скоростью*.

Принцип 2. *Законы механического взаимодействия материальных точек не зависят от выбора систем отсчёта, если последние удовлетворяют принципу 1*.

Системы отсчета, удовлетворяющие принципу 1, называются инерциальными. В соответствии с этим принципом, они не могут взаимодействовать с рассматриваемой материальной точкой, иначе точка не была бы изолированной. Очевидно, что если существует одна инерциальная система отсчета, то существует и бесконечное множество таких систем, движущихся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно.

Изолированная материальная точка и инерциальные системы отсчета, рассматриваемые в принципе 1, есть научная абстракция, есть результат отвлечения от ряда взаимодействий в изучаемом явлении, но исторически использование этих понятий оправдано, а формулировка принципа 1 была большим шагом вперед в развитии физики. С позиций теории поля, с учетом (по крайней маре, частично) диалектики взаимосвязи, а также истории практического применения этого принципа, его можно было бы сформулировать так

Пприцип 1А: С*уществует физическое поле, односторонне действующее на множество не взаимодействующих между собой материальных точек таким образом, что из них можно образовать системы отсчета, по отношению к которым произвольная точка множества движется с постоянной по величине и направлению скоростью*.

В такой формулировке данный принцип четко ограничивает область своего практического применения: он применим в том случае, если взаимодействие материальных точек между собой и их влияние на поле значительно меньше, чем влияние поля на механическое состояние этих точек. Так, например, при изучении движения небесных тел, за инерциальную принимают систему отсчета, определяемую декартовой системой координат, начало которой совмещается с одной, а оси направлены на три другие звезды, достаточно удаленные друг от друга. Если рассматривать в этой системе отсчета, например, движение Земли как материальной точки, то, исключая последовательно влияние Солнца и всех тел солнечной системы на движение Земли, мы обнаружим, что у нее, как у изолированной точки, останется только движение с постоянной по величине и направлению скоростью.

В формулировке принципа 1А, движущаяся материальная точка наделена способностью воспринимать действие на нее поля, сохраняя в нем в результате этого действия величину и направление своей скорости, т.е. способность двигаться “по инерции”, характеризуемую качеством, выражаемым понятием “инерционной массы” этой точки. Действующее при этом на нее поле называют “инерционным полем”. Все, что знает об этом поле классическая механика, выражено в принципе 1А.

Из 2-го принципа классической теории относительности следует, что он применим для случая, когда учитывается только взаимодействие некоторой совокупности материальных точек между собой, но при этом не нарушается инерциальность систем отсчета, т.е. точки, движение которых рассматривается, не взаимодействуют с точками, образующими системы отсчета. Качество материальных точек, обуславливающее при этом их взаимодействие между собой, выражается понятием “гравитационной массы”.

Очевидно, что сформулированные выше принципы сами по себе оставляют открытым вопрос о характере взаимодействия материальных точек между собой – дальнодействие и близкодействие. Но если мы признаем механическое взаимодействие между материальными точками, зависящее лишь от их взаимного расстояния (а именно это утверждает закон всемирного тяготения Ньютона), то мы признаем существование в природе дальнодействия, согласно которому, изменение пространственного положения одной из материальных точек мгновенно изменяет механическое состояние других взаимодействующих с ней точек. Нелогичность принципа дальнодействия понимал уже сам Ньютон: “*Предполагать, что тяготение является существенным, неразрывным и врожденным свойством материи, так что тело может действовать на другое на любом расстоянии в пустом пространстве, без посредства чего-либо передавая действие и силу, - это, по – моему, такой абсурд, который не мыслим ни для кого, умеющего достаточно разбираться в философских вопросах*”[1].

Эвристическая ценность трактовки принципов классической механики на языке поля заключается в том, что при этом возникают логически следующие вопросы: какова физическая причина возникновения и существования инерционного поля?; взаимодействуют ли материальные точки между собой непосредственно, или опосредственно, через поле?; если через поле, то какое – через инерционное, или при этом возникает новое поле взаимодействия этих точек? и др. Ответить на подобные вопросы априори невозможно, дать на них ответ может только опыт, практика. И на некоторые вопросы ответы были получены, но только не в классической механике, а в классической электродинамике.

Основополагающие в классической электродинамике работы Фарадея, в конечном итоге, привели к признанию того, что электрические заряды взаимодействуют через создаваемое ими же электромагнитное поле. И т.к. при этом обнаружилось, что это поле не взаимодействует ни с инерционным полем, на с электрически нейтральными материальными точками, то казалось бы, что принцип 1 можно сохранить и в электродинамике (этим мы сохраняем для изучения взаимодействий электрических зарядов те же инерциальные системы отсчета, что и в классической ме-

ханике), с той оговоркой, что рассматриваемые в этом принципе материальные точки должны быть электрически нейтральными. Что же касается принципа 2, то еще следовало доказать, что законы электромагнитного взаимодействия электрических зарядов между собою не зависят от выбора систем отсчета, если последние удовлетворяют принципу 1. А доказать это оказалось не просто. Исторически принцип 2 относительности классической механики отождествлялся с возможностью перехода от координат и времени одной инерциальной системы отсчета к другой при помощи преобразований Галилея. Но законы классической электродинамики, описываемые уравнениями Максвелла, при применении к ним преобразований Галилея получались не инвариантными, т.е. зависели от выбора инерциальной системы отсчета, что требовало отказа от принципа относительности в электродинамике. И тогда Лоренц показал, что инвариантность законов классической электродинамики можно сохранить в различных инерциальных системах отсчета, но для этого надо заменить преобразования Галилея преобразованиями Лоренца. Это спасало принцип относительности в электродинамике, но, как оказалось, требовало таких жертв, что стоило задуматься, надо ли спасать данный принцип. Дело в том, что преобразования Лоренца приводили к отказу от такого фундаментального понятия классической механики, как абсолютное время, на котором покоилась механика Ньютона, выдержавшая более чем двухвековую проверку практикой. "*Либо механика Ньютона с ее принципом относительности Галилея и абсолютным временем, либо электродинамика Максвелла. И тогда: либо принцип относительности, либо абсолютное время. Так собственно встал вопрос*" [2]. И решающее слово здесь сказала практика. Опыты Герца показали, что скорость распространения электромагнитных взаимодействий в вакууме равна скорости света, что совместно с доказательством о поперечности световой волны в опытах с поляризацией света, привело к выводу, что свет есть электромагнитная волна. И вопрос о правомерности принципа относительности в электродинамике свелся к вопросу: "Зависит ли скорость света в инерциальной системе отсчета от скорости движения источника света? ". Или иначе: "Зависит ли скорость света от выбора инерциальной системы отсчета? ". Опыт Майкельсона дал отрицательный ответ на вопрос, т.е. показал, что скорость света во всех инерциальных системах отсчета остается постоянной. Следовательно, принцип относительности надо было признавать и в электродинамике. И т.к. опыт Майкельсона противоречил правилу сложения скоростей, вытекающему, как следствие, из преобразований Галилея, то от этих преобразований на было отказаться и связывать принцип относительности с преобразованиями Лоренца и следующему отсюда другому правилу сложения скоростей. Из нового же правила сложения скоростей следовало, что скорость света есть верхний предел достижимых в природе скоростей механического движения. Но тогда, если оставаться на почве физических фактов, от абсолютного времени надо было отказываться и признавать его относительность, т.е. существование в каждой инерциальной системе отсчета своего времени, когда два события, одновременные в одной из этих систем, оказываются не одновременными в других. Первым, кто это осознал, был молодой А.Эйнштейн, не обремененный грузом традиционных представлений, который, не затрагивая пока принцип 1, сформулировал новые принципы относительности – специальной теории относительности (СТО).

Принцип 2А. "*Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения относятся*".

Принцип 3. "*Каждый луч света движется в "покоящейся" системе координат с определенной скоростью, независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом*" [3], т. 1, с. 10.

Формулировка принципа 3 эквивалентна признанию преобразований Лоренца при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. "*В сформулированной выше дилемме: либо механика, либо электродинамика, и тогда: либо относительность, либо абсолютное время? – Эйнштейн пожертвовал механикой и абсолютным временем*" [2]. Правда, жертва классической механикой была не полной – релятивистской механикой, выросшей из принципов СТО, была лишь ограничена область ее практического применения движениями, происходящими со скоростями, значительно меньшими, чем скорость света. Новые же "*воззрения на пространство и время… возникли на экспериментально-физической основе. В этом их сила. Их тенденция радикаль-*

на. Отныне пространство само по себе и время само по себе должны обратиться в тени, и лишь некоторый вид соединения обоих должны сохранить самостоятельность”[4].

Дальнейшее развитие принципов относительности снова связано с познанием гравитационных взаимодействий, но уже на более глубоком уровне. Выяснив в электродинамике, что – электрические заряды взаимодействуют между собою через создаваемое ими же электромагнитное поле, можно было предположить, что и гравитационные массы взаимодействуют между собою через создаваемое ими гравитационное поле. К такому предположению вела аналогия между законом всемирного тяготения Ньютона и законом Кулона и той ролью, которую играли в этих законах соответственно гравитационные массы и электрические заряды. Правда, аналогия была не полной. В электродинамике закон Кулона был лишь частным случаем более общих законов, выражаемых уравнениями Максвелла. Попытки же получить в гравитодинамике уравнения, подобные уравнениям Максвелла, оказались безуспешными. И тем не менее, предположение о том, что в гравитодинамике действуют те же законы, что и в электродинамике, было сделано – это видно из формулировки принципов СТО. Последние сформулированы не только для электродинамических, но и для любых физических взаимодействий. Косвенным доказательством правомерности такого расширения принципов СТО на гравитационные взаимодействия явилось практическое подтверждение выводов релятивистской механики.

Логика дальнейшего развития принципов относительности требовала охвата воздействием гравитационного поля, созданного данной совокупностью материальных точек, и тех точек, которые образуют инерциальные системы отсчета. Но тогда и этим последним точкам должна быть присуща гравитационная масса. В результате вырисовывалась следующая картина механического мира. Гравитационные массы между собой взаимодействуют через создаваемое ими же гравитационное поле. Инертные массы лишь характеризуют способность материальных точек воспринимать действие на них инерционного поля, природа которого оставалась неизвестной, более того, оно было лишено возможности воспринимать обратное на него действие других материальных объектов, и с точки зрения материалистической диалектики, как нечто, абсолютно первичное, в такой форме своего существования было обречено на гибель. И это инерционное поле, которое исторически выступало вначале как абсолютное пространство Ньютона, а затем как эфир, привело физиков в конце XIX века к непреодолимым, казалось бы, противоречиям. “*Таким образом, возникло одно из самых драматических положений в истории науки… Все наши попытки сделать эфир реальным провалились. Он не обнаружил на своего механического строения, ни абсолютного движения… Все попытки открыть свойства эфира привели к трудностям и противоречиям. После стольких неудач наступает момент, когда следует совершенно забыть об эфире и постараться никогда больше не упоминать о нем… Однако выбрасывание слова из нашего словаря, конечно, не является исцеляющим средством. Наши трудности, в самом деле, слишком серьезны, чтобы их можно было разрешить таким путем!*”[3], т. 4, с. 467.

И снова на помощь пришла практика, опытный факт равенства гравитационной и инертной масс материальной точки, известный еще Галилею и Ньютону. Из принципов СТО Эйнштейн логически пришел к выводу, что это есть не просто случайный факт численного совпадения значений этих масс, а закон природы о тождестве гравитационной и инертной масс. «*До настоящего времени механика констатировала, но не истолковывала это важное положение. Удовлетворительное истолкование можно дать в следующей формуле: в зависимости от обстоятельств одно и то же качество тела проявляется либо как “инерция”, либо как “тяжесть”*»[3], т. 1, с. 563. Но если гравитационная и инертная массы есть одно и то же, то инертные массы (в том числе те, которые образуют инерциальные системы отсчета) подвержены воздействию гравитационного поля, а в таком случае нет никакой необходимости в предположении существования инерционного поля. Или иначе: эквивалентность гравитационной и инертной масс логически вели к эквивалентности гравитационного и инерционного полей. И механическая картина мира диалектически замыкалась сама на себе: движением всех материальных точек управляет гравитационное поле, которое создается этими же движущимися материальными точками. И если мы хотим построить теорию этого мира, то мы должны отказаться от принципа 1 прежде всего, т.к. мы лишились и изолированной материальной точки, и инерциальных систем отсчета: выбор систем отсчета опре-

деляется структурой поля, которое само, в конечном итоге, создается этими системами отсчета. И Эйнштейн создает эту теорию, в основание которой закладывает общий принцип относительности: “*Законы физики должны быть составлены так, чтобы они были справедливы для произвольно движущихся координатных систем*”[3], т. 1, с. 456.

Из всего предыдущего ясно, что развитие принципов относительности связано с развитием познания гравитационных взаимодействий, поэтому, придя к механике, в основании которой лежит общий принцип относительности, мы тем самым пришли к общей теории гравитации. “*В теории Эйнштейна слились воедино теория тяготения и теория пространства-времени и это единство есть наиболее характерная ее черта*”[5].

Но переход от классической теории относительности и гравитации к общей теории относительности и гравитации через электродинамические уравнения Максвелла нельзя признать безупречным в логическом отношении. Такой переход был бы более обоснован, если бы он осуществлялся через гравитодинамические уравнения в форме Максвелла. “*Естественно, что большим шагом вперед было бы объединение в одну общую картину гравитационного и электромагнитного полей. Тогда была бы достойно завершена эпоха теоретической физики, начатая Фарадеем и Максвеллом…и вся физика стала бы замкнутой теорией, подобной общей теории относительности, охватывающей геометрию, кинематику и теорию тяготения*”[3], т. 1, с. 689.

2. Второй закон Ньютона в форме закона Ома

Если классическая электродинамика от точечных зарядов перешла к формулировке базовых законов для токов, то этого нельзя сказать о классической механике, где основополагающими остались законы Ньютона для материальных точек. Вследствие этого, например, второй закон Ньютона в механике пришлось вторично открывать в электродинамике в виде закона Ома. Действительно.

Исходя из закона Кулона $F = q_1 q_2 / 4\pi\varepsilon_0 r^2$ и закона всемирного тяготения $F = m_1 m_2 / 4\pi\gamma_0 r^2$, введем понятие гравитационного заряда m по аналогии с электрическим зарядом q, при этом физический смысл m не изменяется – это масса материальной частицы. Введем также понятие гравитационной силы тока аналогичное электрической силы тока, т.е. гравитационной силой тока I будем называть величину гравитационного заряда, протекающего в единицу времени через поперечное сечение условного гравитационного проводника

$$I = vsnm \tag{1}$$

где v – средняя скорость дрейфового движения гравитационных частиц вдоль проводника, s – площадь поперечного сечения проводника, n – объемная концентрация движущихся в проводнике гравитационных частиц, m - гравитационный заряд (масса) частицы.

Рассмотрим теперь участок цилиндрического гравитационного проводника длиной Δl. Если 2τ - среднее время движения заряда между двумя последовательными соударениями в его хаотическом движении, а H_l - проекция на ось проводника вектора напряженности гравитационного поля, в котором находится проводник то, согласно второму закона Ньютона,

$$\int_0^v d(mv) = \int_0^\tau mH_l dt \tag{2}$$

Ограничиваясь, случаем $m = const$, $H_l = const$, выполнив интегрирование и суммируя данное равенство по всем зарядам рассматриваемого участка, получим

$$\Delta lsnmv = \Delta lsnmH_l \tau \tag{3}$$

Так как ΔlH_l есть разность потенциалов U на концах участка проводника, то с учетом (1) из последнего равенства находим

$$I = mn\tau \frac{s}{\Delta l} U \tag{4}$$

или, как это принято в электродинамике, введя обозначения

$$R = \rho \frac{\Delta l}{s}, \qquad \rho = \frac{1}{mn\tau} \tag{5}$$

где R –сопротивление участка проводника, а ρ – его удельное сопротивление, получим окончательное выражение для второго закона Ньютона в форме закона Ома

$$I = \frac{U}{R} \tag{6}$$

Таким образом, закон всемирного тяготения и второй закон Ньютона играет в классической механике такую же роль, как и закон Кулона и закон Ома в классической электродинамике, а как известно, этого ещё не достаточно, чтобы познать те явления, которые описываются уравнениями Максвелла.

3. О взаимодействии гравитационных вихрей и линейной теории гравитации в форме уравнений Максвелла.

Рассмотрим два замкнутых круговых с гравитационными токами I_1 и I_2, плоскости которых расположены под произвольным углом α – рис. 1. Считаем, что контур 2 неподвижен, а контур 1 может совершать сферическое движение вокруг своего центра. Ток I_1 образуется перемещающимися гравитационными зарядами, суммарная масса M_1 которых в контуре 1 равна

$$M_1 = 2\pi R_1 s_1 n_1 m_1, \tag{7}$$

где R_1 – средний радиус контура 1.

Гравитационные частицы, циркулирующие в контуре 1, образуют вращающийся с угловой скоростью $\overline{\omega}_1$ ротор гироскопа, который, с учетом релятивистского эффекта (сжатия поля движущегося заряда по направлению движения [6]), циркулирующими гравитационными частицами тока I_2 принуждается прецессировать моментом $\overline{M}^e$. Под действием данного момента контур 1 должен вращаться с угловой скоростью $\overline{\omega}_2$, определяемой согласно теоремы об изменении кинетического момента. Вследствие этого вращения на каждую частицу контура 1 будет действовать сила Кориолиса

$$\overline{\Phi}_1^c = -2m_1\overline{\varpi}_2 \times \overline{v}_1. \tag{8}$$

Величина действующих на элемент Δl сил Кориолиса равна

$$\Delta\overline{\Phi}_1^c = \Delta l s_1 n_1 \overline{\Phi}_1^c \tag{9}$$

или, с учетом (8)

$$\Delta\overline{\Phi}_1^c = -2\Delta l s \overline{\varpi}_1 \times \overline{I}_1, \tag{10}$$

где $\overline{I}_1 = \overline{v}_1 s_1 n_1 m_1$ вектор тока. В совокупности же эти силы образуют гироскопический момент

$$\overline{M}^G = I_1\overline{\varpi}_1 \times \overline{\varpi}_2. \tag{11}$$

Отсюда, т.к. момент инерции ротора 1 $J_1 = M_1 R_1^2$, а угловая скорость его вращения $\varpi_1 = \frac{V_1}{R_1}$, с учетом (1), (7) получим

$$M^G = 2\varpi_2 J_1 S_1 \sin\alpha, \tag{12}$$

где $S_1 = \pi R_1^2$ - площадь контура 1. От воздействия последнего момента контур 1 будет прецессировать с угловой скоростью $\overline{\varpi}_3$, также определяемой на основании теоремы об изменении кинетического момента. Следовательно, у каждой из частиц контура 1 возникает сила Кориолиса

$$\overline{F}_1^c = -2m_1\overline{\varpi}_3 \times \overline{v}_{1,} \tag{13}$$

а в совокупности создается гироскопический момент

$$\overline{M}^u = I_1\overline{\varpi}_1 \times \overline{\varpi}_3. \tag{14}$$

Этот момент, в соответствии с принципом Даламбера, и уравновешивает внешний момент, т.е.

$$\overline{M}^e + \overline{M}^u = 0. \tag{15}$$

В результате получаем замкнутую следящую систему, структурная схема которой дана на рис. 1. В ней в каждый момент времени значение сигнала на выходе $\overline{M}^u(t)$ удерживается близким к значению входного сигнала $\overline{M}^e(t)$, т.е. обеспечивается достаточная малость рассогласования $\overline{\varepsilon} = \overline{M}^e + \overline{M}^u$ следящей системы.

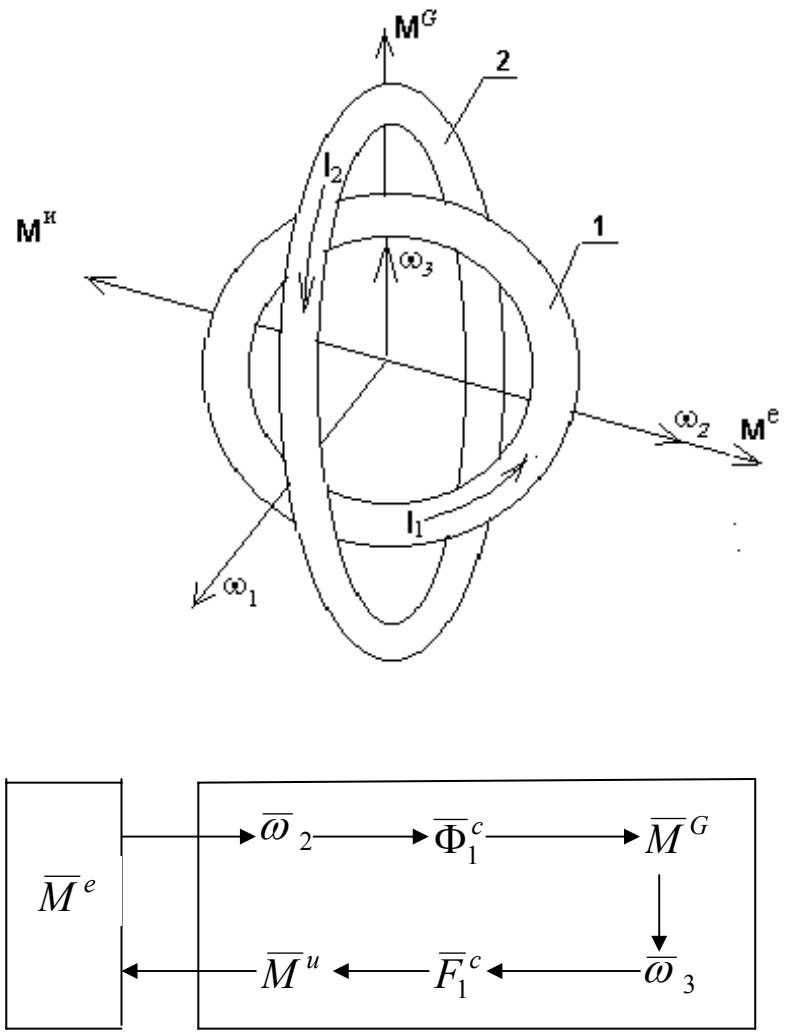


Рис. 1. Схема взаимодействия контуров с гравитационными токами

Заметим, что согласно принципа Даламбера, динамическое уравнение движения отдельной частицы контура 1 имегде $\overline{F}_1$ - равнодействующая сила, приложенная к частице,
ет вид

$$\overline{F}_1 + \overline{F}_1^r + \overline{F}_1^e + \overline{F}_1^c + \overline{\Phi}_1^c = 0, \tag{16}$$

где $\overline{F}_1$ – равнодействующая сила, приложенная к частице, $\overline{F}_1^r, \overline{F}_1^e, \overline{F}_1^c, \overline{\Phi}_1^c$ – соответственно относительная, переносная и Кориолисова силы инерции. Это уравнение может быть представлено в форме второго закона Ньютона

$$m\overline{w}_1^a = \overline{F}_1 + \overline{\Phi}_1^c \tag{17}$$

где $w_1^a = \overline{w}_1^r + \overline{w}_1^e + \overline{w}_1^c$, причем здесь $\overline{w}_1^c = 2\overline{\varpi}_3 \times \overline{v}_1$.

Обозначим

$$\overline{G}_2 = 2\overline{\varpi}_2 \tag{18}$$

и по аналогии с вектором магнитной индукции $\overline{B}$, назовем $\overline{G}$ вектором гироскопической индукции. Тогда выражения (8), (10), (12) примут вид

$$\overline{\Phi}_1^c = m_1 \overline{v}_1 \times \overline{G}_2. \tag{19}$$

$$\Delta\overline{\Phi}_1^c = \Delta l \overline{I}_1 \times \overline{G}_2, \tag{20}$$

$$M^G = G_2 I_1 S_1 \sin\alpha. \tag{21}$$

Заменяя m на q и $\overline{G}$ на $\overline{B}$, получим известные в классической электродинамики выражения для магнитной части силы Лоренца из (19), закона Ампера из (20), вращающегося момента, действующего на петлю с током в магнитном поле из (21).

Продолжая данную аналогию, получим, что гравитогироскопическое поле описывается, подобно электромагнитному полю, системой уравнений в форме Максвелла. Эти уравнения для вакуума в рационализованной системе единиц СИ имеют вид

$$\begin{aligned} rot\overline{H} &= \frac{\partial\overline{G}}{\partial t}; \\ rot\overline{G} &= g_0\left(\overline{j} - \gamma_0 \frac{\partial\overline{H}}{\partial t}\right); \\ div\overline{H} &= -\frac{1}{\gamma_0}\rho_m; \\ div\overline{G} &= 0. \end{aligned} \tag{22}$$

Здесь $\overline{H}$ $м/с^2$ - вектор напряженности гравитационного поля; $\overline{G}$ $1/с$ – вектор гироскопической индукции; j $кг/с.м^2$ – вектор плотности гравитационного тока; ρ_m $кг/м^3$ – объёмная плотность гравитационного заряда, g_0 $м/кг$ – определяется через гравитационную постоянную γ_0 $кгс^2/м^3$, входящую в записанный выше закон всемирного тяготения, из соотношения $c^2 = 1/\gamma_0 g_0$, где c $м/с$ - скорость света в вакууме.

Зная ρ_m и $\overline{j}$, можно определить из системы уравнений (24) для каждой точки пространства соответствующие ей значения векторов $\overline{H}$ и $\overline{G}$. Если законы Ньютона позволяют описать движение материальной частицы как геометрической точки с массой m, то знание $\overline{HG}$ - поля позволяет описать движение материальной частицы, характеризуемой не только массой m, но и собственным вращением – вектором кинетического момента. С учетом (17) и образующихся контуров токов при переносном вращении $\overline{\varpi}_3$ и т.д., взаимодействующих с контуром 2 аналогично описанному выше, получим, что материальная частица движется согласно уравнению

$$\frac{d}{dt}(m\overline{v}) = m(\overline{H} + \overline{v} \times \overline{G}), \tag{23}$$

при этом она стремится сориентировать свой вектор кинетического момента по направлению вектора $\overline{G}$ в данной точке поля.

Полагая в (11) $\overline{j} = 0$, $\rho_m = 0$, получим систему уравнений, списывающих гравитогироскопические волны

$$\begin{aligned} rot\overline{H} &= \frac{\partial\overline{G}}{\partial t}; \\ rot\overline{G} &= -\frac{1}{c^2}\frac{\partial\overline{H}}{\partial t}; \\ div\overline{H} &= 0; \\ div\overline{G} &= 0. \end{aligned} \tag{24}$$

Понятие гравитогироскопического поля, аналогичное понятию электромагнитного поля, и их единая математическая модель в ферме системы уравнений Максвелла, позволяют прежде всего дополнить классическую механику результатами, полученными в классической электродинамике и наоборот. Отсюда, например, следует, что существует гравито-гироскопическая индукция (механизм её возникновения раскрывается при рассмотрении взаимодействия образующейся последовательности контуров с контуром 2, о чем упоминалось выше), что гравито-гироскопическое поле характеризуется плотностью энергии

$$\varpi = \frac{1}{2g_0}\left(\frac{1}{c^2}H^2 + G^2\right) \tag{25}$$

и вектором Пойтинга (плотностью потока гравитогтроскопической энергии)

$$\overline{P} = \frac{1}{g_0}\overline{H} \times \overline{G}, \tag{26}$$

а также соответствующими плотностью и потоком импульса гравитогироскопического поля и т.д.

Рассмотренный механизм взаимодействия контуров с гравитационными токами раскрывает причину образования в процессе эволюции плоских структур галактик и планетных систем, а также причину вполне определенной взаимной ориентации векторов кинетических моментов собственных вращений планет. Здесь следует заметить, что лишь в первом приближении, как это показывает анализ образования момента $\overline{M}^e$ при взаимодействии рассмотренных выше гравитационных вихрей, можно считать, что вектор гироскопической индукции совпадает с осью вращения вихря 2. В более точном приближении следует учитывать их расхождение и взаимную эволюцию, величина которых зависит от параметров обоих вихрей, Это позволяет понять, например, разное наклонение орбит планет Солнечной системы к эклиптике, разный наклон экваторов планет к плоскостям их орбит, несовпадение и эволюцию осей собственного вращения и магнитных осей планет и др.

В заключение отметим, что эксперименты по регистрации гравито-гироскопических волн по своему методу должны базироваться на механизме взаимодействия контуров с гравитационными токами.

Данная работа по частям докладывалась на кафедральном и межвузовском (г. Одесса) научно-методическом семинаре по теоретической механике в течение 1980-1981 годов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вавилов С.И. Исаак Ньютон. Изд. АН СССР, М., 1961, с. 129
2. Александров А.Д. О философском содержании теории относительности. В кн.: Эйнштейн и философские проблемы XX века. М., Наука, 1979, с. 119
3. Эйнштейн А. Собр. научн. трутов в 4-х томах. М., Наука, 1965.
4. Минковский Г. Пространство и время. В кн.: Принцип относительности: сб. работ по спец. теории отн. М., Атомиздат, 1973, с. 181.
5. Фок В.А. Физические принципы теории тяготения Эйнштейна. В кн.: Эйнштейн и философские проблемы XX века. М., Наука, 1979, с. 255.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Краткий курс теоретической физики. Кн. 1, Механика и электродинамика. М., Наука, 1969, с. 203.

Примечание Из первого раздела этой статьи «О развитии принципов относительности и теории гравитации», видно, что автор, развивая векторную теорию гравитации в форме Максвелла, ещё практически полностью находится в плену Теории относительности Эйнштейна, стараясь приспособить свои физические представления под эту теорию. Если в отношении верности ОТО у автора и появились некоторые сомнения, то в правильности СТО он не сомневается. Он ещё целиком находится в плену общепринятого определения инерциальных систем отсчёта как всей совокупности систем отсчёта, движущихся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, а также в плену общепринятого отождествления

принципа относительности Галилея с инвариантностью уравнений движения относительно кинематического преобразования Галилея. Вырваться из поля притяжения к Теории относительности Эйнштейна было труднее, чем приобретя первую, а затем вторую космическую скорость, вырваться из поля тяготения Земли. Чтобы вырваться из поля тяготения Земли, необходимо было преодолеть только внутренне присущее ей гравитационное поле. Но чтобы вырваться из поля Теории относительности Эйнштейна, надо было, кроме преодоления внутренне присущей ей силы притяжения, преодолеть также внешние силы «общепринятого мнения» всей научной общественности с её армией рецензентов, Редколлегиями журналов и научным Олимпом. Вместо первой и второй космической скорости необходимо было пройти три рубежа: «этого не может быть, потому что не может быть вообще», «в этом что-то есть» и «а кто этого не знал раньше?»

ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С С С Р

Депонированная рукопись №4363 - 83 от 08.08.1983

Печатается в соответствии с решением бюро редколлегии журнала

“Известия вузов МВ ССО СССР, серия Физика”

от 4 июля 1983 г.

О ГРАВИТАЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЧАСТИЦ И ТУРБУЛЕНТНОСТИ

А. Ф. Потехин

Одесский институт инженеров морского флота

Рассмотрено движение частицы в постоянном и однородном гироскопическом поле без учёта и с учётом линейной и нелинейной силы сопротивления под действием центральной, постоянной по модулю, вращающейся силы. Выявлена возможность возникновения вихрей даже в слабых гироскопических полях за счёт перекачки энергии от внешнего источника, если возникают соответствующие условия для резонанса.

В соответствии с постньютоновским приближением общей теории относительности [1], на частицу массой m действует сила

$$\overline{P} = m(\overline{H} + \overline{v} \times \overline{G}),$$

где $\overline{H}$ - вектор напряжённости гравитационного поля. Физический смысл вектора $\overline{G}$ выяснен в работе [1], где показано, что это есть аналог вектора магнитной индукции, а по эффектам его проявления он назван вектором гироскопической индукции. Вектора $\overline{H}$ и $\overline{G}$ определяются из системы уравнений в форме Максвелла по плотности гравитационных зарядов и вектору плотности гравитационного тока. В таком случае, гравитационное взаимодействие частиц сводится к взаимодействию частицы с гравито-гироскопическим полем, порождаемым данной системой, и динамическое уравнение движения частицы имеет вид

$$\frac{d\overline{q}}{dt} + \overline{G} \times \overline{q} = \overline{F},$$

где $\overline{q}$ - импульс частицы, $\overline{F}$ - равнодействующая приложенных к ней сил, включая силу $m\overline{H}$.

Для скоростей, значительно меньших скорости света c, а также в слабых гравитационных полях, второй член в левой части уравнения пренебрежимо мал. Но даже в этих случаях иногда данный член необходимо учитывать, например, при рассмотрении движений в течение больших промежутков времени в задачах астрономии. Существует ещё один класс задач, где можно ожидать проявления второго члена – это задачи о вихрях и турбулентности. Покажем, что в таких случаях проявление действия слабого гироскопического поля обуславливается не только временным фактором, но и явлением резонансного характера.

Рассмотрим движение частицы в постоянном и однородном гироскопическом поле $\overline{G} = const$ под действием силы $\overline{F} = \overline{F}_0(\overline{i}\cos\omega t \pm \overline{j}\sin\omega t)$, где $\overline{i}$, $\overline{j}$ - орты осей координат, $\overline{F}_0$ и ω - постоянные. Два знака здесь соответствуют противоположным направлениям вращения силы

Если ось z совместить с направлением поля $\overline{G}$, то при $v \prec c$ уравнения движения частицы в плоскости xy принимают вид

$$\frac{dv_x}{dt} - Gv_y = f_0 \cos\omega t,$$
$$\frac{dv_y}{dt} - Gv_x = \pm f_0 \sin\omega t \qquad (1)$$

где $f_0 = F_0/m$. Общее решение этих уравнений

$$v_x = a\cos(Gt+\alpha) \pm f_0(G \pm \omega)^{-1}\sin\omega t,$$
$$v_y = -a\sin(Gt+\alpha) - f_0(G \pm \omega)^{-1}\cos\omega t$$

a и α - произвольные постоянные. В частности, при $v_{0x} = v_{0y} = 0$, находим с учётом верхнего знака

$$v_x = \frac{2f_0}{G+\omega}\sin\frac{G+\omega}{2}t\cos\frac{G-\omega}{2}t,$$
$$v_y = -\frac{2f_0}{G+\omega}\sin\frac{G+\omega}{2}t\sin\frac{G-\omega}{2}t \qquad (2)$$

и с учётом нижнего знака

$$v_x = \frac{2f_0}{G-\omega}\sin\frac{G-\omega}{2}t\cos\frac{G+\omega}{2}t,$$
$$v_y = -\frac{2f_0}{G-\omega}\sin\frac{G-\omega}{2}t\sin\frac{G+\omega}{2}t. \qquad (3)$$

Полагая в (2) $\omega = G$, имеем:

$$v_x = \frac{f_0}{G}\sin Gt, \quad v_y = 0,$$

и в этом случае частица в плоскости xy совершает прямолинейное гармоническое колебание.

При частоте ω близкой к G для случая (3) получим, что частица будет двигаться с амплитудой скорости

$$A = \left|\frac{2f_0}{G-\omega}\sin\frac{G-\omega}{2}t\right|,$$

медленно меняющейся по гармоническому закону с периодом $\tau = 4\pi/|G-\omega|$, т. е.

$$v_x \approx A\cos Gt; \quad v_y = -A\sin Gt,$$

При этом она вращается почти по окружности с радиусом, изменяющимся от $r_{\min} = 0$ до $r_{\max} = 2f_0 / G|G-\omega|$ - явление, известное в теории колебаний как биение.

Переходя в (3) к пределу при $\omega \to G$ находим

$$v_x = f_0 t\cos Gt; \quad v_y = -f_0 t\sin Gt, \tag{4}$$

- наблюдается явление резонанса, когда скорость частицы растёт пропорционально времени, а её кинетическая энергия растёт пропорционально квадрату времени

$$T = F_0^2 t^2 / \ 2m.$$

Интегрируя (4) ещё раз, получим

$$x = f_0\varphi(t)\sin[Gt + \psi(t)],$$

$$y = f_0\varphi(t)\cos[Gt + \psi(t)],$$

где

$$\varphi(t) = G^{-1}(t^2 + G^{-2})^{\frac{1}{2}}; \quad tq[\psi(t)] = (Gt)^{-1}$$

и в плоскости, перпендикулярной полю $\overline{G}$, частица в резонансном режиме будет разгоняться по раскручивающейся спирали. Таким образом, выявляется возможность возникновения вихрей даже в слабых гироскопических полях за счёт перекачки энергии от внешнего источника, если возникают соответствующие условия для резонанса.

С учётом силы вязкого сопротивления имеем следующие уравнения движения

$$\frac{dv_x}{dt} - Gv_y + nv_x = f_0\cos\omega t,$$

$$\frac{dv_y}{dt} + Gv_x + nv_y = \pm f_0\sin\omega t$$

Для установившегося движения их решения:

$$v_x = \pm\frac{f_0}{\left[n^2 + (G\pm\omega)^2\right]^{1/2}}\sin\omega t(\omega t \pm \beta),$$

$$v_y = -\frac{f_0}{\left[n^2 + (G\pm\omega)^2\right]^{1/2}}\cos\omega t(\omega t \pm \beta) \tag{5}$$

где

$$tg\beta = \frac{n}{|G \pm \omega|}, \qquad ($$

откуда при $\omega = G$, с учётом верхнего знака, получим, что частица вращается по окружности с радиусом $r = f_0 / G\left(n^2 + 4G^2\right)^{\frac{1}{2}}$, в то время как с учётом нижнего знака по окружности $r = f_0 / Gn$, к которой в переходном процессе частица будет приближаться по спирали изнутри или снаружи в зависимости от соотношения между поступающей и рассеиваемой энергией. При вращении частицы по резонансному предельному циклу её кинетическая энергия равна $T = F_0^2 / \ 2mn^2$.

При силе сопротивления , произвольным образом зависящей от скорости,

$$\overline{R} = -\varphi_1(v)\frac{\overline{v}}{v} = -\varphi\ (v)\overline{v},$$

получим следующее уравнения движения

$$\frac{dv_x}{dt} - Gv_y + \left[\varphi\left(v_x^2 + v_y^2\right)^{1/2}\right]v_x = f_0 \cos\omega t,$$

$$\frac{dv_y}{dt} + Gv_x + \left[\varphi\left(v_x^2 + v_y^2\right)^{1/2}\right]v_y = \pm f_0 \sin\omega t,$$

установившуюся часть решения которой ищем в виде (5)

$$v_x = A\sin(\omega t + \beta),$$
$$v_y = B\cos(\omega t + \beta); \quad |A| = |B|$$

Для установившегося движения

$$\varphi\left(v_x^2 + v_y^2\right)^{\frac{1}{2}} = const. \qquad (4.42)$$

и тогда

$$A = \pm\frac{f_0}{\left[\varphi^2(v) + (G \pm \omega)^2\right]^{1/2}},$$

$$B = -\frac{f_0}{\left[\varphi^2(v) + (G \pm \omega)^2\right]^{1/2}}.$$

Возведя в квадрат обе части последних равенств и складывая их, получим амплитудно-частотное уравнение

$$\varphi^2(v)v^2 + (G \pm \omega)^2 v^2 - f_0^2 = 0,$$

которое, например, для турбулентного сопротивления типа $\varphi(v) = -nv^{k-1}$ имеет вид

$$n^2 v^{2k} + (G \pm \omega)^2 v^2 - f_0^2 = 0$$

Решая амплитудно-частотное уравнение, найдём модуль скорости движения частицы по предельному циклу и радиус цикла как функции частоты возмущения ω. В связи с нелинейностью амплитудно-частотного уравнения, решение в общем случае будет неоднозначным, т. е.., одной и той же частоте возмущения могут соответствовать несколько предельных циклов, по которым частица движется с различными скоростями, могут наблюдаться срывы и скачки с одних предельных циклов на другие и т. д. – явления хорошо известны в теории нелинейных колебаний и наблюдаются в турбулентных потоках. В результате, появляется возможность исчезновения одних и зарождения других вихрей, что, в свою очередь, видоизменяет гироскопическое поле, которое, в общем случае, будет неоднородным и нестационарным. Если учесть возможность возмущений случайного характера, то картина существенно усложнится, что в развитом виде воспринимается как хаос, как турбулентность.

1. Ландау Л. Д. и Лифшиц Е. М. Теория поля. М.: Наука, 1973.
2. Потехин А. Ф. О взаимодействии гравитационных вихрей и линейной теории гравитации. Деп. в ВИНИТИ 13.03.82, №1114 – 82.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. ФИЗИКА
1985, №10

ПОТЕХИН А. Ф.

О ДВИЖЕНИИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ В ПОСТНЬЮТОНОВСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Плотность массовой силы гравитационного поля, образуемого движущейся сплошной средой в постньютоновском приближении, согласно [1],[2], равна

$$\overline{F} = \rho(\overline{H} + \overline{v} \times \overline{G}).$$

Учитывая данную силу в уравнении сплошной среды, которую считаем идеальной, получим

$$\frac{d\overline{v}}{dt} = (\overline{H} + \overline{v} \times \overline{G}) + F^* - \frac{1}{\rho} gradp,$$

Или в форме Громека-Лемба

$$\frac{d\overline{v}}{dt} + grad\frac{v^2}{2} + (2\overline{\omega} + \overline{G}) \times \overline{v} = \overline{H} + F^* - \frac{1}{\rho} gradp, \qquad (1)$$

где $\omega = \frac{1}{2} rot\overline{v}$, F^* - плотность других массовых сил, кроме $\overline{F}$, которые считаются заданными, в частности, если рассматривается изолированное движение среды, то F^*=0.

Векторы $\overline{H}$ и $\overline{G}$, определяющие собственное гравитационное поле движущейся среды в постньютоновском приближении, должны удовлетворять системе уравнений

$$\begin{aligned} rot\overline{H} &= \frac{\partial \overline{G}}{\partial t}, \\ div\overline{H} &= -\frac{1}{\gamma_0}\rho, \\ rot\overline{G} &= g_0(\rho\overline{v} - \gamma_0 \frac{\partial \overline{H}}{\partial t}), \\ div\overline{G} &= 0, \end{aligned} \qquad (2)$$

где гравитационная постоянная $\gamma_0 = (4\pi k)^{-1}$, здесь k постоянная тяготения Ньютона, а постоянная g_0 определяется из соотношения $c^2 = (\gamma_0 g_0)^{-1}$, c –скорость света в вакууме.

В результате получаем замкнутую систему 11 уравнений относительно 11 неизвестных: составляющих трёх векторов $\overline{H}$, $\overline{G}$, и $\overline{v}$, а также плотности среды ρ и давления p, причём, как это видно из (1) и третьего уравнения (2), данная система уравнений является нелинейной.

Из системы уравнений (2) получим следующие два уравнения Даламбера, определяющие векторный потенциал $\overline{A}$ и скалярный потенциал φ через скорость и плотность среды

$$\Delta A - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \overline{A}}{\partial t^2} = -g_0\rho\overline{v}, \qquad \Delta A - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \overline{A}}{\partial t^2} = -g_0\rho\overline{v},$$

Если применить калибровочное соотношение Лоренца, которое в данном случае имеет вид

$$div\overline{A} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial\varphi}{dt}.$$

Тогда

$$\overline{G} = rot\overline{A}, \tag{3}$$

$$\overline{H} = -grad\varphi + \frac{\partial\overline{A}}{\partial t} \tag{4}$$

В отличие от классической теории гравитации, когда $\overline{H} = -grad\varphi$, в данном случае, как это следует из (4), напряжённость гравитационного поля $\overline{H}$ не является потенциальным вектором. Поэтому, даже если процесс является баротропным, а внешние силы $\overline{F}$ потенциальны, движение идеальной среды всё же не будет потенциальным, как это имеет место в классической гидромеханике, то есть в ней будут возникать и разрушаться вихри.

Рассмотрим стационарное движение среды, когда уравнения (1), (2) принимают вид

$$(2\overline{\omega} + \overline{G}) \times \overline{v} = -grad\frac{v^2}{2} + \overline{H} + F^* - \frac{1}{\rho}gradp, \tag{5}$$

$$\begin{aligned} &rot\overline{H} = 0, \\ &div\overline{H} = -\frac{1}{\gamma_0}\rho, \\ &rot\overline{G} = g_0\rho\overline{v}, \\ &div\overline{G} = 0. \end{aligned} \tag{6}$$

В этом случае $\overline{H} = -grad\varphi$, и если движение баротропно, то, как известно, можно ввести такую функцию давления P, что $\frac{1}{\rho}gradp = gradP$. Если, кроме того, внешние силы потенциальны, так что $\overline{F} = -grad\Pi$, то (5) принимает вид

$$\overline{\Omega} \times \overline{v} = -grad\Phi, \tag{7}$$

где обозначено

$$\overline{\Omega} = 2\overline{\omega} + \overline{G}, \qquad \Phi = \frac{v^2}{2} + \varphi + \Pi + P.$$

Из (7) прежде всего, следует теорема Бернулли о сохранении Φ вдоль линий тока и вдоль вихревых линий $\overline{\Omega} = rot(\overline{v} + \overline{A})$.

Если взять операцию ротора от обеих частей уравнения (7) и учесть, что в рассматриваемом случае стационарного движения $\partial\overline{\omega}/\partial t = 0$, то получим

$$\frac{\partial\overline{\Omega}}{\partial t} = rot(\overline{\Omega} \times \overline{v}),$$

что совместно с выполняющимся уравнением $div\overline{\Omega} = 0$ есть условие сохранения вектора $\overline{\Omega}$ через поверхность σ

$$\int_\sigma \Omega_n d\sigma = const.$$

Отсюда вытекают [3] несколько следствий:

1) векторные поверхности векторного поля $\overline{\Omega}$ переходят во время движения также в векторные поверхности;
2) векторные линии векторного поля $\overline{\Omega}$ всегда во время движения переходят также в векторные линии;
3) напряжённость любой векторной трубки векторного поля $\overline{\Omega}$ во всё время движения остаётся постоянной.

Таким образом, если внешние массовые силы потенциальны и движение баротропно, то с учётом релятивистских эффектов динамически возможны только такие стационарные движения идеальной сплошной среды, при которых имеет место закон вмороженности вихревых линий $\overline{\Omega} = rot(\overline{v} + \overline{A})$, а не вихревых линий $\overline{\omega} = rot\,\overline{v}$, как это имеет место в классической гидродинамике. Если даже в начальный момент времени среда была незавихрена, т. е. $rot\,\overline{v}_0 = 0$, тот при дальнейшем развитии движения в ней должны возникать вихри, причём такие, что

$$\int_L (\overline{v} + \overline{A})dl = const.$$

В заключение заметим, что учёт вязкости при исследовании движения среды в постньютоновском приближении не представляет принципиальных затруднений [4].

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М., Наука, 1973.
2. Потехин А. Ф. Деп. в ВИНИТИ, рег. №1114-82.
3. Седов Л. И. Механика сплошной среды, т.1. М. Наука, 1973
4. Потехин А. Ф. Деп. в ВИНИТИ, рег. №4363-83.

ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ОБШЕСТВЕННЫМ НАУКАМ (ИНИОН)
АКАДЕМИИ НАУК С С С Р
Депонированная рукопись №27901 от 09.01.1987.

А. Ф Потехин

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ КАК ЕДИНСТВО И БОРЬБА ПРОТИВОПОЛОЖНОСТЕЙ

Наступает юбилейная дата – трёхсотлетие “Математических начал натуральной философии И. Ньютона”. Трехвековая практика производственной деятельности подтвердила, что свод законов Ньютона выхватил то главное, что отражает сущность механической формы движения материи, но выявление диалектической природы этих законов есть этап более позднего синтезирующего познания. Период же Ньютона - это период расчленения явлений природы, познания отдельных сторон этих явлений, рассмотрения их изолированно, “*а в таком случае сменяющееся движения выступают перед нами - одно как причина, другое как следствие*”. [1].

По Ньютону, чтобы вывести тело из состояния покоя (в Галилеевой инерциальной системе отсчёта), необходимо к нему приложить силу, т.е. причина движения – внешнее воздействие. Хотя Ньютон и фиксирует тот факт, что движущееся тело при этом окажет противодействие, но это противодействие в причину движения им не включается, у него действие в противодействие распределены между разными телами: тело В из состояния покоя выводит тело А, действие тела А есть причина движения тела В, но само тело А испытывает при этом противодействие со стороны тела В. Это взаимодействие между действием и противодействием отражено Ньютоном в его третьем законе: “*Действию всегда есть равное противодействие, иначе взаимодействие двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны*“ [2].

Согласно, диалектике [1], [3], [4] и др., чтобы познать сущность любой из форм движения материи, надо раскрыть это движение как единство и борьбу противоположностей, в противном случае “*остаётся в тени САМО движение, его двигательная сила, его мотив (или сей мотив переносится вне –бог, субъект)*” [4].

Механическое движение, как изменение взаимного положения тел в пространстве с течением времени, относится к простейшей форме движения материи и, казалось бы, его-то источник, его мотив должен быть давно уже раскрыт. Но, как показала завершенная лишь Энгельсом дискуссия о двух мерах механического движения [3] и продолжающаяся дискуссия в силах инерции [5], [6], [7] и др., эта простейшая форма движения материи является не столь уж простой, когда вопрос касается её теоретического (в смысле диалектического) осмысления.

Из того, что в третьем законе Ньютона говорится о действии и противодействии, вовсе еще не следует, что именно в нем раскрывается сущность механической формы движения материи как единство и борьба противоположностей. Во-первых, ещё не всякие полярности, противоположности являются противоречиями диалектическими. Во-вторых, выявленные в третьем законе Ньютона противоположности распределены между разными телами, в то время как диалектические противоречия должны быть выявлены в самой сущности именно данного предмета или явления. Ф. Энгельс называет противоречием в строгом (диалектическом) смысле слова отношение противоположностей внутри одного и того же: “*Если вещи присуще противоположность, то эта вещь находится в противоречии с самой себе; то же относится и к выражению этой вещи в мысли*” [3].

Согласно механике Ньютона, Земля есть источник силы, приложенной к Луне, что и является причиной движения последней вокруг Земли, но Луна противодействует с силой, равной ее центробежной силе и это противодействие приложено к Земле. Такая трактовка причины движе-

ния по Ньютону дала основание Энгельсу заметить: “*Ньютоновское притяжение и центробежная сила - пример метафизического мышления: проблема не решена, а только поставлена, и это преподносится как решение*” [1]

В третьих, в конечном итоге, выявленное единство и борьба противоположностей должны раскрыть взаимоотношение движения с его противоположностью - покоем, но третий закон Ньютона не позволяет этого сделать, в нем действие и противодействие относятся к разным телам.

Итак, третий закон Ньютона не раскрывает сущности механического движения ни в единстве противоположностей (в нём они разорваны, хотя и предлагают друг друга), ни в их борьбе (они не отрицают, не снимают, не взаимоисключают друг друга). Но это не исключает того, что выступающие на поверхности в этом законе действие и противодействие являются лишь внешней формой проявления сущностных, глубинных, диалектических противоречий, которые могут быть выявлены лишь в одном и том же объекте, именно в том, который движется.

Рассмотрим второй закон Ньютона - основной закон динамики материальной точки, этой исходной “клеточки”, как носителя диалектических противоречий механической формы движения материи. На первый взгляд, ни о каких противоположностях, ни о каких противоборствующих силах в этом законе речи не идет, в нем устанавливается количественная взаимосвязь между приложенной к материальной точке силой и ее ускорением

$$\overline{F} = m\overline{a}$$

Но если мы, следуя совету Энгельса, чтобы раскрыть диалектическое содержание этого равенства, перенесем все его члены в одну сторону, приравниваем его нулю и затем, как это принято в механике, назовем член $-m\overline{a}$ **,** имеющий размерность силы, силой инерции $\overline{I}$, то получим

$$\overline{F} + \vec{I} = 0,$$

т.е. вместо уравнения движения мы получили уравнение равновесия. Что это, формальный математический прием, или в последнем равенстве скрыто более глубокое физическое содержание второго закона Ньютона? Попытаемся ответить на этот вопрос.

Существует ли в рассматриваемом явлении сила, в точности равная $\overline{I}$? Да существует - это сила противодействия, о которой говорилось выше в третьем законе Ньютона, и приложена эта сила со стороны движущейся с ускорением материальной точки к тому телу, которое воздействует на нее силой $\overline{F}$, по Ньютону, это “*врожденная сила материи как присущая ей способность сопротивления”,* которая *“могла бы быть весьма вразумительно названа силой инерции*” [2]. Следовательно, Ньютон наделил движущийся под действием силы $\overline{F}$ материальную точку способностью сопротивления и сделал это он не по своей прихоти, а очевидно, потому, что это заложено в самой сущности, в самой природе механического движения. Но диалектика Ф. Энгельса “врождённой силой материи*”* не проведёшь, и он делает заметку: “*Сила. Подвергнуть также анализу и отрицательную сторону - сопротивление, которое противопоставляется перенесению движения*” [1].

Начнем такой анализ с вопросов: откуда точка “знает”, что ей надо сопротивляться, откуда она “знает” какова ее масса и каково у нее в каждый момент времени ускорение, наконец, как она создает противодействие, в точности равное $-m\overline{a}$? На все эти вопросы у Ньютона один ответ: “*Это врожденная сила материи как присущая ей способность сопротивления*”. Сегодня на эти вопросы отвечают - таково свойство материи, что по сути одно и то же, что и у Ньютона. Неужели за трехсотлетний период развития науки мы не продвинулись в решении этих вопросов? Согласиться с приведенными выше ответами, значит отказаться от поиска научного ответа и, в конечном итоге, приписать материальной точке сознательный образ действия. Поэтому продолжим анализ.

Каково минимальное число материальных объектов задействовано во втором законе Ньютона? На первый взгляд два - движущаяся материальная частица и то тело, которое является источником приложенной к ней силы $\overline{F}$. Но это не так, есть еще один, хотя и неявный, материальный объект – тот, который Ньютон назвал абсолютным пространством. Это абсолютное пространство наделяется им вполне конкретными физическими свойствами, которые им зафиксированы, прежде всего, в первом законе, а именно, свойства этого пространства таковы, что в нём “*всякое*

тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние" [2]. А как проявляются свойства "абсолютного пространства", если тело "*понуждается приложенными силами изменить это состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения* " , т. е. если у тела появляется ускорение? Ньютон и этот вопрос не оставляет без внимания и поясняет эффект проявления свойств "абсолютного пространства" в этом случае на опыте с вращающимся ведром с водой. По этому поводу Эйнштейн заметил: "*В динамике Ньютона пространство обладает реальностью - в противоположность геометрии и кинематике*" [8].

Ньютон формулирует свои динамические законы не для пустоты, а для того случая, когда частица движется в реальном, физическом "абсолютном пространстве", или, в современной терминологии, в том физическом поле, которое создаётся всеми материальными объектами окружающего нас мира. Тогда все становится на свои места: во втором законе Ньютона присутствует три материальных объекта - тело, которое является источником силы $\overline{F}$**,** движущаяся материальная частица, к которой приложена сила $\overline{F}$**,** и физическое поле, в котором движется частица. Далее события развиваются так: от действия силы $\overline{F}$ у частицы появляется ускорение, ускоренно движущаяся частица взаимодействует с полем. Закон этого взаимодействия таков, что появляется приложенная к этой частице сила инерции $\overline{I}$, которая опосредствованно, через движущуюся материальную частицу, воспринимается как противодействие тому телу, которое является источником силы $\overline{F}$. И здесь-то возникает два криминальных, с точки зрения искреннего сторонника Ньютона, вопроса.

Вопрос первый: по третьему закону Ньютона сила - понятие парное. Если сила инерции $\overline{I}$ приложена к движущейся с ускорением частице, то где ее сила-двойник и к чему эта сила-двойник приложена?

Вопрос второй: если к ускоренно движущейся материальной частице приложена и сила-действие $\overline{F}$ и сила противодействие $\overline{I}$, при этом их сумма равна нулю, то как может частица двигаться с ускорением, если приложенная к ней система сил уравновешена, это же противоречит и первому, и второму законам Ньютона? То есть, искренний сторонник Ньютона спрашивает: "Так что же получается, вместо диалектического осмысления законов Ньютона мы пришли к тому, что они нарушаются, ошибочны, не действуют?" Вовсе нет, и не нарушаются , и не ошибочны, и действуют, но действуют диалектически.

Ответ на первый вопрос таков. Понятие силы имеет ограниченную область применения, именно там, где речь идет о механическом взаимодействии тел, т.е. при переходе механической формы движения материи непосредственно в механическую же. Но понятие силы теряет свой смысл, когда речь идет о других, немеханических видах взаимодействия, т.е. при переходе механической формы движения в другие формы движения материи, как это имеет место при взаимодействии тела с полем. Если для выражения действия поля на тело все же в механике (физике) понятие силы применяют (такова, например, электромагнитная сила Лоренца), то обратное не имеет места, бессмысленно говорить о силе, приложенной к полю. При взаимодействии тела и поля сила уже не является универсальной мерой взаимодействия этих двух различных видов материи - вещества и поля. Это взаимодействие можно и нужно рассматривать с позиции законов сохранения уже других мер движения материи, в данном случае – энергии. Поэтому не возникает никаких дискуссий, когда работу сил инерции $\overline{I}$, выраженную через кинетическую энергию тела, складывают с работой приложенных к нему сил и в результате получают ноль. С учетом этого становится понятным замечание Энгельса к наброску плана работы по диалектике природы: "*Механика: точкой отправления для нее была инерция, являющаяся лишь отрицательным выражением неуничтожимости движения*" [1].

Теперь разрешим то противоречие, о котором говорится во втором вопросе. Уже сама постановка говорит о том, что задавший вопрос мыслит себе только две возможности, взаимоисключающие друг друга: приложенная к материальной частице система сил или уравновешена, и тогда, в соответствии с первым законом Ньютона, частица покоится либо движется равномерно и прямолинейно, или не уравновешенна и тогда эта частица движется ускоренно согласно второму

закону Ньютона, третьего не дано. Но на самом деле реализуется именно этот третий вариант, противоречивый по самой своей сущности отражаемого явления движения - эта система сил одновременно и уравновешена и не уравновешена, ибо "*движение само есть противоречие: уже простое механическое перемещение может осуществиться лишь в силу того, что тело в один и тот же момент времени находится в данном месте и одновременно - в другом, что оно находится в одном и том же месте, и не находится в нем. А постоянной возникновение и одновременно разрешение этого противоречия и есть именно движение*" [3]

Итак, приложенная сила $\overline{F}$ вызывает ускоренное движение частицы, противодействующая сила инерции $\overline{I}$ отрицает это движение (с некоторым опозданием, ввиду конечности скорости распространения любых взаимодействий) равновесием сил, но само это равновесие отрицается, снимается (опять-таки с некоторым запаздыванием) неуравновешенностью и мы приходим к исходному пункту, но на новом уровне, когда у частицы уже другая скорость, отличная от ее значения в предшествующий момент и т.д. – и все это лишь огрубленная схема непрерывного процесса движения, которая может быть понята лишь с позиции диалектики прерывного и непрерывного. В этом процессе движения бессмысленно ставить вопрос о том, какая из сил $\overline{F}$ и $\overline{I}$ является первичной и какая вторичной, т.к., "*с какой стороны мы не подошли бы к рассматриваемому вопросу, различие между первичным и вторичным процессами остается чисто формальным и, как правило, снова снимается в их взаимодействии между собой. Если это забывают, если рассматривают подобные относительные противоположности как нечто абсолютное, то, в конце концов, неизбежно запутываются... в безнадежных противоречиях*" [1]. Например, при движении планет источником и силы действия $\overline{F}$ (тяготение Солнца) и силы противодействия $\overline{I}$ (центробежная сила инерции) является одно и то же физическое (гравитационное) поле и нельзя выделить, какая из этих сил первична и какая вторична. Эта эквивалентность сил тяготения и сил инерции была взята Эйнштейном в качестве исходной посылки его общей теории относительности и привела к теории гравитации, в которой понятия силы тяготения вообще и силы инерции в, частности, полностью исчезает. Поскольку понятие силы, как меры взаимодействия тел, здесь полностью утрачивает свой смысл, то о таком движении говорят как о свободном или естественном движении частицы в поле по геодезической линии и связывают данное состояние с понятием невесомости. Заметим, что это движение по геодезической не есть движение по инерции в смысле Ньютона, т.к. последнее определяется как движение изолированной от всяких взаимодействий частицы.

Итак, подведём общий итог. Три закона Ньютона в совокупности отражают диалектику механического движения материальной частицы в реальном физическом поле. Сама сущность этой формы движения материи, её источник, её мотив, её причина раскрываются как единство и борьба противоположностей во втором законе Ньютона, причем особенно наглядно – записанном в форме $\overline{F} + \vec{I} = 0$, т.е. в форме принципа Даламбера, в форме равновесия, но последнее обстоятельство нас не должно смущать, ибо "*всякое равновесие либо является лишь относительным покоем, либо само представляет собой движение в равновесии, каким, например, является движение планет*" [3].

1. Энгельс Ф. Диалектика природы. – М.: Политиздат, 1982. – 400с.
2. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М.. Наука, 1989. – 688с.
3. Энгельс Ф. Анти-Дюринг. – М.: Политиздат, 1977. – 484с.
4. Ленин В. И. Полн. собр. Соч., т. 29, с.317.
5. Ишлинский Ф. Ю. Классическая механика и силы инерции. – М.. Наука, 1987. – 320с.
6. Седов Л. И. Об основных моделях в механике. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992 – 152с.
7. Хайкин С. Э. Силы инерции и невесомость. – М.. Наука, 1967. – 312с.
8. Эйнштейн А. Собрание научн. тр. – М.. Наука, 1965. – Т. 2, 878с.

ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С С С Р

Депонированная рукопись №7464 - В88 от 22.09.1988

Печатается в соответствии с решением бюро редколлегии журнала

“Известия вузов МВ ССО СССР, серия Физика”

от 19 сентября1988 г.

О ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ СРЕДЫ В ПОСТНЬЮТОНОВСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

А. Ф. Потехин

Одесский институт инженеров морского флота

Рассматривается движение сплошной электропроводящей среды в электромагнитном и гравито-гироскопическом полях, создаваемых этой же средой, что в первом приближении (без учёта термодинамических эффектов) отражает процессы в вихрях «торнадо».

В связи с неоднозначностью решения в зависимости от координатных условий и известной проблемой энергии в ОТО Эйнштейна, в последние годы как в отечественной, так и в зарубежной литературе всё большее внимание уделяется биметрическим теориям гравитации, в обоснование которых приводятся веские аргументы [1]. В [2] развивается такой подход в случае, когда в качестве фоновой выбрана плоская метрика псевдоэвклидового пространства-времени, а гравитационное поле считается полем в духе Фарадея-Максвелла с его обычными свойствами носителя энергии-импульса. В [3] авторы считают, что такой подход согласуется с ОТО Эйнштейна “и полевая теория тяготения с понятиями ньютоновского потенциала, гравимагнитного поля и т. п. будет полезна для астрономии и других приложений”.

Попытка обосновать теорию гравитации в форме Максвелла предпринималась неоднократно, [4]. В [5] показано, что если учесть Лоренцово сжатие поля в направлении его движения, то из механизма взаимодействия гравитационных вихрей следует, с точностью до обозначения, но с учётом других знаков в уравнениях, теория гравитации в форме Максвелла. Гравитационное поле в таком постньютоновском приближении характеризуется, подобно электромагнитному, двумя векторами и, в соответствии с их физическим смыслом, представляется, что название гравитогироскопическое (а не гравимагнитное) поле полнее отражает его сущность.

Представляет дальнейший интерес развитие работы [6] в направлении учёта электропроводности среды и влияния такой движущейся среды на компоненты не только электромагнитного, но и гравитогироскопического полей, а также обобщение на этот случай известных в классической гидромеханике теорем о вихрях.

Рассмотрим среду, для которой уравнения её собственного электромагнитного поля имеют вид

$$rot\overline{E} = -\frac{\partial B}{\partial t},$$
$$div\overline{E} = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0}\rho_q, \qquad (1)$$
$$rot\overline{B} = \mu_0\mu(\bar{j}_q + \rho_q\overline{v} + \varepsilon_0\varepsilon\frac{\partial\overline{E}}{\partial t}),$$
$$div\overline{B} = 0.$$

и аналогичные уравнения гравито-гироскопического поля

$$rot\overline{H} = \frac{\partial\overline{G}}{\partial t},$$
$$div\overline{H} = -\frac{1}{\gamma_0}\rho_m, \qquad (2)$$
$$rot\overline{G} = g_0 g(\rho_m\overline{v} - \gamma_0\frac{\partial\overline{H}}{\partial t}),$$
$$div\overline{G} = 0,$$

где ρ_q и ρ_m – объёмные плотности соответственно электрического и гравитационного зарядов, $\overline{E}$ и $\overline{H}$ – векторы напряжённостей, $\overline{B}$ и $\overline{G}$ – векторы магнитной и гироскопической индукции соответственно электромагнитного и гравитогироскопического полей, образуемых рассматриваемой движущейся средой; ε_0 γ_0 – электрическая и гравитационная постоянные; μ_0 и g_0 – магнитная и гироскопическая постоянные; ε и μ – электрическая и магнитная проницаемость среды; g – гироскопическая проницаемость среды.

При составлении уравнений (2) учтено, что отсутствие а природе гравитационных зарядов двух знаков исключает возможность возникновения гравитационного тока проводимости и гравитационной поляризации среды, но ориентирующее действие $\overline{G}$ -поля приводит к тому, что первоначально хаотическое распределение направлений кинетических моментов микрочастиц упорядочивается [5], поэтому $g \neq 1$.

Возьмём от обеих частей третьего уравнения системы (2) операцию дивергенции, тогда с учётом второго уравнения этой же системы, получим

$$\frac{\partial\rho_m}{\partial t} + div(\rho_m\overline{v}) = 0,$$

т. е. известное в гидромеханике уравнение неразрывности среды содержится в системе (2) как следствие. С учётом этого, запишем уравнение Эйлера движения идеальной, о электропроводящей среды

$$\rho_m\frac{d\overline{v}}{dt} = \rho_m(\overline{H} + \overline{v}\times\overline{G}) + \bar{j}_q\times\overline{B} + \rho_q(\overline{E} + \overline{v}\times\overline{B}) - gradp + \rho_m\overline{F} \qquad (3)$$

Здесь $\rho_m \overline{F}$ – плотность объёмных внешних сил.

К записанным уравнениям необходимо присоединить закон Ома для электрического тока проводимости

$$\bar{j}_q = \delta(\overline{E} + \bar{v} \times \overline{B}), \tag{4}$$

уравнение состояния

$$p = p(\rho_m, T), \tag{5}$$

уравнение сохранения энтропии, выражающее адиабатичность движения при отсутствии диссипации

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \bar{v} grad s = 0 \tag{6}$$

с соотношение

$$\frac{\rho_q}{\rho_m} = \frac{\rho_q^0}{\rho_m^0}, \tag{7}$$

Которое есть следствие для релятивистских плотностей зарядов

$$\rho_q = \rho_q^0 (1 - \frac{v^2}{c^2})^{-1/2}, \tag{4}$$

$$\rho_m = \rho_m^0 (1 - \frac{v^2}{c^2})^{-1/2},$$

где ρ_q^0, ρ_m^0 – плотности электрического и гравитационного зарядов в сопутствующей системе отсчёта, в которой эти заряды покоятся.

В результате имеем замкнутую систему уравнений (1) – (7) относительно 23 неизвестных: составляющих векторов $\overline{E}$, $\overline{B}$, $\overline{H}$, $\overline{G}$, $\bar{j}_q$, $\bar{v}$, а также скаляров ρ_q, ρ_m, T, p, s.

Обычным путём находим элементарную работу, произведенную силами полей по перемещению конечного объёма среды

$$dw = -d\int_V u_q dv + d\int_V u_m dv,$$

где

$$u_q = \frac{1}{2}(\varepsilon_0 \varepsilon E^2 + \frac{1}{\mu_0 \mu} B^2),$$

$$u_m = \frac{1}{2}(\gamma_0 H^2 + \frac{1}{g_0 g} G^2)$$

– объёмные плотности энергии соответственно электромагнитного и гравито-гироскопического полей. Получили, что работа сил электрического и гравитационного полей имеют разные знаки, Этот вывод вполне естественен и соответствует тому экспериментальному факту, что два одноимённые электрические заряда отталкиваются, а гравитационные – притягиваются. Этим исчер-

пывается проблема – [4] отрицательности энергии гравитационного поля[1], моделируемого уравнениями Максвелла.. При создании такой модели [5] учтены следующие факты: 1) при взаимодействии двух плоских контуров с циркулирующими по ним электрическими зарядами, возникает вращающий момент лоренцовых сил, стремящийся кратчайшим путём совместить плоскости этих контуров так, чтобы вектора магнитного (и механического) моментов совпадали; 2) результаты предыдущего опыта не изменятся, если ток проводимости заменить на конвективный ток; 3) если свободный гироскоп принуждать прецессировать вокруг некоторой оси, то при этом возникает вращающий момент кориолисовых сил инерции, стремящийся кратчайшим путём совместить ось собственного вращения гироскопа с осью принудительной прецессии. Этих экспериментальных фактов, с учётом релятивистского сжатия поля в направлении движения заряда, достаточно, чтобы построить механизм взаимодействия двух заряженных вращающихся колец безотносительно к природе их зарядов – электрические или гравитационные. От природы этих зарядов зависит лишь величина внешнего момента воздействия (через соответствующие поля) – одного кольца на другое [5]. В итоге выясняется, что движущийся гравитационный заряд создаёт гироскопическое поле того же направления, что и магнитное поле положительного электрического заряда. Если ещё учесть, что линии гравитационного поля $\overline{H}$ сходятся к гравитационному заряду, а линии электрического поля $\overline{E}$ расходятся от положительного электрического заряда, то уравнения Максвелла гравито-гироскопического поля получаются из соответствующих уравнений электромагнитного поля заменой $\overline{B}$ на $\overline{G}$ и $\overline{E}$ на $-\overline{H}$. Заметим, что уравнения гравитодинамики в форме Максвелла можно получить и не используя аналогии с электродинамикой, т. к., с учётом раскрытого механизма взаимодействия гравитационных вихрей, у нас в качестве исходных оказываются те же предпосылки, которые были у Максвелла при построении им теории электромагнетизма.

При попытках формального перехода от электродинамических уравнений к гравитодинамическим уравнениям в форме Максвелла, например [4], сменой знаков у констант ε_0 и μ_0, во первых, получаются ошибочные уравнения $\overline{HG}$-поля, и, во-вторых, физический смысл вектора $\overline{G}$ оставался непонятным. Если же основываться на физически содержательной аналогии, то удаётся не только обосновать правильные уравнения гравитодинамики в форме Максвелла, но и выяснить физический смысл компоненты поля $\overline{G}$ – это вектор, определяющий угловую скорость, с которой принуждается прецессировать пробный точечный гироскоп, внесенный в $\overline{G}$-поле.

Из системы уравнений (1) определим скалярный φ_q и векторный A_q потенциалы электромагнитного поля, а из (2) – скалярный φ_m и векторный A_m потенциалы гравитогироскопического поля. Тогда

$$\overline{E} = -grad\varphi_q - \frac{\partial A_q}{\partial t}, \qquad \overline{B} = rotA_q,$$

$$\overline{H} = -grad\varphi_m + \frac{\partial A_m}{\partial t}, \qquad \overline{G} = rotA_m,$$

---

[1] Не следует путать энергию u_q, u_m как субстанциальную характеристику соответственно электромагнитного и гравито-гироскопического поля, которая всегда положительна (также как и субстанциальная характеристика вещества – масса), с потенциальной энергией этих полей которая может быть как положительной, так и отрицательной. От Максвелла до наших дней путаница в этих двух одинаковых по названию, но принципиально разных по существу понятиях, являлась основным аргументом против теории гравитации в форме, аналогичной теории электромагнитного поля.

В обоих случаях использованы калибровочные соотношения

$$divA_q = -\frac{1}{c^2}\frac{\partial \varphi_q}{\partial t},$$

$$divA_m = \frac{1}{c^2}\frac{\partial \varphi_m}{\partial t}.$$

Перепишем (3) в форме Громека-Лемба, ограничившись конвективным электрическим током

$$\frac{\partial \overline{v}}{\partial t} + (2\overline{\omega} + \overline{G} + \frac{\rho_q}{\rho_m}\overline{B}) \times \overline{v} = \frac{\rho_q}{\rho_m}\overline{E} + \overline{H} - grad\frac{v^2}{2} - \frac{1}{\rho_m}gradp + \overline{F},$$

которое, в случае стационарного движения среды, в предположении баротропности процесса $\rho_m^{-1} gradp = gradP$ и потенциальности внешних сил, принимает вид

$$\overline{\Omega} \times \overline{v} = -grad\overline{\Phi}, \qquad (8)$$

где обозначено

$$\overline{\Omega} = 2\overline{\omega} + \overline{G} + \frac{\rho_{\mathrm{q}}^0}{\rho_{\mathrm{m}}^0}\overline{B},$$

$$\Phi = \frac{v^2}{2} + \varphi_m + \frac{\rho_{\mathrm{q}}^0}{\rho_{\mathrm{m}}^0}\varphi_q + P + \Pi,$$

$$\overline{\omega} = \frac{1}{2}rot\overline{v}.$$

Из (8) получаем обобщение теоремы Бернулли о сохранении Φ вдоль линий тока и вдоль вихревых линий тока $\overline{\Omega}$, а также вывод о сохранении напряжённости любой векторной трубки векторного поля $\overline{\Omega}$

$$\oint(\overline{v} + A_m + \frac{\rho_q}{\rho_m}\overline{A}_q)dl = const$$

Если даже в начальный момент времени среда была незавихрена, то после возникновения движения в ней должны возникнуть вихри, порождаемые векторными потенциалами как электромагнитного, так и гравитогироскопического полей, выделить экспериментально вклад каждого из этих полей в завихренность электропроводящей среды, очевидно, сложно. Поскольку каждый электрический заряд имеет массу, то векторный потенциал $\overline{A}_m$ вызовет движение, которое может быть истолковано как результат действия векторного потенциала $\overline{A}_q$ - обстоятельство, на которое ещё в 20-е годы обратил внимание А. Эйнштейн: “Скорее похоже на то, как будто магнитные поля возникают при вращении нейтральных масс. Подобное порождение полей не могут предсказать ни теория Максвелла в её первоначальном виде, ни теория Максвелла, обобщённая в смысле общей теории относительности” [7].

В заключение заметим, что наблюдаемое в природе образование вихрей струйными потоками в нейтральных средах атмосферы и океана, влияние $\overline{G}$-поля, индуцируемого вихрями Солнца, на земные процессы и др. подобные явления указывают на то, что относительная гироскопическая проницаемость g сред может достигать весьма больших значений.

1. Иваненко Д. Д., Сарданашвили Г. А. Гравитация. Киев, Наукова думка, 1985, с. 81-88.
2. Логунов А. А. Лекции по теории относительности и гравитации. М., Изд-во МГУ, 1985.
3. Зельдович Я. Б., Грищук Л. П. //УФН, т.49, вып. 4, 1986.
4. Бриллюэн Л. Новый взгляд на теорию относительности. М. ИЛ., 1972, с. 134-137.
5. Потехин А. Ф. // Деп в ВИНИТИ, рег. №1114-82
6. Потехин А. Ф. //Известия вузов. Физика, 1985, 10.
7. Эйнштейн А. Собр. научн. тр. М., Наука, 1966, т. 2, с. 159

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. ФИЗИКА
1991, №5

О ДВИЖЕНИИ ЧАСТИЦЫ В ПОЛЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТЕЛА В ПОСТНЬЮТОНОВСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

ПОТЕХИН А. Ф.

Сравниваются компоненты гравитационного поля в постньютоновском приближении в геометризованной (тензорной Эйнштейна) и полевой (векторной в форме Максвелла) теориях гравитации. Выявлено принципиальное отличие этих полей по движению пробной частицы. Экспериментально обнаружена возможность качественной регистрации вихревой компоненты гравитационного поля. Обоснована схема альтернативного эксперимента.

Введение.

Известно, что попытки согласовать электродинамику и СТО с классической теорией гравитации Ньютона вначале шли по пути создания полевой теории гравитации в духе Фарадея-Максвелла. [1]. Но неожиданный ход мыслей Эйнштейна и отождествление им гравитационных сил с кинематическими силами инерции [2] привели к геометризованной теории тяготения – ОТО, в которой гравитационный потенциал отождествлён с метрическим тензором четырёхмерного пространства-времени. Осязаемое значение этой теории ограничивается, как правило, постньютоновским приближением. При этом постньютоновская теория гравитации получается из ОТО как следствие, если в последней удерживаются только члены порядка $(v/c)^2$. Чем отличается данная теория от той постньютоновской теории, в основе которой лежит концепция полевой теории гравитации в духе Фарадея-Максвелла, и существует ли альтернативный эксперимент, который позволил бы отдать предпочтение одной из этих теорий? С учётом тех дискуссий, которые ведутся с момента появления ОТО и продолжаются до настоящего времени [3], данный вопрос является далеко не праздным. Для ответа на него, рассмотрим задачу о движении частицы в поле вращающегося тела в постньютоновском приближении согласно каждой из этих теорий.

1. Теория 1 – постньютоновское гравитационное поле согласно ОТО

Релятивистское уравнение движения частицы имеет вид

$$\frac{d}{dt}(m\overline{v}) = \overline{F}, \qquad m = m_0\left[1-(\frac{v}{c})^2\right]^{-1/2} \tag{1}$$

Трёхмерная сила Минковского, действующая на частицу в постоянном гравитационном поле, образуемом равномерно вращающимся вокруг своей оси аксиально-симметричным телом, согласно ОТО [4] равна

$$\overline{F} = mc^2\left[-grad\ln\sqrt{h}+\sqrt{h}(\frac{\overline{v}}{c}\times rot\overline{g})\right],$$

где $h = g_{00}$, а $\overline{g}$ – трёхмерный вектор с ковариантными компонентами $-g_{0\alpha}/g_{00}$, причём в предельном случае малых скоростей $g_{00} = 1 + 2\varphi/c^2$. Здесь φ – нерелятивистский потенциал гравитационного поля; $g_{0\alpha}$ - компоненты метрического тензора Эйнштейна.

Представим последнее выражение для силы в виде силы Лоренца

$$\overline{F} = m(\overline{H} + \overline{v} \times \overline{G}),$$

где с точностью до членов порядка $(v/c)^2$ вдали от тела имеем

$$H = -grad\Phi, \qquad \Phi = -\frac{\gamma M}{r}(1 + \frac{1}{2}\frac{r_0}{r}), \qquad r_0 = \frac{\gamma M}{c^2}$$

$$\overline{G} = 2\frac{r_0}{r}\frac{K_z}{Mr^2}\left[\overline{k}_0 - 3\overline{r}^0(\overline{k}^0\overline{r}^0)\right]$$

Здесь M и K_z – соответственно масса и кинетический момент относительно оси вращения центрального тела; $\overline{r}$ – текущий радиус-вектор частицы, $\overline{r} = r\overline{r}^0$; $\overline{k}^0$ – единичный вектор оси вращения; γ – константа гравитации; c – скорость света.

Ограничимся далее случаем, когда плоскость орбиты частицы перпендикулярна оси вращения, т. е. когда $\overline{r} \perp \overline{k}^0$. Тогда

$$\overline{G} = 2\frac{r_0}{r}\frac{K_z}{Mr^2}\overline{k}^0 \tag{2}$$

2. Теория 2 – постньютоновская полевая теория гравитации в форме Максвелла

Действующая на частицу сила также имеет вид силы Лоренца, однако, в этом случае компоненты $\overline{H}$ и $\overline{G}$, найденные с учётом уравнений поля, приведенных в [5], даются выражениями

$$H = -grad\Phi, \qquad \Phi = -\frac{\gamma M}{r}(1 - \frac{1}{2}\frac{r_0}{r}), \qquad r_0 = \frac{\gamma M}{2c^2}$$

$$\overline{G} = -\frac{r_0}{r}\frac{K_z}{Mr^2}\left[\overline{k}_0 - 3\overline{r}^0(\overline{k}^0\overline{r}^0)\right]$$

и при $\overline{r} \perp \overline{k}^0$

$$\overline{G} = -\frac{r_0}{r}\frac{K_z}{Mr^2}\overline{k}^0 \tag{3}$$

3. Обсуждение результатов

Уравнения движения частицы в проекциях на радиальное и трансверсальное направления имеют один и тот же вид в обеих теориях

$$\frac{d^2r}{dt^2} - r(1 \mp \frac{r_0}{r})(\frac{d\phi}{dt})^2 = -\frac{\gamma M}{r^2}(1 \pm \frac{r_0}{r}) \pm r|G|\frac{d\phi}{dt}$$

$$r^2\left[(1 \mp \frac{2r_0}{r})\right]\frac{d\phi}{dt} \mp |G| = h = const,$$

причём верхний знак в уравнениях относится к теории 1, а нижний – к теории 2.

Принципиальное отличие теории 1 от теории 2 заключается в следующем:

а) Согласно теории 1, потенциал Ф состоит из ньютоновского потенциала $\varphi = -\frac{\gamma M}{r}$, порождённого массой M, и такого же по знаку потенциала $\varphi_1 = -\frac{1}{2}(\frac{\varphi}{c})^2$, порождённого потенциалом φ, т. е. дополнительное поле φ_1, как и основное поле φ, является полем притяжения. В отличии от этого, в теории 2 дополнительное поле является полем отталкивания (именно в этом суть известной проблемы отрицательной энергии в векторной теории гравитации [6], на что ранее не обращалось внимания). Последнее обстоятельство исключает в теории 2 возможность гравитационного коллапса тел.

б) В теории 1 согласно (2), вихревая компонента гравитационного поля $\overline{G}$ вдали от вращающегося тела сонаправлена с его вектором кинетического момента, в то врем как в теории 2, согласно (3), она противонаправлена. В результате это приводит к тому, что смещение перигелия частицы, обусловленное вращением тела, в теории 1 противоположно направлению движению частицы по орбите [7], а в теории 2 – сонаправлено. Заметим, что разные направления векторов $\overline{G}$ в рассматриваемых теориях заложено априори в их исходных постулатах (моделях): в теории 2 сила гравитации $m\overline{v} \times \overline{G}$ есть аналог магнитной части силы Лоренца, где $\overline{G}$ – квазимагнитная компонента гравитационного поля, в то время как в теории 1 – это квазикориолисова сила инерции $2m\overline{v} \times \overline{\Omega}$, где $\overline{\Omega} = \overline{G}/2$ есть угловая скорость вращения системы отсчёта (принцип эквивалентности Эйнштейна).

В совокупности, указанные различия приводят к тому, что согласно теории 1, наблюдаемое смещение перигелия планет целиком объясняется центрально-симметричным гравитационным полем Солнца, его вращением при этом пренебрегается по двум причинам: несоответствием знака и малостью вклада по порядку величины. Согласно же теории 2, смещение перигелия планет может быть объяснено лишь с учётом вращения центрального тела при возможности усиления в среде квазимагнитной компоненты поля $\overline{G}$. Последнее обусловлено упорядочиванием взаимной ориентации векторов кинетических моментов микрочастиц среды при наличии вихревой компоненты гравитационного поля, что, в сою очередь, приводит к изменению данной компоненты. Для учёта этого явления следует вводить аналог относительной магнитной проницаемости среды μ, и тогда

$$\overline{G} = -\mu \frac{r_0}{r} \frac{K_z}{Mr^2} \overline{k}^0$$

Невозможность изменения (экранировки) компоненты $\overline{H}$ в среде обусловлена существованием гравитационного заряда лишь одного знака, т. е. невозможностью гравитационной поляризации среды.

Решение уравнений движения частицы, приведенных выше, показывает, что для того, чтобы получить наблюдаемое значение смещения перигелия планет солнечной системы в теории 2, значение μ должно быть порядка 10^4, если принять значение кинетического момента Солнца $K_z = (1{,}6 \div 6{,}1)10^{41} кг \cdot м^2 / с$. Следует при этом учесть, что общепринятое сейчас, значение K_z установлено по результатам визуального наблюдения за вращением Солнца по перемещению его характерных пятен на видимой поверхности, т. е. весьма приблизительно. Заметим, что независимое определение μ позволило бы в теории 2 по смещению перигелия планет установить кинетический момент Солнца, подобно тому, как по значению гравитационной постоянной была определена его масса.

4. Эксперимент

Для проверки качественной возможности регистрации вихревой компоненты гравитационного поля с помощью современной измерительной техники, был проведен эксперимент. Необходимость

регистрации именно вихревой компоненты диктуется возможностью её усиления в среде, предсказываемой теорией 2. Согласно идеи эксперимента, измерительное устройство должно регистрировать процессы на молекулярном и атомном уровнях. Причём, с течением времени накапливаются и фиксируются в форме конкретных макроскопических признаков внутриструктурные изменения от малых гравитационных возмущений, в данном случае, от действия силы $m\overline{v} \times \overline{G}$. Источником вихревой компоненты гравитационного поля является вращающийся консольный ротор с пустотелым диском на его конце. Детектирующее устройство находится во внутренней полости диска, и регистрируются следующие процессы: осаждение частиц суспензии; диффузия контактирующих между собой двух жидкостей разной плотности и цвета; испарение жидкости; проращивание семян растений; кристаллообразование в насыщенных растворах и др. Предусмотрена защита опытной зоны (ОЗ) и контрольной зоны (КЗ) от космических излучений, электрических и магнитных полей, а также их термо- шумо- и виброизоляция. Обеспечивается идентичность условий в ОЗ и КЗ. Длительность каждого эксперимента в серии от трёх до пятнадцати суток. Результаты экспериментов, устойчиво регистрируемых при неоднократных повторениях: интенсивность осаждения частиц суспензии в ОЗ в 1,77 – 2,25 раза выше, чем в КЗ, причём эта разница увеличивается по мере роста частоты вращения ротора; скорость диффузии в ОЗ ниже на 5 – 19%, чем в КЗ, с увеличением частоты вращения ротора скорость диффузии в ОЗ уменьшается; снижение интенсивности испарения в ОЗ по сравнению с КЗ, составляло 10 – 13%; развитие ростков у семян в ОЗ происходило медленнее чем в КЗ на 4 – 10%, причём, если подавляющее число ростков в КЗ было ориентировано вниз, то в ОЗ от3-х до 50% ростков ориентировались вверх и горизонтально; кристаллообразование в ОЗ отличается как скоростью, так и динамикой самих процессов, нашедшей отражение в количестве и форме образовавшихся кристаллов.

Заключение

Теоретически предсказана и экспериментально подтверждена возможность качественной регистрации вихревой компоненты гравитационного поля. Требуется дальнейшее увеличение точности измерения с целью проведения альтернативного эксперимента по регистрации направления вихревой компоненты $\overline{G}$ гравитационного поля.

Автор признателен старшему научному сотруднику А.С. Ланцеву за представленную здесь экспериментальную часть статьи.

1. Визгин В. П. Релятивистская теория тяготения. Истоки и формирование.– М.: Наука, 1981. – 352 с.
2. Паули В. Теория относительности. – М.: Наука, 1983. –336 с.
3. Логунов А. А. Лекции по теории относительности. Современный анализ проблемы. – М.: Наука, 1987. –371 с.
4. Ландау Л. Д, Лифшиц Е. М. Теория поля. – М.: Наука, 1988. –510 с.
5. Потехин А. Ф. // Изв. Вузов. Физика. –1985. –№10. С. 116 – 118.
6. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. Т1. –М.: Мир, 1977.
7. Гинзбург В. Л. // УФН. –1956. –Т. 59. –Вып.1. –С. 11 – 16.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ОДЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ МОРСКОГО ФЛОТА

ПОТЕХИН А. Ф.

СИЛЫ ИНЕРЦИИ И ПРИНЦИП ДАЛАМБЕРА

Методические указания
к изучению курса теоретической механики

ОДЕССА – 1993

Методические указания разработаны канд. техн. наук, доцентом Потехиным Анатолием Фёдоровичем – зав. кафедрой «Теоретическая механика» Одесского института инженеров морского флота в соответствии с учебной программой для машиностроительных и строительных специальностей учебных заведений.

Рецензент: докт. техн. наук, профессор Олейник Н. В.

Зак. 163, тираж 200, подп. к печати 17.02.93
Усл. печ лист 1,6. КМП ОИИМФ Одесса
Мечникова, 34

ВВЕДЕНИЕ

Трудно назвать другой вопрос в классической механике, который вызвал бы столько дискуссий, как вопрос о силах инерции и принципе Даламбера. И все же однозначного мнения на этот счет не существует до настоящего времени. Противоположные мнения о силах инерции высказываются не только в специальных монографиях, но даже в учебниках и справочной литературе по механике и физике. Это ставит в тупик уже не одно поколение преподавателей по этим дисциплинам, и именно они, как правило, являются инициаторами повторяющихся по этому поводу дискуссий.

С силами инерции инженер имеет дело постоянно, он должен их учитывать в прочностных расчетах машин и конструкций. И если у преподавателей нет единого мнения по силам инерции, и одни учат студентов тому, что эти силы фиктивные, а другие, что они реальные, то, как быть студенту, инженеру?

Занимаясь этим вопросом в научном плане, начиная с исследования инерционных виброгасителей и кончая гравитацией, преподавая курс теоретической механики для будущих инженеров, автор настоящих методических указаний считает вправе высказать свою точку зрения по данному вопросу. Эта точка зрения является как обобщением существующих мнений по рассматриваемому вопросу, так и результатом собственных исследований автора.

Автор надеется, что такое обобщение закрывает вопрос о силах инерции, но он будет признателен за любые обоснованные критические замечания, как своих коллег, так и студентов, чей пытливый ум всегда побуждал к обдумыванию и осмысливанию данных вопросов.

ИЗ ДИАЛЕКТИКИ ПРИРОДЫ

Определения. Вещество и физическое поле – формы существования материи как объективной реальности. Гравитационное поле – универсальное физическое поле, создаваемое всеми видами материи и проявляющееся в двух формах – как поле тяготения и фоновое поле. Поле тяготения – гравитационное поле в той его части (активной), которая проявляется как взаимное притяжение частиц вещества друг к другу, т.е. как силы тяготения. Фоновое поле – гравитационное поле в той его части (пассивной), которое проявляется как взаимное отталкивание тяготеющих друг к другу свободных частиц вещества, т.е. как силы инерции.

«Обыкновенно принимается, что тяжесть есть наиболее всеобщее определение материальности, т.е. что притяжение, а не отталкивание есть необходимое свойство материи. Но притяжение и отталкивание столь же неотделимы друг от друга, как положительное и отрицательное. Поэтому уже на основании самой диалектики можно предсказать, что истинная теория материи должна отвести отталкиванию такое же важное место, как и притяжению и что теория материи, основывающая только на притяжении ложна, недостаточна …» [1]. При этом «не может быть и речи ни об окончательном уравновешивании отталкивания и притяжения, ни об окончательном распределении и сосредоточении одной формы движения в одной половине материи, а другой формы в другой половине ее» [1]. При взаимном притяжении частиц вещества без их взаимного отталкивания движение не могло бы реализоваться как пространственно-временной процесс, т.к. при этом происходило бы мгновенное схлопывание вещества в точку.

Если поле тяготения создается веществом и зависит от плотности распределения этого вещества в пространстве (Ньютон), то фоновое поле отталкивания есть вторичное поле, создаваемое полем тяготения [2] и зависящее от плотности энергии последнего (Эйнштейн).

Итак, к каждой из движущихся в гравитационном поле частиц должна быть приложена как сила притяжения (тяготения) $\overline{F}$, так и сила отталкивания (инерции) $\overline{J}$. В общем случае, в любой точки пространства-времени для одной и той же частицы $\overline{F}+\overline{J}\neq 0$. «Всякое движение состоит во взаимодействии притяжения и отталкивания. Но оно возможно лишь в том случае, если каждое притяжении компенсируется соответствующим ему отталкиванием в другом месте, ибо в противном случае одна сторона должна была бы получить с течением времени перевес над другой и, следовательно, движение, в конце концов, прекратилось бы» [1]. Следовательно,

существуют такие точки пространства-времени, в которых должно локально выполняться равенство $\overline{F}+\overline{J}=0$ (стационарные орбиты, двигаясь по которым частицы не излучают гравитационные волны и поэтому, в частности, не падают с течением времени на притягивающий их центр). Однако для макропроцессов, в связи с достаточно мощным однородным и изотропным фоновым полем, создаваемым всеми объектами Вселенной, интегрально всегда

$$\overline{F}+\overline{J}=0 \tag{1}$$

что и зафиксировано во втором законе Ньютона, но в другой форме

$$m\overline{a}=\overline{F} \tag{2}$$

т.е.

$$\overline{J}=-m\overline{a} \tag{3}$$

Формулировка второго закона Ньютона в форме (1) и составляет содержание принципа Даламбера, более детальное рассмотрение которого следует далее.

КИНЕМАТИКА И ФОНОВАЯ МЕТРИКА

Согласно современным научным представлениям, пустого геометрического пространства в природе не существует. Это пространство едино с наполняющей его материей в форме вещества и поля. По крайней мере, в любой его точке не равна нулю плотность энергии физических полей.

Воздействие физических полей на материальную частицу в механике Ньютона учитывается в явном иле неявном виде. В первом случае в уравнение движения частицы вводится соответствующая ускоряющая ее сила. Во втором случае это поле присутствует в уравнении движения лишь как фоновое, свойства которого постулируются.

Определение: Движение материальных частиц друг относительно друга без их взаимодействия между собой и внешними телами и полями называется свободным, невозмущенным или движением по инерции.

При свободном движении частиц никакие их индивидуальные свойства не влияют на эти движения. Поэтому, фиксируя закон свободного движения частиц, мы фиксируем форму проявления пространственно-временных отношений в том физическом поле, в котором эти частицы движутся, т.е. мы фиксируем кинематику тел в данном физическом поле как фоновом.

Понятие физического поля появилось лишь в начале 19 века после работ М.Фарадея в электродинамике, Ньютону оно было неведомо. Каково же фоновое поле у Ньютона? Это поле им фиксировано, прежде всего, в его первом законе динамики. Согласно этому закону Ньютона, в постулированном им абсолютном пространстве, привязанном к сфере удаленных звезд, «всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние» [3]. Или иначе: фоновое поле у Ньютона таково, что оно не взаимодействует с материальной частицей, покоящейся или движущейся равномерно и прямолинейно по отношению к системе отсчёта, привязанной к удаленным звездам. Отсюда следует, что время в кинематике Ньютона играет роль параметра, независимого от пространственных координат. В результате получаем кинематику классической механики Ньютона с жестко фиксированной звездной фоновой метрикой, которая характеризуется пространственным интервалом

$$ds=dx^2+dy^2+dz^2 \tag{4}$$

геометрии Эвклида и не зависящим от него интервалом времени dt.

В этой кинематике время универсально, едино, абсолютно, оно «само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно» [3] , оно одно и то же в любых системах отсчета независимо от их относительного положения или движения. Как стало яснее позже, после Специальной теории относительности Эйнштейна, установление такого времени предполагает мгновенную передачу сигнала между двумя любыми точками пространства. У Ньютона такая возможность постулирована его законом всемирного тяготения. Следовательно, этот закон предопределяет кинематику тел в классической механике Ньютона.

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА И ИНЕРТНАЯ МАССА [4]

Согласно Специальной теории относительности Эйнштейна, наш мир есть четырехмерное пространство-время. Событие, происходящее с некоторой частицей, определяется местом, где оно произошло, и временем, когда оно произошло. Для геометрической интерпретации события вводится четырехмерная система координат, на осях которой откладываются три пространственные и одна временная координаты точки. В этой системе координат событие изображается точкой – мировая точка, ее траектория – мировая линия.

Определения. Пространственно-временная система координат называется системой отсчета. Системы отсчета, привязанные к свободно движущимся друг относительно друга в данном фоновом поле материальным частицам, называются инерциальными.

В механике Ньютона, в связи с независимостью пространственных координат точек от временной координаты, системы отсчета реализуются как чисто пространственные системы координат с единым, для всех точек пространства, временем. В этом случае инерциальные системы отсчёта можно, например, образовывать, связывая их с естественными осями координат траекторий свободно движущихся (по отношению к сфере удаленных звезд) материальных точек. В соответствии с первым законом Ньютона, в его механике инерциальные системы отсчёта движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно. Но отсюда еще вовсе не следует равноправие групп систем отсчёта, в каждой из которых они движутся друг относительно друга поступательно равномерно и прямолинейно. Рассмотрим, например, две такие группы.

Первая группа – Галилеевы инерциальные системы отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно по отношению к «неподвижной» системе отсчёта, привязанной к удаленным звездам. Вторая группа –Эйнштейновы инерциальные системы отсчёта, связанные со свободно «падающими» лифтами в однородном поле сил тяжести, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно друг по отношению другу, но ускоренно по отношению Галилеевым инерциальным системам отсчёта.

В каждом из указанных выше групп координат первый закон Ньютона выполняется. В Галилеевых $\overline{v}^{абс} = const$ в силу исходного постулата Ньютона, в Эйнштейновых – в силу второго закона Ньютона применительно к движущейся вместе с лифтом в однородном гравитационном поле $\overline{H}$ материальной точке

$$m\overline{a}^{абс} = m\overline{H} \tag{5}$$

или

$$\overline{a}^{абс} = \overline{H} \tag{6}$$

и кинематики классической механики, согласно которой ускорение этой же материальной точки относительно «падающей» с ускорением $\overline{H}$ системы координат лифта равно

$$\overline{a}^{отн} = \overline{a}^{абс} - \overline{a}^{пер} \tag{7}$$

или, т.к. для рассматриваемого случая, $\overline{a}^{пер} = \overline{H}$,

$$\overline{a}^{отн} = \overline{a}^{абс} - \overline{H} \tag{8}$$

отсюда, в силу (6), $\overline{a}^{отн} = 0$ и тогда $\overline{v}^{отн} = const$.

Чем же отличаются системы отсчёта одной группы от другой? Тем, что по отношению к системам отсчёта Галилеевой группы гравитационное поле $\overline{H}$ может быть обнаружено по ускоренному движению пробной частицы, а по отношению к системам отсчёта Эйштейновой группы мы это поле не обнаружим.

Понимал ли Ньютон, что сформулированные им законы справедливы в каждой из этих групп систем отсчёта и видел ли он их различие? Понимал и видел, и четко это сформулировал в следующих следствиях [3].

«Следствие V. 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». (Напомним, что покоящееся пространство у Ньютона привязано к удаленным звездам.)

«Следствие VI. Если несколько тел, движущихся как бы то ни было друг относительно друга, будет подтверждено действию равных ускоряющих сил, направленных по параллельным между собою прямым, то эти тела будут продолжать двигаться друг относительно друга также, как если бы сказанные силы на них не действовали».

Но для Ньютона одна из главных задач как раз и состояла в установлении закона движения тел на Земле и планет на небе под действием сил тяготения. Поэтому он, не желая «терять» эти силы, не только выбрал в качестве базовых Галилеевы системы отчёта, но даже более того, отдает предпочтение лишь одной из них, привязанной к неподвижным звездам, называя покой и движение по отношению к ней истинным или абсолютным. «Причины происхождения, которыми различаются истинные и кажущиеся движения суть те силы, которые надо приложить, чтобы произвести эти движения. Истинное абсолютное движение не может ни произойти, ни измениться иначе, как от действия сил, приложенных непосредственно к самому движущемуся телу, тогда как относительное движение тела может быть и произведено, и изменено без приложения сил этому телу, достаточно, чтобы силы были приложены к тем телам, по отношению к которым это движение определяется» [3]. И хотя следствие V, процитированное выше, Ньютон и заключает примером: «Все движения на корабле совершаются одинаково, находится ли он в покое или движется равномерно и прямолинейно» [3], но он понимал ненадежность системы отсчёта, связанной с кораблем. Если по отношению к кораблю все тела начали ускоряться, то неизвестно, то ли тела движутся ускоренно потому, что на них подействовали силы, а корабль продолжал двигаться равномерно и прямолинейно, то ли оттого, что силы подействовали на корабль, то ли оттого, что имеет место то и другое одновременно. Для Ньютона это далеко не одно и тоже: «Вся трудность… физики и состоит в том, чтобы по явлениям распознать силы природы, а затем по этим силам изъяснить остальные явления» [3].

Итак, по Ньютону, абсолютная инерциальная система отсчёта, привязанная к удаленным звездам, выделяется тем, что в ней изменение скорости материальной частицы может произойти лишь от действия силы, приложенной именно к данной частице. Следовательно, выбор этой системы отсчёта предопределен необходимостью регистрации сил тяготения окружающих нас тел пол их ускоренному (не равномерному и прямолинейному) движению по отношению к сфере удаленных звезд. Или иначе: Ньютон выделяет гравитационные поля тел Солнечной системы из фонового поля («абсолютного пространства»), формируемого сферой удаленных звезд. Сегодня, после теории гравитации Эйнштейна, условность такого расчленения очевидна, однако такой подход Ньютона не только исторически и логически обусловлен, но и практически оправдан.

В соответствии с третьим законом Ньютона, ускоренно движущееся в абсолютной инерциальной системе координат тело окажет противодействие ускоряющему его телу, в силу его «врожденной способности сопротивления» [3]. Но с позиций сегодняшних представлений о близкодействии, причиной появления противодействия может быть лишь взаимодействие тела с фоновым полем, в котором оно движется. Эта способность ускоренно движущейся материальной частицы взаимодействовать фоновым полем характеризуется качеством, выражаемым понятием ее инертной массы.

Определение. Инертная масса тела есть мера его взаимодействия с фоновым гравитационным полем при его ускоренном движении в инерциальной системе отсчета.

СИЛЫ ИНЕРЦИИ В ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА [5], [6]

Трехвековая практика производственной деятельности подтвердила, что свод законов Ньютона выхватил то главное, что отражает сущность механической формы движения материи, но выявление диалектической природы этих законов есть этап более позднего синтезирующего познания. Период же Ньютона – это период расчленения явлений природы, познания отдельных сторон этих явлений, рассмотрения их изолированно, «а в таком случае сменяющиеся движения выступают перед нами – одно как причина, другое как следствие» [1].

По Ньютону, чтобы вывести тело из состояния покоя (в Галилеевой инерциальной системы отсчёта), необходимо к нему приложить силу, т.е. причина движения – внешнее воздейст-

вие. Хотя он и фиксирует тот факт, что движущееся тело при этом окажет противодействие, но это противодействие в причину движения им не включается. У него действие и противодействие распределены между разными телами: тело B из состояния покоя выводит тело A, действие тела A есть причина движения тела B, но само тело A испытывает противодействие со стороны тела B. Это взаимодействие между действием и противодействием отражено Ньютоном в его третьем законе: «Действию всегда есть равное противодействие, иначе, взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны" [3].

Согласно диалектике, чтобы познать сущность любой из форм движения материи, надо раскрыть это движение как единство и борьбы противоположностей, в противном случае «остается в тени САМО движение, его двигательная сила, его мотив» [7].

Механическое движение, как изменение взаимного положения тел в пространстве с течением времени, относится к простейшей форме движения материи и, казалось бы, его-то источник, его мотив должен быть давно уже раскрыт. Но, как показала завершенная лишь Энгельсом дискуссия о двух мерах механического движения [8] и продолжающаяся дискуссия о силах инерции [9], [10], [11], и др., эта простейшая форма движения материи является не столь уж простой, когда вопрос касается ее теоретического (в смысле диалектического) осмысления.

Из того, что в третьем законе Ньютона говорится о действии и противодействии, вовсе еще не следует, что именно в нем и раскрывается сущность механической формы движения как единства и борьбы противоположностей. Во-первых, не всякие полярности, противоположности являются противоречиями диалектическими. Во-вторых, выявленные в третьем законе противоположности распределены между разными телами, в то время как диалектические противоречия должны быть выявлены в самой сущности именно данного предмета или явления. Ф.Энгельс называет противоречиями в строгом смысле слова отношение противоположностей внутри одного и того же: «Если вещи присуще противоположность, то эта вещь находится в противоречии с самой себе; то же относится и к выражению этой вещи мысли» [8].

Согласно механике Ньютона, Земля есть источник силы, приложенной к Луне, что и является причиной движения последней вокруг Земли, но Луна противодействует с силой, равной ее центробежной силе и это противодействие приложено к Земле. Такая трактовка причины движения дала основание Энгельсу заметить: «Ньютоновское притяжение и центробежная сила – пример метафизического мышления: проблема не решена, а только поставлена, и это преподносится как решение» [1].

В-третьих, в конечном итоге, выявленное единство и борьба противоположностей должны раскрыть взаимоотношение движения с его противоположностью – покоем, но третий закон Ньютона не позволяет это сделать, в нем действие и противодействие относятся к разным телам.

Итак, третий закон Ньютона не раскрывает сущности механического движения ни в единстве противоположностей (в нем они разорваны, хотя и предполагают друг друга), ни в их борьбе (они не отрицают, не снимают, не исключают друг друга). Но это не исключает того, что выступающие на поверхности действие и противодействие в этом законе есть лишь внешняя форма проявления сущностных, глубинных, диалектических противоречий, которые могут быть выявлены лишь в одном и том же объекте, именно в том, который движется.

Рассмотрим второй закон Ньютона – основной закон динамики материальной точки, этой исходной «клеточки» как носителя диалектических противоречий механической формы движения материи. На первый взгляд, ни о каких противоположностях, ни о каких противоборствующих силах в этом законе речи не идет, в нем устанавливается количественная взаимосвязь между приложенной к материальной точке силой и ее ускорением

$$\overline{F} = m\overline{a} \tag{9}$$

Но если мы, чтобы раскрыть диалектическое содержание этого равенства, перенесем все его члены в одну сторону, приравняем его нулю и затем, как это принято в механике, назовем член $-m\overline{a}$, имеющий размерность силы, силой инерции $\overline{J}$, то получим

$$\overline{F} + \overline{J} = 0 \tag{10}$$

т.е. вместо уравнения движения мы получили уравнение равновесия. Что это, формальный математический прием, или в последнем равенстве скрыто более глубокое физическое содержание второго закона Ньютона? Попытаемся ответить на этот вопрос.

Существует ли в рассматриваемом явлении сила, в точности равная $\bar{J}$? Да существует – это сила противодействия, о которой говорилось выше в третьем законе Ньютона. И приложена эта сила со стороны движущейся с ускорением материальной точки к тому телу, которое воздействует на нее силой $\bar{F}$. По Ньютону, это «врожденная сила материи как присущая ей способность сопротивления», которая «могла бы быть весьма вразумительно названа силой инерции» [3]. Следовательно, Ньютон наделил движущуюся под действием силы материальную точку способностью сопротивления, и сделал это он не по своей прихоти, а, очевидно, поэтому, что это заложено в самой сущности, в самой природе механического движения. По этому поводу диалектик Ф.Энгельс делает себе заметку: «Сила. Подвергнуть также анализу и отрицательную сторону – сопротивление, которое противопоставляется перенесению движения» [1].

Начнем такой анализ с вопросов: откуда точка «знает», что ей надо сопротивляться, откуда она «знает» какова ее масса и каково у нее в каждый момент времени ускорение, наконец, как она создает противодействие, в точности равное $-m\bar{a}$? На все эти вопросы у Ньютона один ответ: «Это врожденная сила материи как присущая ей способность сопротивления». Сегодня на эти вопросы отвечают – таково свойство материи, что по сути одно и то же. Неужели за более чем трехсотлетний период развития науки мы не продвинулись в решении этих вопросов? Согласиться с приведенными выше ответами, значит отказаться от поиска научного ответа. Поэтому продолжим анализ.

Каково минимальное число материальных объектов задействовано во втором законе Ньютона? На первый взгляд два – движущаяся материальная частица и то тело, которое является источником приложенной к ней силы. Но это не так, есть еще один, хотя и неявный, материальный объект – тот, который Ньютон назвал абсолютным пространством. Это абсолютное пространство наделяется им вполне конкретными физическими свойствами, которые раскрываются, во-первых, в его первом законе, во-вторых, на опыте с вращающимся ведром с водой. По этому поводу Эйнштейн заметил: «В динамике Ньютона пространство обладает реальностью – в противоположность геометрии и кинематике» [12].

Ньютон формулирует свои динамические законы не для пустого пространства, а для того случая, когда частица движется в реальном физическом «абсолютном пространстве» – в фоновом поле, новом физическом объекте. Тогда все становиться на свои места. Во втором законе Ньютона присутствует три материальных объекта: а) тело, которое является источником силы $\bar{F}$; б) движущаяся материальная частица, к которой приложена сила $\bar{F}$; в) фоновое поле, в котором движется частица. Далее события развиваются так. От действия силы $\bar{F}$ у частицы появляется ускорение. Ускоренно движущаяся частица взаимодействует с фоновым полем. В результате появляется приложенная к данной частице сила инерции $\bar{J}$, которая опосредствованно, через движущуюся материальную частицу, воспринимается как противодействие тому телу, которое является источником силы $\bar{F}$. И здесь-то возникает два криминальных, с точки зрения искреннего сторонника Ньютона, вопроса.

Вопрос первый: по третьему закону Ньютона сила – понятие парное. Если сила инерции $\bar{J}$ приложена к движущейся с ускорением частице, то где ее сила-двойник и к чему эта сила-двойник приложена?

Вопрос второй: если к ускоренно движущейся материальной частице приложена и сила-действие $\bar{F}$ и сила противодействия $\bar{J}$, при этом их сумма равна нулю, то, как может частица двигаться с ускорением, если приложенная к ней система сил уравновешена, это же противоречит второму закону Ньютона? Т.е. искренний сторонник Ньютона спрашивает: «Так что же получается, вместо диалектического осмысления законов Ньютона мы пришли к тому, что они нарушатся, ошибочны, не действуют?» Вовсе нет, и не нарушаются, и не ошибочны, и действуют, но действуют диалектически.

Ответ на первый вопрос таков. Понятие силы имеет ограниченную область применения, именно там, где речь идет о механическом взаимодействии тел, т.е. при переходе механической формы движения материи в механическую же. Но понятие силы теряет свой смысл, когда речь идет с других, немеханических видах взаимодействия, т.е. при переходе механической формы движения в другие формы движения материи, как это имеет место при взаимодействии тела с полем. Если для выражения действия поля на тело все же в механике понятие силы применяют (такова, например, электромагнитная сила Лоренца), то обратное не имеет места, бессмысленно говорить о силе, приложенной к полю. При взаимодействии тела и поля сила не является универсальной мерой взаимодействия этих двух различных видов материи – вещества и поля, это взаимодействие можно и нужно рассматривать с позиции других мер движения, например, энергии. Поэтому не возникает никаких дискуссий, когда работу сил инерции, выраженную через кинетическую энергию тела, складывают с работой приложенных к нему активных сил и в результате получают ноль. С учетом этого становится понятным замечание Энгельса: «Механика: точкой отправления для нее была инерция, являющаяся лишь отрицательным выражением неуничтожимости движения» [1].

Теперь разрешим то противоречие, о котором говорится во втором вопросе. Уже сама постановка говорит о том, что задавший вопрос мыслит себе только две возможности, взаимоисключающие друг друга: приложенная к материальной частице система сил или уравновешена, и тогда, в соответствии со вторым законом Ньютона, частица покоится, либо движется равномерно и прямолинейно, или неуравновешенна, и тогда эта частица движется ускоренно. Но на самом деле реализуется третий вариант, противоречий по самой своей сущности отражаемого явления движения. Эта система сил и уравновешена и не уравновешена: «Движение само есть противоречие. Уже простое механическое перемещение может осуществиться лишь в силу того, что тело в один и тот же момент времени находится в данном месте и одновременно – в другом, что оно находится в одном и том же месте, и не находится в нем. А постоянное возникновение и одновременно разрешение этого противоречия и есть именно движение» [8].

Итак, приложенная сила $\overline{F}$ вызывает ускоренное движение частицы. Противодействующая сила инерции $\overline{J}$ отрицает это движение (с некоторым запаздыванием, ввиду конечности скорости распространения любых взаимодействий) равновесием сил. Но само это равновесие отрицается (опять-таки с некоторым запаздыванием) неуравновешенностью и мы приходим к исходному пункту, но на новом уровне, когда у частицы уже другая скорость, отличная от ее значения в предшествующий момент и т.д. И все это лишь огрубленная схема непрерывного процесса движения. В этом процессе движения бессмысленно ставить вопрос о том, какая из сил $\overline{F}$ и $\overline{J}$ является первичной и какая – вторичной. «С какой стороны мы не подошли бы к рассматриваемому вопросу, различие между первичным и вторичным процессами остается чисто формальным и, как правило, снова снимается в их взаимодействии между собой. Если это забывают, если рассматривают подобные относительные противоположности как нечто абсолютное, то, в конце концов, неизбежно запутываются… в безнадежных противоречиях» [1]. Например, при движении планет источником и силы действия (тяготение Солнца) и силы противодействия (центробежная сила инерции) является единое физическое поле, и нельзя выделить, какая из этих сил первична и какая вторична. Эта локальная эквивалентность сил тяготения и сил инерции была взята Эйнштейном в качестве исходной посылки его общей теории относительности и привела к теории гравитации, в которой понятия силы тяготения вообще и силы инерции в, частности, полностью исчезают. И о движении частиц при наличии между ними лишь гравитационного взаимодействия говорят как о свободном движении частиц по геодезической линии и связывают данное состояние с понятием невесомости. Заметим, что это движение по геодезической линии не есть движение по инерции в смысле Ньютона, т.к. последнее определяется как движение частицы, изолированной от любых взаимодействий.

Итак, законы Ньютона в совокупности отражают диалектику механического движения материальной частицы в реальном пространстве как физическом поле. Сама сущность этой формы движения материи, ее источник, ее мотив, ее причина раскрываются как единство и борьба противоположностей во втором законе Ньютона. Причем особенно наглядно – записан-

ном в форме $\overline{F}+\overline{J}=0$, т.е. в форме равновесия. Но последнее обстоятельство нас не должно смущать, ибо «всякое равновесие либо является лишь относительным покоем, либо само представляет собой движение в равновесии, каким, например, является движение планет» [8].

К ИСТОРИИ ПРИНЦИПА ДАЛАМБЕРА

Для движущейся несвободной материальной частицы Даламбер сформулировал принцип (1742 г.): часть $\overline{F}_1$ активной силы $\overline{F}$, приложенной к материальной частице, сообщает ей ускорение и учитывается в законе Ньютона $m\overline{a}=\overline{F}_1$ а другая ее часть $\overline{F}_2$ в это равенство не входит ($\overline{F}=\overline{F}_1+\overline{F}_2$), т.к. она теряется. Но это возможно только в том случае, когда к частице приложена еще некоторая дополнительная сила $\overline{N}$ - сила реакции связи, равная по величине и противоположная по направлению потерянной части $\overline{F}_2$ активной силы $\overline{F}$, т. е. $\overline{F}+\overline{N}=0$. Так как

$$m\overline{a}=\overline{F}_1=\overline{F}-\overline{F}_2=\overline{F}+\overline{N} \tag{11}$$

или

$$\overline{F}+\overline{N}-m\overline{a}=0, \tag{12}$$

то позже (1856 г. Делоне) отсюда и возникла современная формулировка принципа Даламбера

$$\overline{F}+\overline{N}+\overline{J}=0 \tag{13}$$

<u>Принцип Даламбера:</u> Приложенные к движущейся с ускорением материальной точке активные силы и силы реакций связей уравновешиваются ее силой инерции.

Еще раз подчеркнем, что в принципе Даламбера говорится о фактическом, а не условном равновесии сил, и это вовсе не обозначает движение с постоянной скоростью, т.к. входящая в этот принцип сила инерции возникает лишь при ускоренном движении частицы. Трактовка силы инерции как физической силы, приложенной к данной частице, полностью согласуется с ньютоновским понятием силы, если перейти к локальной системе координат, связанной с данной движущейся ускоренно частицей. В этой системе координат частица, действительно, покоится под действием приложенных к ней сил активных, сил реакций связей и сил инерции.

Из всего сказанного выше следует, что Даламберовы силы инерции есть силы объемные (массовые) и в этом отношении они сродни силам тяготения. И подобно тому, как отличают объемные силы тяготения тела от формы их проявления – веса тела, следует также отличать Даламберовы силы инерции от формы их проявления. Проявляются же эти силы либо как силы контактного воздействия ускоряемого тела на ускоряющие его тело при их контактном взаимодействии, либо как невесомость, если данное тело не стесненно никакими связями и движется в поле сил тяготения других тел. Невесомость же тела проявляется в отсутствии его деформации при свободном падении в поле сил тяготения.

СИЛЫ ИНЕРЦИИ В НЕИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА

Силы инерции в классической механике рассматриваются как в инерциальных, так и в неинерциальных системах отсчета. В первом случае это Даламберова сила инерции

$$\overline{J}=-m\overline{a}^{абс}, \tag{14}$$

о которой говорилось выше, во втором – это относительная

$$\overline{J}^{отн}=-m\overline{a}^{отн.}, \tag{15}$$

переносная

$$\overline{J}^{пер}=-m\overline{a}^{пер.}, \tag{16}$$

и Кориолисова сила инерции

$$\overline{J}^{Кор}=-m\overline{a}^{Кор}. \tag{17}$$

Очевидно, ввиду соотношения

$$a^{абс}=\overline{a}^{отн}+\overline{a}^{пер}+\overline{a}^{Кор} \tag{18}$$

имеем

$$\overline{J}=\overline{J}^{отн}+\overline{J}^{пер}+\overline{J}^{Кор} \tag{19}$$

При изучении динамики относительного движения материальной точки в неинерциальной системе отсчета, вводя понятия переносной и кориолисовой сил инерции, следует различать два случая [13].

В первом случае в направлении переносного и кориолисового ускорений существует контактное взаимодействие между движущейся материальной частицей и тем телом, с которым связана подвижная система отсчета. Тогда переносная и кориолисова силы инерции обусловлены взаимодействием движущейся материальной частицы с фоновым гравитационным полем и проявляются они как поверхностные силы, приложенные со стороны этой частицы к взаимодействующему с ней телом.

Во втором случае указанного выше взаимодействия не существует. В этом случае переносную и кориолисову силы инерции следует рассматривать как некоторые условные величины, вводимые для того, чтобы записать второй закон Ньютона в неинерциальной системе отсчета в той же форме, что и в инерциальной.

Аналогично, относительная сила инерции есть результат взаимодействия частицы с фоновым полем, если она взаимодействует с другими телами и полями, помимо ее контактного взаимодействия с переносящим телом. В противном случае относительная сила инерции есть чисто кинематический эффект – результат движения подвижной системы отсчета.

Таким образом, относительная, переносная и кориолисова силы инерции проявляются как физические силы, приложенные к взаимодействующим с нею телам, лишь в той их части, в какой они обеспечивают проявление Даламберовой силы инерции как силы физической в соответствии с (19).

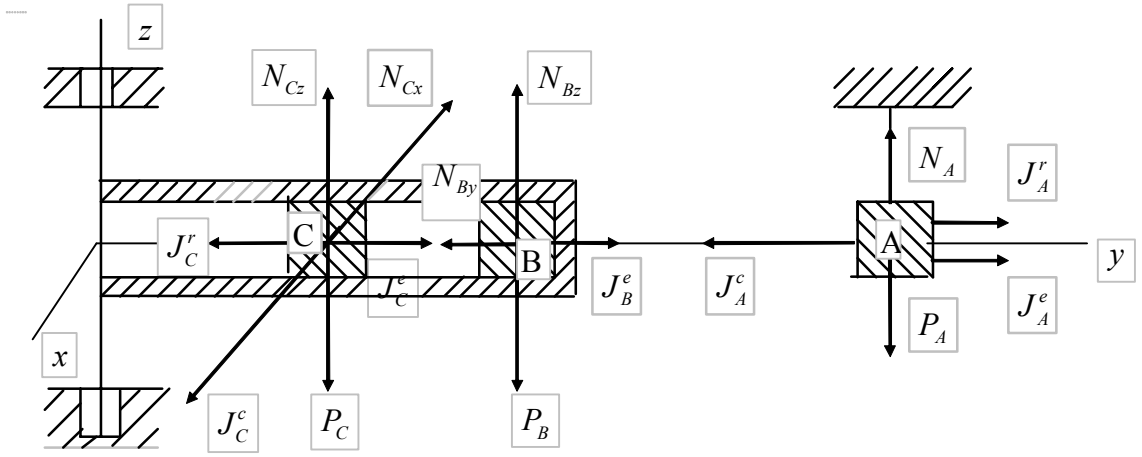


Рис. 1

Пусть, например, трубка вращается по отношению к инерциальной системе координат с постоянной угловой скоростью ω - рис. 1. Свяжем с этой трубкой подвижную систему координат xyz. Тогда частица *A,* покоящаяся относительно выбранной инерциальной системы координат, по отношению к системе xyz движется равномерно по окружности в направлении, противоположном вращению трубки. Относительная, переносная и Кориалисова сила инерции этой частицы по величине равны

$$J^{отн} = m\omega^2 l\,, \tag{20}$$

$$J^{пер} = m\omega^2 l\,, \tag{21}$$

$$J^{Кор} = 2m\omega^2 l \tag{22}$$

и целиком обусловлены кинематическим эффектом – вращением подвижной системы координат xyz, поэтому как физические силы они не проявляются:

$$\bar{J}^{отн} + \bar{J}^{пер} + \bar{J}^{Кор} = 0 \tag{23}$$

Иначе обстоит дело при движении частиц B и C, взаимодействующих с трубкой.

Частица B в системе координат xyz покоится, при этом

$$\bar{v}^{отн} = \bar{a}^{отн} = \bar{a}^{Кор} = 0. \qquad (24)$$

Следовательно, $\bar{J}^{отн} = \bar{J}^{пер} = 0$ и тогда $\bar{J} = \bar{J}^{пер}$, т.е. при относительном покое частицы в неинерциальной системе отсчета ее переносная сила инерции есть одновременно и Даламберова сила инерции. Поэтому эта сила инерции обусловлена взаимодействием частицы с фоновым гравитационным полем, проявляется она как физическая сила, в данном примере как сила, с которой частица B давит на дно трубки, и эту силу надо учитывать при прочностном расчете трубки.

Наконец, рассмотрим материальную частицу C. В направлении оси x эта частица находится в относительном покое. Поэтому, под действием силы реакции трубки $\bar{N}_{Cx}$, частица C движется ускоренно в направлении $\bar{a}_C^{Кор}$ в инерциальной системе отсчета, взаимодействуя с фоновым гравитационным полем. Тогда её кориолисова сила инерции $\bar{J}^{Кор}$ есть сила, приложенная к самой материальной частице C. Но проявляется эта сила инерции как физическая сила воздействия данной частицы на стенку трубки.

В направлении переносного и относительного ускорений частица C не взаимодействует с другими телами, поэтому появление соответствующих ей переносной и относительной силы инерции есть кинематический эффект, обусловленный вращением подвижной системы отсчета вместе с трубкой.

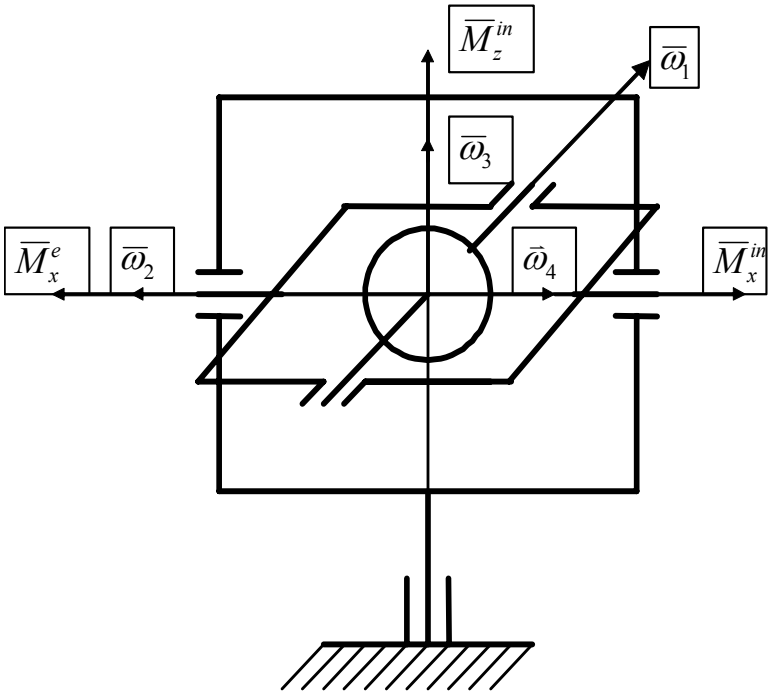


Рис. 2

Рассмотрим теперь с этих позиций механизм возникновения вынужденной процессии гироскопа и гироскопического момента.

Пусть к оси вращающегося с угловой скоростью $\bar{\omega}_1$ ротора гироскопа – рис. 2, приложена пара сил с векторным моментом M_x^e. Ось y направлена вдоль оси ротора, оси x, z в собственном вращении ротора вокруг оси y не участвуют. Пара сил с моментом M_x^e стремится вызвать вращение ротора в угловой скоростью $\bar{\omega}_2$, что приведет к появлению системы пар Кориолисовых сил инерции его частиц с главным векторным моментом M_z^{in}. Если в направлении действия пар Кориолисовых сил инерции с моментом M_z^{in} ротор с другими телами не имеет контактного взаимодействия, то его процессия с угловой скоростью $\bar{\omega}_3$ есть такой же кинематический эффект, как и движение частицы C вдоль трубки в предыдущем примере. Рассматри-

вая, в таком случае, движение частиц ротора как сложное с переносной угловой скоростью $\overline{\omega}_3$ и относительной с угловой скоростью $\overline{\omega}_1$ найдем, что на ротор будет действовать другая система пар Кориолисовых сил инерции с моментом M_x^{in}. Так как в направлении последнего момента ротор взаимодействует с опорными подшипниками, то этот момент обусловлен взаимодействием частиц с фоновым полем и проявится он как пара гироскопических сил реакций, приложенных со стороны ротора на опоры и противодействующих паре исходных внешних вил, в строгом соответствии с третьим законом Ньютона. В результате такого механизма взаимодействия вращения ротора в направлении действия пары внешних сил наблюдаться не будет, но будет наблюдаться его прецессия вокруг оси z в таком направлении, чтобы вектор $\overline{\omega}_1$ (ось собственного вращения ротора) кратчайшим путем совмещался с вектором $\overline{\omega}_2$.

Если же подшипники ротора не позволяют ему прецессировать с угловой скоростью $\overline{\omega}_3$, то на них будет действовать пара сил гироскопическим моментом M_z^{in}, перпендикулярным исходному векторному моменту M_x^e внешних сил. В результате пара внешних сил с моментом M_x^e остается неуравновешенной, чем и объясняется тот факт, что уменьшением с трех до двух степеней свободы, гироскоп теряет способность сопротивляться усилиям, изменяющим направление оси его собственного вращения.

Итак, если силы инерции в инерциальных системах отсчета всегда являются физическими силами, т.е. динамическими объемными силами, возникающими вследствие взаимодействия движущейся с ускорением материальной частицы фоновым гравитационным полем, то в неинерциальных системах отсчета силы инерции могут быть и физическими (динамическими) и кинематическими. В первом случае в направлении относительного, переносного и кориолисового ускорений существует взаимодействие частицы с другими телами и как следствие, с фоновым полем, во втором – такого взаимодействия не существует.

ТЯЖЕЛАЯ И ИНЕРТНАЯ МАССЫ И ИХ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ

Рассматривая силу инерции в инерциальной системе отсчета, мы пришли к понятию массы тела как меры его взаимодействия с фоновым гравитационным полем или, по Ньютону, как меры его инертности: «Эта сила материи пропорциональна массе и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на нее» [3]

Однако у Ньютона понятие массы возникает и в законе его всемирного тяготения

$$F = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \tag{25}$$

причем здесь масса несет двойную нагрузку: она, с одной стороны, есть активная тяжелая масса как источник поля сил тяготения, с другой – она есть пассивная тяжелая масса как мера взаимодействия с полем тяготения. Но поскольку в этом отношении масса входит в закон тяготения Ньютона совершенно симметричным образом, то различие между активной и пассивной тяжелой массой исчезает и поэтому вводится единое понятие – тяжёлая или гравитационная масса тела (гравитационный заряд как аналог электрическому заряду).

Определение. Тяжелая (гравитационная) масса тела есть мера его взаимодействия с полем тяготения, которая единовременно является мерой интенсивности излучаемого ею собственного поля тяготения.

Поскольку итог развития науки после Ньютона привел к выводу, что гравитационное поле тяготения (притяжение) и фоновое гравитационное поле (отталкивание) есть проявление одного и того же физического гравитационного поля притяжения-отталкивания, то естественным является вывод, что тяжелая и инертная масса тела есть проявление одного и того же его качества. Равенство тяжелой и инертной масс тела экспериментально доказано уже Ньютоном и подтверждено сегодня с той высокой точностью, которую позволяет современный уровень измерительной техники.

Определение. Масса тела есть его взаимодействия с гравитационным полем и проявляется она либо как масса инертная, либо как масса тяжелая.

Исторически вначале была осознана тождественность инертной и тяжелой масс тела: «Тяжелая и инертная масса равны. До настоящего времени механика контактировала, но не истолковывала это важное положение. Удовлетворительное истолкование можно дать в следующей форме: в зависимости от обстоятельств одно и то же качество тела проявляется либо как «инерция», либо как тяжесть» [12]. Лишь после этого, опираясь на данный постулат, Эйнштейн создает свою общую теорию относительности как теорию гравитации.

Из всего сказанного следует, что теория гравитации Эйнштейна есть релятивистское обобщение не закона тяготения Ньютона, (именно это и было его первоначальной целью), а системы уравнений движения вещества в его собственном гравитационном поле. Или иначе: теория гравитации Эйнштейна есть релятивистское полевое обобщение принципа Даламбера на базе постулата об эквивалентности сил инерции и сил тяготения. Правда, теперь нам ясно, что эту эквивалентность следует понимать лишь в той мере, в какой бывают эквивалентными диалектические противоположности.

О ВКЛАДЕ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕЛ В ФОНОВОЕ ПОЛЕ ВСЕЛЕННОЙ

Уже отмечалось выше, что в классической макромеханике Ньютона фоновое гравитационное поле проявляется как однородное и изотропное поле отталкивания, индуцируемое всеми объектами Вселенной. Чтобы понять эту однородность и изотропность, оценим соотношение между величинами полей притяжение и отталкивания в гравитационном поле, излучаемом отдельным телом, например, Землей.

Согласно постньютоновскому приближению [2], гравитационный потенциал поля, создаваемого покоящимся относительно сферы удаленных звезд телом, состоит из ньтоновского потенциала тяготения $\varphi_1 = -\gamma \dfrac{m}{r}$, порожденного массой m и противоположного по закону дополнительного потенциала $\varphi_2 = \left(\dfrac{\varphi_1}{2r}\right)^2$, порожденного потенциалом φ_1. Это вторичное поле есть поле отталкивания. Для величин напряженностей данных двух полей у поверхности Земли получается соотношение порядка 10^{-10}. Если представить, что масса Земли сжата до шарика диаметром 0,5 см, то лишь тогда на ее поверхности напряженности полей притяжение и отталкивание были бы равны по величине. Отсюда ясна та большая точность, о которой подтверждается закон тяготения Ньютона в экспериментах, а фоновое поле оказывается однородным и изотропным – основной вклад в него вносит вся сфера удаленных звезд. Именно это обстоятельство и вынудило Ньютона выделить абсолютную инерциальную систему отсчета, привязанную к удаленным звездам. У нас, как и у Ньютона 300 лет назад, нет другого способа зафиксировать фоновое поле Вселенной кроме как интегрально, через силы инерции, т.е. через инертность тел.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энгельс Ф. Диалектика природы. – М.: Политиздат, 1982. 400 с.
2. Потехин А.Ф.// Изв.вузов. Физика. – 1991. – № 5, – С.15-18.
3. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. –М.: Наука. 1989. – 688 с.
4. Потехин А.ф. Законы механики в их развитии (к трехсотлетию «Математических начал натуральной философии» И.Ньютон) /Ред.журнала «Изв. вузов. Физика». – Томск, 1987.–20 с. – Библиогр. 10 назв. – Деп. в ВИНИТИ 6.06.87, № 4107-1987.
5. Потехин А.Ф. Механическое движение как единство и борьба противоположностей. /Одесск. ин-т инж. мор. флота. Одесса, 1986. – 11 с. – Библиогр. 4 назв. – Деп. в ИНИОН АН СССР 9.01.87, № 27901.
6. Потехин А.Ф. О диалектической и метафизической трактовках исходных понятий классической механики. – Программа и тезисы докладов всесоюзной конференции «Мировоззренческие аспекты в преподавании общенаучных и общетехничских дисциплин. Алма-Ата, 1990, с.40.
7. Ленин В.И. Философские тетради. – М.: Политиздат, 1978. –752 с.
8. Энгельс Ф. Анти-Дюринг. – М.: Политиздат, 1977. –484 с.
9. Хайкин С.Э. Силы инерции и невесомость. – М.: Наука, 1967. –312с.
10. Ишлинский А.Ю. Классическая механика и силы инерции. –М.: Наука, 1987. –320 с.
11. Седов Л.И. Об основных моделях в механике. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. –152 с.
12. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. - М.: Наука, 1965. –Т.1-4.
13. Кильчевский Н.А. Курс теоретической механики. – М.: Наука, 1977. –Т.1-2.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАВИТАЦИИ
ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
8 РОССИЙСКОЙ ГРАВИТАЦИОНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ПУЩИНО, 25-28 МАЯ 1993 Г.

Потехин А.Ф.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ ЭЙНШТЕЙНА

Обоснована система дифференциальных уравнений гравитационного поля в постньютоновском приближении, из решения которой, в частности, сделаны следующие выводы.

1. Гравитационный потенциал, создаваемый покоящимся относительно сферы удалённых звёзд телом, состоит из ньютоновского потенциала φ_1, порожденного массой m, и противоположного по знаку потенциала $\varphi_2 = -(\frac{1}{2}\frac{\varphi_1}{c^2})^2$. Это вторичное поле – поле отталкивания.

2. Гравитационное поле есть универсальное физическое поле, создаваемое всеми видами материи и проявляется оно в двух формах – как поле тяготения и фоновое поле. Поле тяготения – гравитационное поле в той его части (активной), которое проявляется как взаимное притяжении частиц вещества друг к другу, то есть как силы тяготения. Фоновое поле – гравитационное поле в той его части (пассивной), которое проявляется как взаимное отталкивание тяготеющих друг к другу свободных частиц вещества, то есть как силы инерции.

3. Масса тела есть мера его взаимодействия с единым гравитационным полем притяжения-отталкивания и проявляется она либо как масса тяжёлая, либо как масса инертная.

4. К каждой из гравитационно взаимодействующих частиц приложена как сила взаимного притяжения (тяготения) $\overline{F}$, так и сила их взаимного отталкивания (инерции) $\overline{J}$. В общем случае, в любой точки пространства, $\overline{F} + \overline{J} \neq 0$.

5. Существуют точки пространства, в которых выполняется соотношение $\overline{F} + \overline{J} = 0$ (стационарные орбиты, двигаясь по которым, частицы не излучают гравитационные волны).

6. Для макропроцессов, в связи с достаточно мощным однородным и изотропным фоновым полем, создаваемым всеми объектами вселенной, всегда $\overline{F} + \overline{J} = 0$ (принцип Даламбера), что и зафиксировано во втором законе Ньютона, но в другой форме, $\overline{F} = m\overline{a}$, то есть $\overline{J} = -m\overline{a}$.

7. Теория гравитации Эйнштейна есть релятивистское полевое обобщение динамического принципа Даламбера на базе постулата об эквивалентности сил инерции и тяготения, однако эту эквивалентность следует понимать как эквивалентность диалектических противоположностей.

Chinese J. of Systems Engineering and Electronics, Vol. 6, No. 4, 1995, pp. 107-114
Special Issue on Space, Time and Motion – Theory and Experiment

Перевод с английского

Теория гравитации Эйнштейна: альтернативный эксперимент и теория

Анатолий Ф. Потехин
Одесский государственный морской университет, Мечникова 34, Одесса, 65029, Украина
(Статья получена 21 октября 1994)

Аннотация. Обоснована постньтоновская теория гравитации в линейном и нелинейном приближениях в форме электродинамических уравнений Максвелла. Рассматриваются некоторые следствия из этой теории.
Ключевые слова: Гравитогироскопическое поле, смещение перигелия.

1. ВВЕДЕНИЕ.

В фундаменте общей теории относительности Эйнштейна заложены два краеугольных камня: общий принцип относительности и принцип эквивалентности. Как и в специальной теории относительности [1], оба эти принципа интерпретируются Эйнштейном неверно [2] и др.

Как следствие, следует признать, что на протяжении 3/4 столетия существования этой теории, она не нашла практического применения и не привела к изменению технологий. Это не может не настораживать.

В этой связи полезно напомнить, что кинематическая теория гравитации Птолемея-Коперника-Кеплера была вытеснена динамической теорией гравитации Ньютона. Затем снова наступил период кинематической теории гравитации Эйнштейна как теории пространства и времени. Следует признать, что, не имея динамической теории гравитации как технической теории, мы что-то потеряли.

Чтобы отразить динамический процесс движения материальных тел, Ньютон ввёл понятия приложенных сил и сил инерции.

Силы инерции имеют такой же универсальный характер, как и силы гравитационного притяжения. Что касается сил гравитационного притяжения, то Ньютон установил, что их источником являются материальные тела. Источников же сил инерции Ньютон не нашёл и ввёл их по определению как врождённые силы материи. Только Мах сделал предположение, что силы инерции также порождаются материальными телами. Развивая эту идею, Эйнштейн сформулировал принцип тождественной эквивалентности сил инерции и сил гравитационного притяжения, и обосновал на этой основе свою теорию гравитации [3]. Но уже из теории Ньютона следует, что силы инерции эквивалентны силам гравитационного притяжения лишь с точностью до знака (принцип Даламбера). К сожалению, Эйнштейн не принял во внимание, что взаимно тяготеющие тела порождают силы инерции, противоположные по знаку их силам гравитационного притяжения (***в противном случае, эти тела мгновенно схлопнулись бы***). А если это так, то второе (постньютоновское) приближение поля гравитации тела, должно быть полем отталкивания, а не притяжения. Так ли это? Ответить на этот вопрос можно, лишь создав независимую от теории Эйнштейна постньютоновскую теорию гравитации.

Делалось много попыток создать постньютоновскую теорию гравитации до Эйнштейна и после- [4], [5] и др. К сожалению, эти попытки оказались безуспешными. Трудно поверить в то, что постньютоновская теория гравитации не может быть создана непосредственно на базе физических фактов и аналогий, а не как результат упрощений уравнений Эйнштейна. Ниже даётся обоснование такой теории и рассматриваются некоторые следствия из неё.

ПОСТНЬЮТОНОВСКОЕ ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ – ЛИНЕЙНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

Работы Лоренца, Пуанкаре, Эйнштейна и др., в конечном итоге, привели к осознанию того, что система уравнений Максвелла, которая описывает электромагнитное поле на базе экспериментальных результатов, полученных Фарадеем, есть следствие кинематического эффекта: ограничения скорости распространения физических взаимодействий. В частности, не только изменение пространственного и временного интервалов, но и сжатие поля движущегося заряда в направлении его движения есть также чисто кинематический эффект, никак не связанный с физической природой источника поля – электрический заряд или гравитационный. Отсюда следует, что для любых взаимодействий кулоновского типа, можно построить теорию в форме электродинамики Максвелла.

Может существовать только четыре типа полей, которые описываются в форме системы уравнений Максвелла. Это следующие поля.

Поле I, создаваемое движущейся средой с положительной объемной плотностью ρ_e электрического заряда

$$\mathrm{rot}\,\overline{E} = -\frac{\partial \overline{B}}{\partial t}; \qquad \mathrm{div}\,\overline{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e; \tag{1}$$

$$\mathrm{rot}\,\overline{B} = \mu_0(\rho_e v + \varepsilon_0 \frac{\partial \overline{E}}{\partial t}); \qquad \mathrm{div}\,\overline{B} = 0. \tag{2}$$

Поле II , которое получается из поля I подстановкой $-\overline{E}$ вместо $\overline{E}$ и $-\overline{B}$ вместо $\overline{B}$.

Тот же результат можно получить подстановкой в уравнения поля I $-\rho_e$ вместо ρ_e. Это позволяет ввести понятие отрицательного электрического заряда и его поля II.

Поле III получается из поля I подстановкой $-\overline{E}$ вместо $\overline{E}$ и $\overline{B}$ вместо $\overline{B}$. Переобозначая $\overline{E}$ на $\overline{H}$ и $\overline{B}$ на $\overline{G}$, получим следующую систему уравнений, которые описывают это поле:

$$\mathrm{rot}\,\overline{H} = \frac{\partial \overline{G}}{\partial t}; \qquad \mathrm{div}\,\overline{H} = -\frac{1}{\gamma_0}\rho_m; \tag{3}$$

$$\mathrm{rot}\,\overline{G} = g_0(\rho_m \overline{v} - \gamma_0 \frac{\partial \overline{H}}{\partial t}): \qquad \mathrm{div}\,\overline{G} = 0, \tag{4}$$

здесь c - скорость света в вакууме, $\gamma_0 g_0 = \varepsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$.

Поле IY может быть получено из поля I подстановкой $\overline{H}$ вместо $\overline{E}$ и $-\overline{G}$ вместо $\overline{B}$.

Поля III и IY имеют такую же симметрию относительно заряда, как и поля I и II, т. е. поле IY получается из поля III подстановкой $-\rho_m$ вместо ρ_m. Но такой симметрии не существует между полями I и II, с одной стороны, и полями III и IY, с другой стороны. Всё, что мы знаем из экс-

периментов о взаимодействии электрических зарядов, описывается полями I и II. Следовательно, можно предположить, что поля III и IY описывают взаимодействия не электрической природы.

Из аналогии между законом Кулона в электростатике и законом тяготения Ньютона в гравитостатике, можно предположить, что полям III и IY соответствуют гравитационные взаимодействия. Известно существование гравитационных зарядов только одного знака. В таком случае, взаимодействию этих зарядов должно соответствовать поле III, для которого

$$\operatorname{div}\overline{H} = -\frac{1}{\gamma_0}\rho_m, \tag{5}$$

в соответствии с законом всемирного тяготения Ньютона. Тогда $\overline{H}$ есть напряжённость гравитационного поля, ρ_m есть плотность гравитационного заряда (гравитационной массы) и гравитационная константа $\gamma_0 = 1/4\pi k$ (k -гравитационная константа Ньютона).

Физический смысл вектора $\overline{G}$ устанавливается из рассмотрения взаимодействия гравитационных вихрей – это удвоенная угловая скорость прецессии пробного гироскопа в данном поле, вследствие которой его ось вращения ориентируется по направлению $\overline{G}$. Вектор $\overline{G}$, в таком случае, целесообразно назвать вектором гироскопической индукции, g - гироскопической константой и $\overline{H}\overline{G}$ поле - гравитогироскопическим полем как аналога электромагнитного поля.

ПОСТНЬЮТОНОВСКОЕ ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ – НЕЛИНЕЙНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

Из уравнений (3), (4) находим плотность субстанциальной энергии гравитогироскопического поля

$$w_0 = \frac{1}{2}(\gamma_0 H^2 + \frac{1}{g_0}G^2), \tag{6}$$

плотность потока энергии

$$\overline{S} = \frac{1}{g_0}\overline{H}\times\overline{G} \tag{7}$$

и плотность импульса поля

$$\overline{p}_f = \frac{\overline{S}}{c^2} = \gamma_0\overline{H}\times\overline{G}. \tag{8}$$

Согласно идеи Эйнштейна, поле гравитации также является источником поля гравитации. Поэтому, в уравнениях (3) и (4), мы должны принять во внимание наряду с плотностью массы ρ_m и плотностью количества движения вещества $\rho_m\overline{v}$, также плотность энергии w_0 и плотность количества движения поля $\overline{p}_f$. Тогда

$$\operatorname{div}\overline{H} = -\frac{1}{\gamma_0}(\rho_m + \rho_f), \tag{9}$$

$$\operatorname{rot}\overline{G} = g_0[(\rho_m\overline{v} + \overline{p}_f) - \gamma_0 \frac{\partial H}{\partial t}], \tag{10}$$

где

$$\rho_f = \frac{w_0}{c^2}. \tag{11}$$

Принимая во внимание величины w_0, $\overline{p}_f$ и (11), получим следующую систему уравнений, описывающих гравитогироскопического поля в нелинейном приближении

$$\operatorname{rot}\overline{H} = \frac{\partial \overline{G}}{\partial t}; \qquad \operatorname{div}\overline{H} = -\frac{1}{\gamma_0}\rho_m - \frac{1}{2}(\frac{1}{c^2}H^2 + G^2); \tag{12}$$

$$\operatorname{rot}\overline{G} = g_0(\rho_m\overline{v} - \gamma_0 \frac{\partial \overline{H}}{\partial t}) + \frac{1}{c^2}\overline{H}\times\overline{G}; \qquad \operatorname{div}\overline{G} = 0 \tag{13}$$

или, ограничиваясь только членами порядка v^2/c^2,

$$\operatorname{rot}\overline{H} = \frac{\partial \overline{G}}{\partial t}; \qquad \operatorname{div}\overline{H} = -(\frac{1}{\gamma_0}\rho_m + \frac{1}{2c^2}H^2); \tag{14}$$

$$\operatorname{rot}\overline{G} = g_0(\rho_m\overline{v} - \gamma_0 \frac{\partial \overline{H}}{\partial t}); \qquad \operatorname{div}\overline{G} = 0. \tag{15}$$

При $\rho_m = 0$ из (14, (15) получим систему уравнений, описывающих гравитогироскопические волны, которая, (в отличие от системы уравнений для электромагнитных волн) является нелинейной.

СМЕЩЕНИЕ ПЕРИГЕЛИЯ ПЛАНЕТ [6].

Гравитационное поле центрального тела, вращающегося с постоянной угловой скоростью вокруг оси - стационарно. В этом случае, согласно (14), вектор напряжённости поля $\overline{H}$ определяется из системы уравнений

$$\operatorname{rot}\overline{H} = 0; \qquad \operatorname{div}\overline{H} = -(\frac{1}{\gamma_0}\rho_m + \frac{1}{2c^2}H^2). \tag{16}$$

Следовательно, поле $\overline{H}$ потенциально, $\overline{H} = -\operatorname{grad} f$.

Будем искать потенциальную функцию f в виде

$$f = f_0 + \frac{1}{c^2}f_1 + \frac{1}{c^4}f_2 + \cdots \tag{17}$$

Если мы ограничиться только первыми двумя членами этого ряда, то найдём

$$f = -\frac{kM}{r}(1 - \frac{r_0}{2r}); \tag{18}$$

$$\overline{H} = -\frac{kM}{r^2}(1 - \frac{r_0}{r})\overline{r}^0, \tag{19}$$

где

$$r_0 = kM/2c^2, \tag{20}$$

M - масса центрального тела, $\overline{r}$ - радиус-вектор точки поля, $\overline{r} = r \cdot \overline{r}^0$.

Вектор гироскопической индукции $\overline{G}$ согласно (15) определяется системой уравнений

$$\operatorname{rot}\overline{G} = g_0 g \rho_m \overline{v}; \qquad \operatorname{div}\overline{G} = 0, \tag{21}$$

где g гироскопическая проницаемость среды (аналог магнитной проницаемости). Из этих уравнений находим вектор $\overline{G}$ (аналогично тому, как из подобных уравнений находится вектор магнитной индукции $\overline{B}$)

$$\overline{G} = r_0 g \cdot \frac{K_z}{M} \cdot \frac{3\overline{r}^0 \times (\overline{k} \cdot \overline{r}^0) - \overline{k}^0}{r^3}, \tag{22}$$

где K_z кинетический момент центрального тела относительно его оси вращения, $\overline{k}^0$ единичный вектор этой оси.

Далее ограничимся случаем, когда плоскость орбиты движущейся частицы перпендикулярна оси вращения тела, т. е. $\overline{r} \perp \overline{k}^0$. Тогда

$$\overline{G} = -r_0 g \cdot \frac{K_z}{M} \cdot \overline{k}^0. \tag{23}$$

С учётом равенства инертной и гравитационной масс, уравнение движения частицы в рассматриваемом поле имеет вид

$$\frac{d}{dt}[1 - (u/c)^2]^{-1/2}\overline{u} = \overline{H} + \overline{u} \times \overline{G}, \tag{24}$$

где $\overline{u}$ - вектор скорости частицы.

Используя (19), (23) и проектируя (24) на радиальное и трансверсальное направления, получим

$$\frac{d^2 r}{dt^2} - r(1 + \frac{r_0}{r})(\frac{d\psi}{dt})^2 = -\frac{kM}{r^2}(1 - \frac{r_0}{r}) - \frac{r_0 g}{r^2} \cdot \frac{K_z}{M}\frac{d\psi}{dt}, \tag{25}$$

$$r^2\left(1+\frac{2r_0}{r}\right)\cdot\frac{d\psi}{dt}+\frac{r_0 g}{r}\cdot\frac{K_z}{M}=h=\text{const} \tag{26}$$

Последнее из этих уравнений выражает закон сохранения кинетического момента системы. Из этого закона следует, что уменьшение кинетического момента центрального тела, сопровождается одновременным увеличением кинетического момента движущейся частицы.

После определения константы кинетического момента h,

$$h=\left(1+\frac{r_0}{R}\right)(kMR)^{\frac{1}{2}}+\frac{3}{2}\cdot\frac{r_0 g}{R}\cdot\frac{K_z}{M}, \tag{27}$$

где R - среднее значение радиуса орбиты частицы, получим следующее (дополнительное к ньютоновскому) значение для смещения перигелия планет (в радианах в секунду)

$$\theta=\frac{\pi kM}{2c^2a(1-e^2)T}+\frac{2\pi gK_z}{c^2a^{3/2}(1-e^2)^{3/2}T}\left(k/M\right)^{1/2} \tag{28}$$

здесь a - большая полуось, e - эксцентриситет орбиты, T – период вращения планеты.

Если мы примем во внимание только релятивистское значение количества движения планеты, тогда дополнительное смещение перигелия равно

$$\theta_1=\frac{\pi kM}{c^2a(1-e^2)T}. \tag{29}$$

Учёт лишь самодействия гравитационного поля даёт

$$\theta_2=\frac{-\pi kM}{2c^2a(1-e^2)T}. \tag{30}$$

Наконец, принимая во внимание только вращение центрального поля, получим

$$\theta_3=\frac{2\pi gK_z}{c^2a^{3/2}(1-e^2)^{3/2}T}\left(k/M\right)^{1/2} \tag{31}$$

Суммируя все эти результаты, получим приведенное выше значение для величины θ.

В общей теории относительности Эйнштейна дополнительное смещение перигелия планет обуславливается только центрально-симметричным стационарным полем Солнца, а вкладом от его вращения пренебрегают в связи с малостью величины и противоположностью знака. В предлагаемой же теории, вклад от вращения Солнца составляет 11/12 от суммарного дополнительного смещения перигелия планет и имеет тот же знак, что и это суммарное смещение.

В приближении $\theta\cong\theta_3$, отношения дополнительных смещений перигелиев двух планет i и k равно

$$\frac{\theta_i}{\theta_k} = (\frac{T_k}{T_i})^2 \tag{32}$$

Если мы определим величину gK_z из условия, что дополнительное смещение перигелия Меркурия составляет 42" в столетие, то величины смещения остальных планет находится в согласии с наблюдаемыми значениями.

Заметим, что согласно общей теории относительности

$$\frac{\theta_i}{\theta_k} = (\frac{T_k}{T_i})^{5/3} \tag{33}$$

С точки зрения предложенной теории, становятся понятными такие факты, как взаимная ориентация осей и направления вращения планет и Солнца, перераспределение кинетического момента между планетами и Солнцем в процессе эволюции солнечной системы и др.

ВЫВОДЫ

Делалось много попыток установить постньютоновскую теорию гравитации в форме электродинамических уравнений Максвелла. В данной статье это выполнено как в линейном, так и в нелинейном приближениях. Найдено, что уравнения гравитационного поля имеют тот же вид, что и уравнения Эйнштейна в постньютоновком приближении. Но имеется принципиальная разница между этими двумя теориями: они совпадают с точностью “до наоборот”. Например, если тело вращается вокруг оси, то для компонент его гравитационного поля, имеем

$$\overline{H} = -\frac{kM}{r^2}(1 \pm \frac{r_0}{r})\overline{r}^0; \tag{34}$$

$$\overline{G} = \pm r_0 g \cdot \frac{K_z}{M} \cdot \overline{k}^0, \tag{23}$$

где верхний знак "+" относится к геометрической теории Эйнштейна (поле Керра в постньютоновском приближении), нижний знак – к предложенной здесь теории гравитации.

Проверка правильности знака в альтернативном эксперименте позволит отбросить одну из этих теорий. Если верен верхний знак, то это будет соответствовать теории Эйнштейна, и тогда мы должны отказаться от теории гравитации в форме Максвелла. Если же эксперимент подтвердит нижний знак "-" , то:

а) будет подтверждено, что, дополнительное к ньютоновскому, смещение перигелия планет обусловлено вращением Солнца - вихревой компонентой его гравитационного поля;

б) необходимо осуществить экспериментальные исследования вихревой компоненты гравитационного поля, в частности, подтвердить возможность изменения этой компоненты в материальных средах, подобно тому, как в ферромагнитных средах изменяется магнитное поле, [6] (*заметим, что сама природа преподнесла нам такой эксперимент - уменьшение веса тел внутри смерчей и их перенос на значительные расстояния)*;

в) будет доказано, что гравитационное поле, генерируемое телом, квантуется на чередующиеся концентрические зоны притяжения – отталкивания, [7].

Данная статья публикуется, прежде всего, для того, чтобы привлечь внимание физиков-экспериментаторов к проведению указанного здесь альтернативного эксперимента.

ПРИЗНАТЕЛЬНОСТЬ

Автор признателен профессору Х. Е. Вильхельму, указавшего на публикации Хевисайда [8], Карстоу [9] и Бриллюэна [10]. Эти учёные предложили теорию гравитации в форме электродинамических уравнений Максвелла задолго до нас. Но их аналогия с введением в уравнения Максвелла отрицательных констант γ_0, g_0, даёт отрицательное значение плотности энергии w_0 и ведёт к уравнениям, которые не объясняют дополнительное смещение перигелия планет.

1. Xu Shaozhy, Xu Xiangqun, "Systematical scrutiny into special relativity". Chinese J. of Systems Engineering and Electronics. Vol.4, No.2. 1993, pp. 75- 85
2. Fock V., The Theory of Space, Time and Gravitation. Pergamon. London, 1959.
3. Einstein, A., "Die Grundlage der algemeneinen Relativitatstheories", Ann.Phys. (Leipzig), 49, 1916.
4. Pauli, W., Theory of Relativity, Pergamon Press,Oxford, 1958
5. Misner, C. W., Thorne, K. S., Wheeler, J. A., Gravitation, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1973.
6. Potjekhin, A. F., "On the motion of particle in a field of rotating body in the post-Newtonian approximation".Izvestija VUZOV. Phyzika. 5, pp.15-18, 1991. (SOVIET PHYSICS JOURNAL, Consultants Bureau, New York.).
7. Potjekhin, A. F. "The dynamical prerequisite of the theory of gravitation of Einstein". Reports of 8-th Russian Gravitational Conference, p. 258, Moscow, 1993.
8. Heaviside O, Electromagnetic Theory (1893), Dover, New York 1950; Appendix B, pp. 115- 118.
9. Carstoiu J, Comptes Rendus. (Acad. France) 268, pp. 201-263 (1969).
10. Brillouin L. Relativity Reexamined Academic Press, New York (1970)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТІ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗМІСТУ І МЕТОДІВ НАВЧАННЯ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МОРСЬКИЙ ІНСТИТУ

НОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ В УЧБОВИХ ЗАКЛАДАХ УКРАЇНИ

Одеса, червень 2-4, 1997

СТАТТІ
З МАТЕРІАЛІВ ДОПОВІДЕЙ
П'ЯТОЇ
УКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

Одеса – 1997
«КМП ОДМУ»

А.Ф. Потехин.

О РОЛИ ПОНЯТИЙНОГО АППАРАТА В ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУКАХ.

Важнейшая роль понятийного аппарата, в особенности в фундаментальных науках, была выявлена давно. Образцом продуманности, обоснованности и взаимосогласованности понятий могут служить Геометрия Евклида и Механика Ньютона, и это одна из причин непреходящей ценности, живучести и плодотворности этих теорий.

Анализ понятийного аппарата фундаментальной теории представляет собой важную проблему, решение которой может способствовать дальнейшему развитию самой этой теории. Рассмотрим в этом контексте Теорию относительности Эйнштейна. Базовым как для Специальной, так и для Общей теориии относительности является понятие «ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ». Однако в теории Эйнштейна строгой формулировки этого понятия нет, и анализ показывает, что под ним скрывается то кинематический принцип относительности, то динамический принцип относительности, то инвариантность, то ковариантность уравнений движения. Поэтому, рассмотрим генезис и эволюцию данного понятия.

Как руководящая идея научной системы, КИНЕМАТИЧЕСКИ ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ был провозглашен и применен Коперником. Суть этого принципа такова: «Взаимное движение тел не зависит от того, по отношению к какому из них это движение рассматривается, но восприниматься и описываться данное движение будет при этом различным образом». Так, например, в системе мира Птолемея принимается, что неподвижна Земля и все небесные тела движутся по отношению к ней, а в гелиоцентрической системе мира Коперника рассматривается движение всех небесных тел по отношению к неподвижному Солнцу. И если в геоцентрической системе Птолемея планеты движутся по сложным петлеобразным траекториям, то у Коперника это концентрические окружности вокруг Солнца. Очевидно, что с кинематической точки зрения обе эти системы отсчета равноправны в том смысле, что от изменения «точки зрения» взаимное движение небесных тел не изменится.

В процессе борьбы за гелиоцентрическую систему мира, Галилей экспериментально опроверг доводы сторонников системы мира Птолемея в защиту неподвижности Земли и сформулировал ДИНАМИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ: «Никакими механическими опытами внутри замкнутых физический лабораторий нельзя обнаружить их поступательное, равномерное и прямолинейное движение друг относительно друга». Заметим, что динамический принцип относительности, как и кинематический, не дает возможности выявить «истинно покоящиеся» системы отсчета.

Динамический принцип относительности не только опроверг доводы сторонников Птолемея против гелиоцентрической системы мира, но, вплоть до Ньютона, был руководящим принципом при доказательстве тех или иных положений механики, например, в теории удара Гюйгенса.

Ньютон, обобщая и развивая накопленные его предшественниками знания, создал цельную теорию о механических движениях и механических взаимодейст-

виях материальных тел. Его теория включает в себя, конечно, как кинематический, так и динамический принцип относительности. Необходимости прибегать к этим принципам для доказательства тех или иных положений механики после Ньютона больше не было, так как они, будучи включенными в нее в основных понятиях, определениях и законах, получаются как следствия.

Чтобы вырваться из лабиринта равноправных в кинематическом отношении систем отсчета, Ньютон выделил одну, привилегированную в динамическом отношении систему отсчета, названную им абсолютной. С достаточно большой точностью она моделируется гелиоцентрической системой отсчета Коперника, привязанной к сфере удаленных звезд, относительно которой Ньютон и формирует свои законы.

Применяя законы Ньютона, можно описать любые механические взаимодействия в этой абсолютной системе отсчета. Для того же чтобы узнать, как будут выглядеть и описываться эти же явления в любом другой системе отсчета, достаточно выполнить формально-математическую операцию преобразования координат и времени от одной системы отсчета к другой. При этом если уравнения движения при некотором преобразовании систем отсчета сохраняют свой вид, но не сохраняют выражения для входящих в них функций, то говорят, что эти уравнения движения ковариантны относительно данного преобразования. Если же эти уравнения движения при некотором преобразовании сохраняют не только свой вид, но и выражения для входящих в них функций, то говорят, что они инвариантны относительно данного преобразования. Так обстоит дело с кинематическим принципом относительности в классической механике Ньютона. Что же касается динамического принципа относительности Галилея, то он заложен в первом законе Ньютона, законе инерции, и сформулирован им в Следствии V его «Начал».

Из всего сказанного выше можно сделать следующие выводы о том принципиальном различии, которое существует между динамическим и кинематическим принципом относительности. Динамический принцип относительности есть объективный закон протекания процессов в природе, а кинематический принцип относительности есть субъективный акт восприятия и описания этих процессов. В динамическом принципе относительности рассматриваются по отдельности идентичные процессы в каждой из физических лабораторий, движущихся друг относительно друга поступательно равномерно и прямолинейно, а в кинематическом – один и тот же процесс относительно разных физических лабораторий, движущихся друг относительно друга, вообще говоря, произвольным образом.

К сожалению, эти, элементарные, на первый взгляд, истины не были четко вычленены. И когда 200 лет спустя после выхода «Начал» Ньютона необходимо были с позиций этих двух принципов относительности осмыслить накопленные результаты в той области знаний, которая не была охвачена механикой, в электродинамике, то ученые оказались к этому не готовы. И произошла удивительная метаморфоза понятия.

Подводя итоги всех попыток обнаружить «абсолютное движение» с помощью оптических опытов. Пуанкаре заключает: «На первый взгляд кажется, что аберрация света и связанные с ней оптические и электрические явления дают нам средство для определения абсолютного движения Земли или вернее, ее движение

не по отношению к другим небесным телам, а по отношению к эфиру. На самом деле это не так… и Майкельсон, придумавший опыт, в котором становятся уже заметными члены, зависящие от квадрата аберрации, в свою очередь, потерпел неудачу. Невозможность обнаружить абсолютное движение Земли, представляет, по-видимому, общий закон природы». И далее: «Мы естественно приходим к тому, чтобы принять этот закон, который мы назовем постулатом относительности».

Итак, развитие науки привело к необходимости распространить динамический принцип относительности классической механики и на электромагнитные процессы. Пуанкаре был первым, кто сделал это обобщение. Но, к сожалению, Пуанкаре был также первым, кто отождествил динамический принцип относительности с кинематическим, а затем и с инвариантностью уравнений движения относительно преобразования пространственно–временных координат при переходе от одной системы отсчета к другой. «Пуанкаре получил полную инвариантность уравнений электродинамики и сформулировал ПОСТУЛАТ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ… термин, впервые введенный им» – писал позже Г. Лоренц.

Вход в логическую ловушку подмены понятий – динамический принцип относительности – кинематический принцип относительности – инвариантности был открыт. Вслед за Лоренцем в эту ловушку попадает Эйнштейн и окончательно заводит в нее науку XX века. С выходом из этой ловушки связан дальнейший прогресс физики XXI века, и, прежде всего, прорыв области динамической Теории гравитации.

Потехин А.Ф.

ОБ ЭВОЛЮЦИИ ПРИНЦИПА ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ОТ КОПЕРНИКА ДО ЭЙНШТЕЙНА

Одесский государственный морской университет.
270029, Одесса, ул. Мечникова 34. УКРАИНА

Перевод с англ.

Статья напечатана в сборнике научных статей
FUNDAMENTAL OPEN PROBLEMS IN SCIENCE AT THE TURN OF THE MILLENNIUM
Hadronic Presss (USA). Vol **II**, 1999 pp .627 – 644

и в этом же году перепечана периодическим научным журналом (США)
Hadronic Journal Supplement, 14, 297-313 (1999)

Проведен анализ и разорван замкнутый круг логической ловушки Пуанкаре-Эйнштейна, связанной с взаимной подменой таких понятий как ***динамический принцип относительности, кинематический принцип относительности, инвариантность и ковариантность уравнений движения***. Это обуславливает необходимость пересмотра физического содержания исходных принципов СТО и ОТО Эйнштейна.

ВВЕДЕНИЕ.

Прочитав данную статью, можно подумать: “Все то, о чем здесь говорится, тривиально и давно уже известно“. Чтобы убедиться в том, что это не так, советуем вначале прочитать вопросы приложения 1 к данной статье и подчеркнуть те ответы на них, которые вы считаете правильными. Затем вернитесь к вашим ответам после прочтения данной статьи. Как будет показано далее, даже такие выдающиеся ученые как Пуанкаре и Эйнштейн с удивлением обнаружили бы, что они с ответами на эти вопросы заблуждались.

ОТ КОПЕРНИКА ДО НЬЮТОНА.

Механическая форма движения есть перемещение тел в пространстве с течением времени друг по отношению к другу. Уже из самого этого определения следует, что механическое движение есть понятие относительное в том смысле, что для его задания необходимо указать то тело (связанную с ним систему отсчёта), по отношению к которому рассматривается движение других тел. Но механическое движение относительно и в другом смысле: из утверждения, что тело А движется относительно тела В, следует равносильное ему противоположное утверждение, что тело В движется относительно тела А. Поэтому в кинематике, в которой только и рассматриваются пространственно-временные взаимоотношения тел, выбор тела отсчёта произволен – любое из тел рассматриваемой механической системы может быть выбрано в качестве “неподвижного”. Эти положения были известны давно. Так, уже Вергилий (I в. до н. э.) писал: “***В море из порта идем, и отходят и земли и грады***”. Однако, как руководящая идея научной системы, ***кинематический принцип относительности*** был провозглашен и применен Коперником (1473-1543). Суть этого принципа такова: “***Взаимное движение тел не зависит от того, по отношению к какому из них это движение рассматривается, но восприниматься и описываться данное движение будет при этом различным образом***”. Так, например, в системе мира Птолемея (II в. н. э.) принимается, что неподвижна Земля и все небесные тела движутся по отношению к ней, а в гелиоцентрической системе мира Коперника рассматривается движение всех небесных тел по отношению к неподвижному Солнцу. И если в геоцентрической системе Птолемея планеты движутся по слож-

ным петлеобразным траекториям, то согласно Копернику эти планеты движутся по концентрическим окружностям вокруг Солнца. Очевидно, с кинематической точки зрения обе эти системы отсчёта равноправны в том смысле, что от изменения "точки зрения" взаимное движения небесных тел не изменится. Но система мира Коперника предпочтительнее, если руководствоваться эвристическим "принципом простоты" описания процесса, провозглашенным позже Пуанкаре (1854 - 1912) и явившимся руководящим принципом для Эйнштейна (1879 - 1955). В обоснование кинематического принципа относительности Коперник приводит следующий пример: "***Так, при движении корабля в тихую погоду все находящиеся вне представляется мореплавателям движущимся, как бы отражая движение корабля, а сами наблюдатели, наоборот, считают себя в покое со всем с ними находящимся. Это же, без сомнения, может происходить и при движении Земли, так что мы думаем, будто вокруг нее вращается вся Вселенная***" [1].

Определить с помощью кинематического принципа относительности, какое из тел "истинно покоится" невозможно. Это понимал уже Птолемей, поэтому, опровергая мнение о возможности движения Земли (Гераклит, IY в. до н. э. и др.) относительно Солнца и сферы удаленных звезд, он приводит следующие доводы: если бы Земля вращалась вокруг своей оси и Солнца, то её поверхность перемещалась бы с огромной скоростью; все неровности и здания были бы снесены; облака и птицы остались далеко позади; камень, брошенный с башни, не упал бы у её подножия и т.д. А так как этого не происходит, говорит Птолемей, то именно Земля покоится и является центром мира, Однако, в процессе борьбы за гелиоцентрическую систему мира, Галилей (1564-1642) убедительно опроверг эти доводы. Пусть в каюте без иллюминаторов покоящегося корабля проделываются некоторые опыты. "***Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью***, - пишет Галилей, - ***и тогда (если только движение будет равномерным и без качки в ту и другую стороны) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и не по одному из них не сможете установить движется ли корабль или стоит неподвижно.. И причина согласованности всех этих явлений заключается в том, что движение корабля общее всем находящимся на нем предметам, так же и воздуху***"

Эти опыты Галилея в замкнутой каюте корабля принципиально отличаются от наблюдений за явлениями вне корабля у Коперника и позволили сформулировать ***динамический принцип относительности:*** "***Никакими механическими опытами внутри замкнутых физических лабораторий нельзя обнаружить их поступательное, равномерное и прямолинейное движение друг относительно друга***". Заметим сразу, что динамический принцип относительности, как и кинематический, не даёт возможности выявить "истинно покоящиеся" системы отсчёта.

Динамический принцип относительности не только опроверг доводы сторонников Птолемея против гелиоцентрической системы мира, но вплоть до Ньютона был руководящим принципом при доказательстве тех или иных положений механики. Проследим, например, за тем, как Гюйгенс (1629-1695), используя оба принципа относительности, развивает теорию удара в мемуаре "О движении тел под влиянием удара" [3]. Вначале вводится гипотеза "***Если два одинаковых тела, движущихся с одинаковой скоростью навстречу друг другу, сталкиваются прямым ударом, то каждое из них отскакивает назад с той же скоростью, с какой ударилось***". Затем используется динамический принцип относительности, сформулированный Гюйгенсом в виде следующей гипотезы: "***Если пассажир корабля, движущегося равномерно, вызовет удар двух шаров с одинаковыми, опять таки по отношению к пассажиру и кораблю, скоростями, то эти шары отскочат с одинаковыми по отношению к пассажиру и кораблю скоростями, совсем так, как если бы пассажир вызвал удар этих шаров на неподвижном корабле или берегу***". Наконец, применяется кинематический принцип относительности: за ударом и взаимным движением указанных выше шаров на движущемся корабле наблюдает также человек на берегу. Если шары движутся вдоль корабля, а корабль плывет со скоростью одного из шаров, то для наблюдателя на берегу получается доказанным положение: "***Если с покоящимся телом соударяется одинаковое с ним тело, то ударившее тело приходит в состояние покоя, а покоящееся тело приходит в движение со скоростью ударившегося о него***". Аналогично Гюйгенс доказывает и ряд других положений теории удара упругих шаров. По сравнению с Коперником Гюйгенс, с одной стороны, сужает кинематической принцип относительности, так как относит его только к вза-

имным поступательным, равномерным и прямолинейным движениям систем отсчёта. С другой стороны, расширяет его, так как относит этот принцип не только к взаимному движению тел наблюдаемой системы, но и к их механическому взаимодействию.

Ньютон, обобщая и развивая накопленные его предшественниками знания, создал цельную теорию о механических движениях и механических взаимодействиях тел [4]. Его теория включает в себя, конечно, как кинематический, так и динамический принципы относительности. Необходимости прибегать к этим принципам для доказательства тех или иных положений механики после Ньютона больше не было, так как они, будучи включенными в нее в основных понятиях, определениях и законах, получаются как следствия. ***Чтобы вырваться из лабиринта равноправных в кинематическом отношении систем отсчёта, он выделил одну, привилегированную систему отсчёта, названную им абсолютной***. С достаточно большой точностью она моделируется гелиоцентрической системой отсчёта Коперника, привязанной к сфере удаленных звезд, относительно которой Ньютон и формирует свои законы.

Применяя законы Ньютона, можно описать любые механические взаимодействия в этой абсолютной системе отсчёта. Для того же чтобы узнать, как будут выглядеть и описываться эти же явления в любой другой системе отсчёта, достаточно выполнить формально-математическую операцию преобразования координат и времени от одной системы отсчёта к другой. Согласно кинематическому принципа относительности, физический процесс не зависит а) от того, в какой форме записано уравнение, описывающее какой-либо механический процесс; б) относительно какой из систем отсчёта рассматривается этот процесс.

Если уравнения движения при некотором преобразовании систем отсчёта сохраняют свой вид, но не сохраняют выражения для входящих в них функций, то говорят, что эти уравнения движения ***ковариантны*** относительно данного преобразования. Если же уравнения движения при некотором преобразовании сохраняют не только свой вид, но и выражения для входящих в них функций, то говорят, что они ***инвариантны*** относительно данного преобразования.
Лишь с эвристической точки зрения “просты записи” уравнений движения, можно отдать предпочтение таким формам их записи и таким системам отсчёта, что преобразования пространственных и временной координат при переходе от одной из них к другой оставляют эти уравнения инвариантными. Ход течения механического процесса безразличен к нашему субъективному восприятию этого процесса - выбору системы отсчёта и формы записи уравнений, описывающих данный процесс.

Так обстоит дело с кинематическим принципом относительности в классической механике Ньютона. Что же касается динамического принципа относительности Галилея, то он заложен в первом законе Ньютона, законе инерции: ***физические свойства пространства - времени таковы, что движение изолированной материальной частицы не зависит: ни от того, где она находится по отношению к сфере удаленных звезд; ни от, того, как ее движение ориентированно по отношению к сфере удаленных звезд; ни от того, какова у нее величина скорости по отношению к ним и, наконец, ни от того, в какой момент времени это движение началось***. Отсюда ясно, что 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***”. Это следствие чрезвычайно важно, т.к. оно позволяет применять законы Ньютона не только к “абсолютной” системе отсчёта, привязанной к сфере удаленных звезд, но и ко всем физическим лабораториям (системам отсчёта), которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно по отношению к сфере удаленных звезд (следовательно, и по отношению друг к другу).

Все эти системы отсчёта получили название инерциальных. Следовательно, инерциальные системы отсчёта выделены не кинематическим, а динамическим принципом относительности - ***это такие системы отсчёта, в каждой из которых идентичные механические процессы протекают одинаково***.

Если именно так определять понятие инерциальных систем отсчёта, то уже Ньютону было ясно, что существует, помимо определенных выше, еще один класс инерциальных систем отсчёта. Это все системы отсчёта, связанные с физическими лабораториями, которые "падают" ускоренно в однородном гравитационной поле и о которых Ньютон говорит в Следствии YI: "***Если несколько тел, движущихся как бы то ни было друг относительно друга, будет подвержено действию равных ускоряющих сил направленных по параллельным между собой прямым, то эти тела будут продолжать двигаться друг относительно друга также, как если бы сказанные силы на них не действовали***." В обосновании этого принципа Ньютон ссылается на равенство инертной и гравитационных масс и свои законы динамики.

В "падающих" системах отсчёта из уравнений движения материальных частиц "выпадает" общая для всех них сила тяготения. Определение же силы тяготения при "падении" всех планет на Солнце, а Луны и "яблока" на Землю, т.е. формулировка закона всемирного тяготения, была одной из основных целей Ньютона. Поэтому этот класс инерциальных систем отсчёта Ньютон далее явно не использует.

Обращает на себя внимание идентичность формулировок и доказательств, а также следование друг за другом Следствий Y и YI. Это не случайно. Следствий YI есть ***обобщение динамического принципа относительности*** Галилея: "***Никакими механическими опытами внутри замкнутых физических лабораторий нельзя обнаружить не только их поступательное, равномерное и прямолинейное движение друг относительно друга, но также и "падение" с общим ускорением в однородном гравитационном поле***." Отсюда сразу следует, что не только "абсолютную" скорость, но и "абсолютное" ускорение по механическим опытам внутри "падающих" замкнутых физических лабораторий обнаружить нельзя. Поддаются измерению лишь скорости и ускорения тел друг относительно друга.

Из всего сказанного выше можно сделать следующие выводы о том принципиальном различии, которое существует между динамическим и кинематическим принципами относительности.

Динамический принцип относительности есть объективный закон протекания процессов в природе, а кинематический принцип относительности есть субъективный акт восприятия и описания этих процессов.

В динамическом принципе относительности рассматриваются по отдельности идентичные процессы в разных физических лабораториях, движущихся друг относительно друга поступательно равномерно и прямолинейно, а в кинематическом - один и тот же процесс относительно разных физических лабораторий, движущихся друг относительно друга, вообще говоря, произвольным образом.

Динамический принцип относительности, являясь экспериментальным фактом и отражая объективный закон природы, требует применения одних и тех же уравнений движения при одних и тех же начальных условиях для описания идентичных процессов в каждой из физических лабораторий, движущихся друг относительно друга поступательно равномерно и прямолинейно. Кинематический же принцип относительности связан с формально-математическим преобразованием уравнений движения и начальных условий, описывающих один и тот же процесс, при переходе от одной системы отсчёта к другой. В частности, эти уравнения движения могут быть инвариантными или ковариантными относительно некоторых преобразований.

Динамический принцип относительности является понятием физическим и его выполнение никак не связано с формой записи уравнений движения, в частности, он вовсе не требует написания этих уравнений в инвариантной или ковариантной форме по отношению к тем или иным преобразованиям систем отсчёта. Динамический принцип относительности, как объективный закон природы, не может измениться от изменения формы записи уравнений, описывающих тот или

иной процесс, а также от изменения формул преобразования при переходе от одной системы отсчёта к ругой,

Инвариантность и ковариантность уравнений движения по отношению к некоторым преобразованиям есть понятия ***математические***. Даже если некоторый процесс описывается уравнениями в инвариантной форме, это еще не обозначает его одинаковость в движущихся друг относительно друга системах отсчёта, по отношению к которым эти уравнения инвариантны. Более того, можно ***a priori*** утверждать, что в разных системах отсчёта этот процесс не будет выглядеть одинаково, (вспомните опыты Гюйгенса с шарами) так как их взаимное движение не позволит сформулировать одинаковые начальные условия в этих системах отсчёта, по крайней мере, по начальным скоростям, Лишь эксперимент может показать выполняется или не выполняется динамический принцип относительности в смысле Галилея-Ньютона. Являясь утверждением (в доступных для экспериментов части Вселенной) о физических свойствах пространства и времени или, что одно и то же, о физических свойствах того физического поля, в котором "падает" наша Земля вместе с нашей Солнечной системой, вместе с нашей Галактикой, вместе с нашей группой Галактик и.д., динамический принцип относительности логическому, формально-математическому доказательству не подлежит.

Итак, из динамического принципа относительности не следует инвариантность уравнений движения по отношению к тем или иным преобразованиям систем отсчёта, а из их инвариантности не следует динамический принцип относительности. Это просто разные понятия – см. приложение 2 .

К сожалению, эти элементарные, на первый взгляд, истины не были четко вычленены. И когда 200 лет спустя после выхода "Математических начал натуральной философии" Ньютона необходимо было с позиций принципа относительности осмыслить накопленные результаты в той области знаний, которая не была охвачена классической механикой - в электродинамике, то ученые оказались к этому не готовы. И с этим принципом произошла удивительная метаморфоза

ОТ ПУАНКАРЕ ДО ЭЙНШТЕЙНА.

Подводя итоги всех попыток обнаружить "абсолютное движение" с помощью оптических опытов, Пуанкаре заключает: "***На первый взгляд кажется, что аберрация света и связанные с ней оптические и электрические явления дают нам средство для определения абсолютного движения Земли или, вернее, ее движения не по отношению к другим небесным телам, а по отношению к эфиру, На самом деле это не так ... и Майкельсон, придумавший опыт, в котором становятся уже заметными члены, зависящие от квадрата аберрации, в свою очередь, потерпел неудачу. Невозможность обнаружить движение Земли, представляет, по-видимому, общий закон природы***"[5]. И далее: "***Мы естественной приходим к тому, чтобы принять этот закон, который мы назовем постулатом относительности***" [6].

Итак, развитие науки привело к необходимости распространить динамический принцип относительности классической механики и на электромагнитные процессы. Пуанкаре был первым, кто сделал это обобщение. Но, к сожалению, Пуанкаре был также первым, кто отождествил динамический принцип относительности с кинематическим и сформулировал принцип согласно которому: "...**Законы физических явлений должны быть одинаковыми для неподвижного наблюдателя и для наблюдателя, совершающего равномерное поступательное движение, так что мы имеем и не можем иметь никакого способа определить, находимся ли мы в подобном движении или нет**" [7]. И, наконец, Пуанкаре был первым, кто отождествил динамический принцип относительности с инвариантностью уравнений движения относительно преобразования пространственно - временных координат при переходе от одной системы отсчёта к другой: "***Пуанкаре получил инвариантность уравнений электродинамики и сформулировал "постулат относительности" – термин, впервые введенный им***" [8].

Вход в логическую ловушку подмены понятий ***динамический принцип относительности - кинематический принцип относительности - инвариантность*** был открыт. И вслед за Ло-

ренцем (1853 - 1928) в эту ловушку незаметно для себя попадает А. Эйнштейн и окончательно заводит в нее науку XX века.

"***Уже поверхностный анализ процессов***, - пишет Эйнштейн, - ***называемых нами движением, учит нас, что можно воспринимать только относительные движения предметов. Сядем в железнодорожный вагон, и будем смотреть на движущийся мимо нас (по соседнему пути) другой вагон... Наблюдатель, находящийся в "движущимся" железнодорожном вагоне, с совершенно таким же правом может сказать, что вагон покоится, а земля или же телеграфные столбы движутся***" [9].

Мы, конечно узнаем в этом высказывании пример, иллюстрирующий кинематический принцип относительности. Но продолжим цитирование.

"***Представим себе опять равномерно движущийся по прямолинейному пути вагон. Пусть его окна не пропускают воздух и свет; рельсы и колеса пусть будут абсолютно гладкими. Пусть в вагоне находится физик, вооруженный всеми мыслимыми приборами. Тогда мы знаем, что все опыты, проделываемые физиком, проходят точно так, как если бы вагон покоился или двигался с другой скоростью, Это и есть, в сущности, то утверждение, которое физики называют "принципом относительности". В несколько более общей формулировке этот принцип можно высказать и так: "Законы природы, которые замечает наблюдатель, оказываются независящими от его состояния движения***" [9].

Конечно же, в этом последнем высказывании Эйнштейн дает совершенно верную формулировку динамического принципа относительности. Но, оказывается, для Эйнштейна оба приведенные выше высказывания о движущихся вагонах выражают один и тот же принцип относительности: "***Это утверждение звучит безобидно и естественно. Оно никогда не взволновало бы людей, если бы законы распространения света, к которым привело новейшее развитие электродинамики, не казались не совместными с этим принципом. Дело в том, что явления оптики движущихся сред привели к выводу, что свет распространяется в пустоте с постоянной скоростью, совершенно не зависимой от движения источника света. Однако этот результат выглядит противоречащим только что изложенному принципу относительности***" [9].

Прервемся. Какому принципу относительности противоречит указанное явление оптики, Если динамическому, то это неверно, так как подобно тому, как в опытах Галилея скорость движения бильярдного шарика относительно каюты не зависит от переносного, равномерного и прямолинейного движения корабля, так и в опыте Майкельсона скорость света относительно Земли не зависит от её переносной скорости. Или иначе - не только механические, но и оптические опыты не позволяют обнаружить "абсолютной" скорости движения Земли, т.е. оптический опыт Майкельсона не противоречит динамическому принципу относительности, а подтверждает его. Тогда, если утверждение "***свет распространяется в пустоте с постоянной скоростью совершенно независимой от движения источника света"*** противоречит ***принципу относительности***, то Эйнштейн имеет здесь в виду именно кинематический принцип относительности: "***Ибо если луч света распространяется с постоянной скоростью относительно некоторого наблюдателя, то кажется, что относительно другого наблюдателя, который сам движется в направлении распространения света, скорость луча света должна быть меньше, чем относительно первого наблюдателя***" [9].

И затем следует образец неверного логического заключения, когда одно понятие (динамический принцип относительности) подменяется другим (кинематический принцип относительности): "***Но если бы это было так, то в противоречии с изложенным выше принципом относительности*** (очевидно, что динамическим - А.П.) ***закон распространения света в пустоте не был бы одинаковым для наблюдателей*** (а согласно кинематического принципа относительности он и не должен быть одинаковым - А.П.), ***равномерно движущихся относительно друг друга***" [9].

Итак, постулат постоянства скорости света, если его понимать как требование постоянства скорости света, исходящего от одного из того же источника света, относительно всех наблюдателей, движущихся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, безуслов-

но, противоречит кинематическому принципу относительности классической механики. Но этот постулат Эйнштейна еще требует более точного экспериментального подтверждения, так как высокоточный опыт Майкельсона - Морли к этому постулату не имеет никакого отношения [10] и др.

Далее Эйнштейн все более расширяет свое толкование понятия ***принцип относительности*** и отождествляет его с инвариантностью: "***Если какая-нибудь общая физическая теория формулируется в системе К, то с помощью уравнений преобразования... получится система уравнений, отнесенная к системе К′. В <u>соответствии с принципом относительности</u> (? – А. П.) эта система уравнений должна точно совпадать с системой уравнений, отнесенной к системе К*** " [11]. Но в таком случае: "***Тогда возникает вопрос, ограничивается ли <u>этот принцип</u> равномерным движением. Может быть законы природы устроены так, что они одинаковы и для двух наблюдателей, движущихся относительно друг друга не равномерно? В последние годы выяснилось, что такое обобщение теории относительности возможно и оно приводит к общей теории относительности***" [9]. Таким образом, пишет Эйнштейн, "***под общим принципом относительности мы подразумеваем утверждение, что все тела отсчёта К, К′ и т.д. эквивалентны в отношении описания природы (формулирования общих законов природы), каким бы ни было их состояние движения***" [12]. Здесь принцип относительности отождествлен уже с ковариантностью, т.е. с формально - математическим требованием записывать уравнения движения физических процессов в ковариантной форме относительно произвольных преобразований при переходе от одних систем отсчёта к другим.

К необходимости формулировки законов природы в ковариантной форме Эйнштейн приходит и с другой стороны – через принцип эквивалентности сил инерции и гравитации и "***в этом отношении опыт Этвеша*** (1848-1919) ***играет роль, сходную с ролью опыта Майкельсона в вопросе о возможности физически обнаружить равномерное движение... То обстоятельство, что в неускоренных системах отсчёта тела ведут себя при наличии поля тяжести в точности также, как если бы система отсчёта была ускоренной, принуждает нас к попытке распространить принцип относительности на случай ускоренных систем отсчёта***" [13]. С таким утверждением Эйнштейна нельзя не согласиться, т.к. это есть лишь другая формулировка обобщенного динамического принципа относительности Ньютона, сформулированного в Следствии YI [4]. Но, к сожалению, далее Эйнштейн проводит ту же линию на отождествление динамического принципа относительности с кинематическим и далее с ковариантностью: "***С математической точки зрения это сводится к тому, что к уравнениям, выражающим законы природы, мы предъявляем требования ковариантности не только относительно линейных ортогональных преобразований, но и относительно более общих, в особенности нелинейных, преобразований, поскольку лишь нелинейные преобразования соответствуют переходу к относительно ускоренным системам***" [13].

Из этого логического лабиринта взаимной подмены понятий ***динамический принцип относительности - кинематический принцип относительности - инвариантность - ковариантность*** Эйнштейн так и не смог выбраться до конца своей жизни. И в этот лабиринт до сих пор заводит все новые и новые поколения современная научная и учебная литература, несмотря на то, что критических замечаний на сей счет было предостаточно. Чтобы убедиться в этом, достаточно обратиться к широко известной физическим энциклопедиям "Курс теоретической физики" Ландау и Лифшица ("Теория поля", и др.), "Фейнмановский курс лекций", "Берклеевский курс лекций" и др. Даже критически настроенные к теории Эйнштейна авторы не замечают, что они являются пленниками этого лабиринта.

Пространство - время того физического мира, в котором мы "падаем", однородно и изотропно. От этого факта никуда не деться, поэтому возврат на направление Ньютона-Максвелла в этом плане неизбежен. Фундамент для такого возврата, на наш взгляд, в области СТО заложил H.E. Wilhelm [14-15], а в области ОТО А. А. Логунов [16]. Не последнюю роль должен сыграть и предложенный нами альтернативный эксперимент [17, 18]

Следует ли, что в силу всего сказанного выше, от СПЕЦИАЛЬНОЙ И ОБЩЕЙ ТЕОРИЙ Эйнштейна надо отказаться? Безусловно, нет. И преобразования в плоском и искривленном про-

странствах сохранятся как эффективный и полезный математический инструмент в физике - [19, 20] и др. Но всё то, что в этих теориях Эйнштейна есть рационального, должно быть еще вычленено и переосмыслено с непредвзятой точки зрения. И это будет одной из основных задач науки нового XXI века.

ВЫВОДЫ.

1. В основе СТО Эйнштейна лежит формально - математическое требование инвариантности формулировок законов природы в инерциальных системах отсчёта, что вынужден был признать и сам Эйнштейн: ***"Все содержание специальной теории относительности заключено в постулате: законы природы инвариантны относительно преобразований Лоренца"*** [21].
2. В основе ОТО Эйнштейна лежит формально - математическое требование ковариантности формулировок законов природы в произвольных системах отсчёта, что вынужден был признать и сам Эйнштейн: "***Она*** (ОТО - А.П.) ***представляет собой чисто формальную точку зрения, а не какую - то определенную гипотезу о природе. Ибо всякую систему законов, вообще имеющую смысл, можно выразить в общековариантном виде"*** [22].
3.Ни специальный принцип относительности Эйнштейна (инвариантность) ни его общий принцип относительности (ковариантность) не имеют никакого отношения, как к динамическому принципу относительности Галилея, так и к обобщенному динамическому принципу относительности Ньютона. Поэтому опыты, подтверждающие принцип относительности Галилея-Ньютона, не являются экспериментально - физической основой ни для СТО, ни для ОТО Эйнштейна.
4. Из опыта Майкельсона - Морли не следует, что свет, испущенный одним и тем же источником света, распространяется с постоянной по величине скоростью относительно всех систем отсчёта, движущихся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно. Поэтому опыт Майкельсона - Морли не является экспериментально - физической основой для СТО Эйнштейна.
5.Из опыта Этвеша не следует, что "***для объяснения равенства инертной и тяготеющей масс в теории необходимо допустить нелинейные преобразования четырех координат***", т.е., что "***уравнения, выражающие законы природы должны быть ковариантны по отношению ко всем непрерывным преобразованиям координат***", [23]. Поэтому опыт Этвеша не является экспериментально - физической основой для ОТО Эйнштейна.
6. Не существует экспериментально - физической основы, которая могла -бы подтвердить требование СТО Эйнштейна формулировки всех законов природы в Лоренц-инвариантной форме относительно систем отсчёта, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно.
7. Не существует экспериментально-физической основы, которая могла-бы подтвердить требование ОТО Эйнштейна формулировки всех законов природы в ковариантной форме относительно систем отсчёта, произвольно движущихся друг относительно друга.

Приложение 1.

ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ НА ЗНАНИЕ ПРИНЦИПА ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В СТО И ОТО ЭЙНШТЕЙНА.

(Подчеркните Ваш ответ на вопрос).

Сальвиати. ***Я не хочу ничего, кроме того, чтобы вы говорили или отвечали только то, что сами достаточно знаете.***
Симпличио. ***Я буду отвечать то, что знаю, и уверен, что затруднений у меня будет мало*** [2].

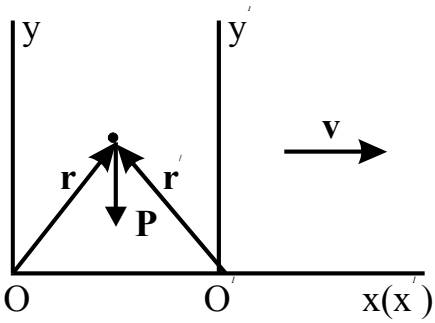
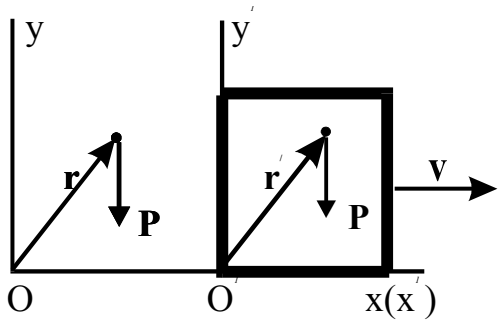
1. Существует ли различие между динамическим и кинематическим принципами относительности? (Да Нет.)
2. Принцип относительности Галилея, красочно им описанный по явлениям на двух кораблях, один из которых движется поступательно равномерно и прямолинейно относительно другого, есть принцип динамический или кинематический? (Динамический. Кинематический).
3. Какой принцип относительности (динамический или кинематический) выражают преобразования Галилея $\mathbf{r} = \mathbf{r}' + \mathbf{v}t$; $t = t'$ при переходе от одной системы отсчёта к другой, движущейся относительно первой поступательно, равномерно и прямолинейно? (Динамический. Кинематический).
4. Основное уравнение динамики относительного движения материальной точки имеет вид $m\mathbf{a}^{отн} = \mathbf{F} + \mathbf{N} + \mathbf{J}^{пер.} + \mathbf{J}^{кор.}$ Правильно ли утверждение, что отсюда, как частный случай, следует принцип относительности Галилея? (Да Нет.).
5. Оптический опыт Майкельсона-Морли позволил обобщать принцип относительности классической механики Ньютона на электродинамические процессы. Какой принцип относительности при этом обобщается - динамический или кинематический? (Динамический. Кинематический).
6. Можно ли утверждать, что из оптического опыта Майкельсона-Морли следует, что электродинамические уравнения Максвелла должны быть инвариантны относительно некоторого преобразования пространственно -временных координат при переходе от одной системы отсчёта к другой, движущихся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно? (Да. Нет.).
7. Уравнения Максвелла не инвариантны относительно преобразований Галилея при переходе от одной системы отсчёта к другой, движущихся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно. Следует ли отсюда вывод, что электродинамика Максвелла не удовлетворяет динамическому принципу относительности, обобщенному на все физические процессы? (Да. Нет.)
8. Уравнения Максвелла инварианты относительно преобразований Лоренца при переходе от одной системы отсчёта к другой, движущихся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно. Следует ли отсюда вывод, что электродинамика Максвелла удовлетворяет динамическому принципу относительности, обобщенному на все физические процессы? (Да. Нет.).
9. Одним из принципов, постулированных Эйнштейном при построении СТО, является принцип относительности. Какой принцип относительности при этом фактически используется- динамический или кинематический? (Динамический. Кинематический.).
10. Какой экспериментальный факт лежит в основе того принципа относительности, который фактически используется в СТО? (Опыт Майкельсона -Морли. Другие опыты.)
11. В оптическом опыте Майкельсона-Морли источник и приемник света неподвижны относительно Земли (аналогично механическим опытам Галилея относительно движущегося корабля). Можно ли из этого эксперимент сделать вывод, что скорость света, испущенного одним источ-

ником, есть постоянная величина относительно всех систем отсчёта, движущихся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, (Да. Нет)

12. Какой экспериментальный факт лежит в основе того принципа постоянства скорости света, который фактически используется в СТО? (Опыт Майкельсона- Морли. Другие опыты).
13. Экспериментально установлено, что внутри всех замкнутых физических лабораторий (связанных с ними инерциальных системах отсчёта), движущихся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, идентичные физические процессы протекают одинаково. Следует ли отсюда вывод, что уравнение, описывающее один и тот же физический процесс, должно быть инвариантно относительно всех систем отсчёта, движущихся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно? (Да. Нет.).
14. Из экспериментального факта равенства инертной и гравитационной масс, Ньютон сделал вывод, что внутри падающих лифтов (связанных с ними системах отсчёта), идентичные механические процессы протекают одинаково. Следует ли отсюда вывод, что уравнение, описывающее один и тот же физический процесс, должно быть ковариантно относительно всех систем отсчёта, произвольно движущихся друг относительно друг, в частности, ускоренно? (Да. Нет.).
15. Из экспериментального факта равенства инертной и гравитационной масс, Эйнштейн сделал вывод о тождественной эквивалентности гравитационного поля и поля сил инерции в ускоренной системе отсчёта и продемонстрировал это на следующем примере [24]: абсолютно гладкий шарик на абсолютно гладком столе устремится от оси вращения, если стол начнет вращаться. Подтверждает ли эксперимент последнее утверждение Эйнштейна? (Да. Нет.)

Приложение 2.

Сравнительная характеристика двух принципов относительности в классической механике.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП	ДИНАМИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП
 Рис.1 Один и тот же процесс в разных систем отсчёта.	 Рис.2 Идентичные процессы в разных физических лабораториях
Число систем отсчёта (СО):	
Две и более.	Две и более.
Число наблюдаемых явлений:	
Одно, общее для всех СО.	В каждой СО свое.
Характер взаимного движения СО:	
v =const.	**v** =const.
Преобразование пространства -времени:	
Преобразование Галилея **r** = **r**′ + **v**t; t = t′	**r**, t должно быть заменено на **r**′, t′
Дифференциальные уравнения движения:	
Инвариантно, как следствие структуры основного уравнения динамики точки.	Одинаковы, если явления идентичны, как следствие эксперимента.
Начальные условия:	
Взаимосвязаны и не могут быть одинаковыми в разных СО, как следствие преобразований Галилея.	Могут быть заданы независимо для каждого явления в своей СО, в частности, одинаково.
Законы движения в каждой СО:	
Не могут быть одинаковыми, например, если в одной СО тело падает вер-	Одинаковы, если явления идентичны (включая начальные условия), как след-

тикально, то в другой СО - это движение по параболлической траектории.

ствие эксперимента.

Список литературы.

1. Коперник Н.О. вращение небесных сфер. (М.: Наука, 1964).
2. Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира - Птолемеевой и Коперниковой. (М.: Гостехиздат, 1948).
3. Гюйгенс Х. Три мемуара по механике. (М.: Изд-во АН.СССР, 1951)
4. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. (М.: Наука, 1989).
5. Пуанкаре А. Избранные труды. Т.III (М.: Наука, 1974.). С. 429.
6. Там же. С. 433.
7. Там же. С. 562.
8. Лоренц Г. В сб. Принцип относительности. (А.А. Тяпкин) (М.: Атомиздат, 1973)
9. Эйнштейн А. Собрание научн. тр.. Т. I. (М.: Наука, 1965). Сс. 395 -398.
10. Wilhelm H. E. Physics Essays (1993). 6, pp.420 -435.
11. Эйнштейн А. Собрание научн. тр.. Т. I. Сс. 420-421.
12. Там же. Т. 1. Сс. 560-561.
13. Там же. Т. 1. С. 284.
14. Wilhelm H. E. Z.Naturforshung, (1990). 45a, pp.736- 748.
15. Wilhelm H.E. Hadronic Journal, (1996). 19, pp. 1-39.
16. Логунов А.А. Лекции по теории относительности и гравитации. (М.: Наука, 1987).
17. Потехин А.Ф. Известия вузов. Физика. (1991). № 5, сс. 15-18.
18. Potjekhin A.F. Chinse J. of Systems Eng, and Electronics.(1995). - Vol. 6, no 4. -Pp. 107-114.
19 R.M.Santilli, Isotopic Generelezations of Galilei's and Einstein's Relativities , I & II. (Kiev.:Ukraine Academy of Sciences, 1995).
20 R.M.Santilli, Elements of Hadronic Mechanics, I & II. (Kiev.:Ukraine Academy of Sciences, 1995).
21. Эйнштейн А. Собрание научн. тр.. Т. II. (М.: Наука, 1965). С. 753.
22. Там же. Т.II. С. 344.
23. Там же. Т. II. С. 724.
24. Там же. Т. IY. С. 453.

Примечание. Когда автор писал эту статью, он ещё не выявил ошибочности оптического эксперимента Майкельсона-Морли – см. далее У чёт этого обстоятельства значительно усилил бы аргументацию выводов данной статьи. Однако автор даёт эту статью в том виде, в каком она была опубликована.

УКРАИНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

. Регистр №55 от 26.03.2001.

Статья опубликована в Сборнике:

Потехин А. Ф. КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. – Одесса: Маяк, 2003. – С. 37–48.

О СКОРОСТИ СВЕТА

ПОТЕХИН А. Ф.
Одесский государственный морской университет
(65029 Одесса, ул. Мечникова, 34).

УДК 535.525

Уравнения фронтов световых волн записаны с учётом как скорости движения источника света, так и запаздывания излучения во времени каждого из последующих фронтов волн. Показано, что уравнения фронтов световых волн не инвариантны и даже не ковариантны как относительно преобразований Галилея, так и относительно преобразований Лоренца. Уравнение только единственного, испущенного в начальный момент времени, фронта световой волны ковариантно относительно преобразований Галилея и инвариантно относительно преобразований Лоренца. Раскрыт механизм излучения света как неподвижным, так и движущимся источником.

Введение.

Анализ исходных аксиом Специальной теории относительности (СТО) Эйнштейна выявил их методологическую, экспериментально-физическую [1], [2] и математическую несостоятельность.

Методологическая несостоятельность обусловлена тем, что за понятием принцип относительности в СТО скрывается четыре разных понятия: динамический принцип относительности Галилея, кинематический принцип относительности Коперника, инвариантность, ковариантность уравнений движения. Если два первые из этих понятий являются физическими, т. е. результатом обобщения экспериментальных фактов, то вторые два понятия – математические, которые по определению не подлежат экспериментальной проверке.

Экспериментальная несостоятельность обусловлена тем, что “*всё содержание специальной теории относительности заключено в постулате: законы природы инвариантны относительно преобразований Лоренца*” [3]. Говорить же об экспериментальной проверке формы математической записи законов природы (красиво или некрасиво, латинским шрифтом или готическим, инвариантно или неинвариантно и т. д.) – абсурдно. Решающим экспериментом, якобы подтверждающим требование формулировки законов природы в форме, инвариантной относительно преобразований Лоренца, был оптический эксперимент Майкельсона – Морли [4]. Но показано [1], [2]: если этот эксперимент выполнен корректно, то единственно, что он может подтвердить, так это справедливость выполнения динамического принципа относительности Галилея (но не инвариантности!) также и для оптических (электромагнитных) процессов. Однако, вся совокупность оптических (электромагнитных) экспериментальных данных, включая обнаруженное в 1963г. однородное и изотропное космического микроволновое $2{,}7^\circ K$ излучения [5], подтверждает наличие в природе выделенной системы отсчёта эфира. Это ставит под сомнение выполнение динамического принципа относительности, и для оптических процессов. Дополнительный анализ эксперимента Майкельсона-Морли выявил [6], что в нём не принималась во внимание возможность альтернативного толкования перпендикулярности продольного и поперечного лучей в зависимости от того,

в какой системе отсчёта эта перпендикулярность обеспечивается - в системе отсчёта неподвижного эфира или лабораторной системе отсчёта движущегося прибора. Это, как минимум, ставит под сомнение теоретическое обоснование данного эксперимента.

Математическая несостоятельность СТО показана далее в этой статье. Она заключается в неинвариантности фронтов световых волн относительно преобразований Лоренца.

Как известно: *"Главная заслуга Эйнштейна состоит не столько в открытии новых формул, сколько в радикальном изменении наших основных представлений о пространстве, времени, материи и движении"* [7]. Но, в связи с полной несостоятельностью СТО в методологическом, экспериментально-физическом и математическом аспектах, от этих новых представлений о пространстве и времени, как от ошибочного толкования преобразований Лоренца, приходится отказаться и вернуться к исходной точке появления данной теории –электродинамике движущихся тел Лоренца. Предвидение французского учёного Пенлеве о судьбе теории относительности Эйнштейна оказались пророческими: "Я полагаю, что от этого учения останется много формул (как следствие преобразований Лоренца – А. П.), которые без труда будут включены в классическую науку. Но принципы или научно-философские следствия, которые при различном мнении представляются либо как скандал, либо как чудо теории относительности, не сохранятся" [8].

Теория Лоренца, как известно [8], соответствовала всей совокупности экспериментальных электродинамических и оптических фактов, за исключением одного - оптического эксперимента Майкельсона- Морли. Если бы Лоренц знал, что этот эксперимент ошибочен, всё дальнейшее развитие физики было бы иным.

Следует заметить, что физикам XX столетия все же удалось значительно продвинуть вперёд электродинамику движущихся тел в классическом направлении. Здесь, прежде всего, следует выделить работы проф. Вильхельма Х. Е. [9] и проф. Ефименко О. Д. [10].

Проф. Вильхельм электродинамику Максвелла-Лоренца развил применительно к произвольным инерциальным системам отсчёта с учётом их движения относительно эфира. Так же, как классическая механика Ньютона, развитая для абсолютного пространства, немыслима без динамической теории Кориолиса в относительных движениях, так и классическая теория Максвелла в системе неподвижного эфира немыслима без теории Вильхельма в относительных движениях. Так же как в классической механике следует различать динамические силы инерции от кинематических [1], так и в электродинамике следует различать динамические силы Лоренца от кинематических и вообще электродинамические эффекты от кинематических. Электродинамические уравнения Вильхельма, инвариантные относительно преобразований Галилея, позволяют это сделать, так как они непосредственно содержат скорость потока эфира относительно движущейся системы отсчёта.

Проф. Ефименко развил электродинамику Максвелла в системе эфира в направлении Хевисайда - теории запаздывающих потенциалов. Не нуждаясь в формально-математических преобразованиях Лоренца, эта теория с исключительной ясностью раскрывает физическую сущность уравнений Максвелла и вытекающие из неё следствия применительно к электродинамике движущихся тел.

Как теория проф. Вильхельма, так и теория проф. Ефименко, объясняют всю совокупность электродинамических и оптических экспериментов. В этих теориях все те парадоксы, которыми изобилует СТО, получают ясное физическое истолкование в полном соответствии с экспериментом и здравым смыслом. Следует, правда, отметить, что развиваемые независимо друг от друга разными авторами и при разных подходах, обе эти теории требуют осмысливания и, возможно, некоторой корректировки на стыке их соприкосновения и сшивки.

ИСТОЧНИК СВЕТА НЕПОДВИЖЕН В СИСТЕМЕ ОТСЧЁТА ЭФИРА

Точечный источник света находится в начале абсолютной системы отсчёта Oxy (неподвижная система отсчёта эфира). Центр каждого из фронтов световой волны, испущенной в фиксированный момент времени t_*, находится в начале этой системы отсчёта. Инерциальная система

отсчёта $O'x'y'$ движется со скоростью $\bar{v}$ в положительном направлении оси x. В момент времени $t=0$ начала этих систем отсчёта совпадают – рис 1а. Величина скорости c распространения света в системе эфира Oxy для каждого из фронтов есть величина постоянная.

Уравнение в Oxy испущенного в момент времени t_* фронта световой волны имеет вид

$$x^2+y^2=c^2\left(t-t_*\right)^2, \qquad t\geq t_* \tag{1}$$

Абсолютная скорость $\bar{c}$ произвольной точки фронта световой волны и её переносная скорость $\bar{v}$ однозначно определяют относительную скорость $\bar{c}'$ света этой точки волны в штрихованной системе отсчёта – рис. 1б

$$\bar{c}=\bar{v}+\bar{c}'\,. \tag{2}$$

Из соответствующего треугольника имеем

$$c'^2=c^2+v^2-2cv\cos\alpha\,. \tag{3}$$

Принимая во внимание, что

$$\cos\alpha=\frac{x}{c\left(t-t_*\right)}, \tag{4}$$

из (3) получим

$$c^2=c'^2-v^2+2\frac{vx}{\left(t-t_*\right)}\,. \tag{5}$$

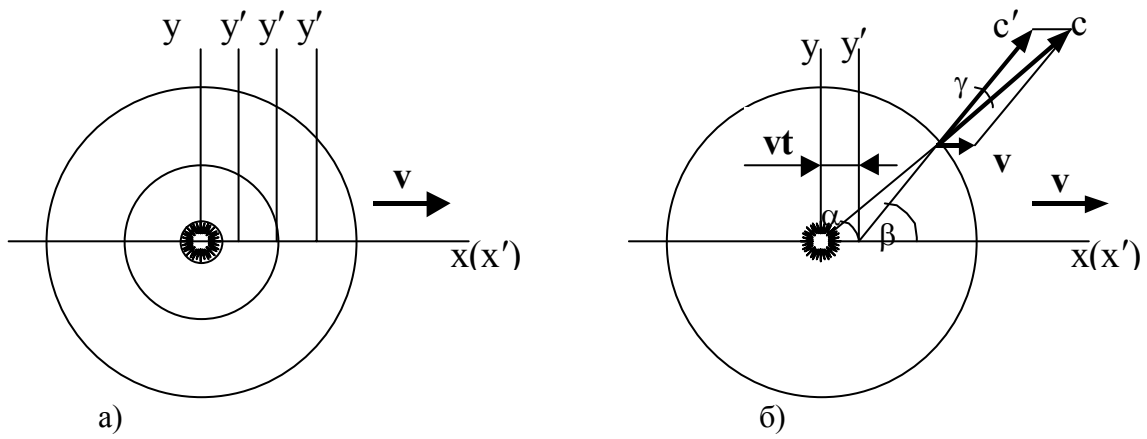


Рис. 1. Покоящийся в начале системы отсчёта Oxy источник излучает фронта концентричных световых волн –1а, один из которых, испущенный, в момент времени t_*, изображён отдельно – 1б.

С учётом (5) и преобразований Галилея

$$x=x'+vt', \qquad y=y', \qquad t=t', \tag{6}$$

уравнение (1) фронта световой волны в штрихованной системе отсчёта принимает вид

$$\left(x'+vt'_*\right)^2+y'^2=c'^2\left(t'-t'_*\right)^2, \tag{7}$$

Заметим, что если считать скорость света c в вакууме (эфире) мировой константой, т. е. $c=const$, не подлежащей преобразованию при переходе от одной системы отсчёта к другой, то тогда применение преобразований Галилея (6) приводит уравнение фронтов световых волн (1) к виду

$$\left(x'+vt'\right)^2+y'^2=c^2\left(t'-t'_*\right)^2, \tag{8}$$

Таким образом, относительно движущейся со скоростью v вправо инерциальной системы отсчёта $O'x'y'$, уравнения любого из удаляющихся от неё со скоростью v влево фронтов световых волн (1) может быть записано как в форме (7), так и в форме (8). Однако если уравнение (7) описывает фронта волн через скорость света c' относительно штрихованной системы отсчёта, значение которой определяется согласно (3), то уравнение (8) описывает фронта волн через мировую константу c, которая уже не является скоростью света для штрихованной системы отсчёта.

Если уравнение движения при некотором преобразовании систем отсчёта сохраняет свой вид, но не сохраняет выражения для входящих в него функций, то оно называется ковариантным относительно данного преобразования. Если же уравнение движения при некотором преобразовании сохраняет не только свой вид, но и выражения для входящих в него функций, то оно называется инвариантным относительно данного преобразования.

Сравнение с (1) показывает, что в форме (7) уравнение фронта световой волны, испущенной в момент времени $t_* = t'_* = 0$, ковариантно относительно преобразований Галилея, в то время как в форме (8) – нет.

ИСТОЧНИК СВЕТА ДВИЖЕТСЯ В СИСТЕМЕ ОТСЧЁТА ЭФИРА

Система отсчёта Oxy покоится относительно эфира. Точечный источник света находится в начале движущейся со скоростью $\bar{v}$ вправо вдоль оси x системы отсчёта $O'x'y'$. Источник света при своём движении излучает фронта световых волн в эфире – рис. 2а. Центра световых волн с момента их появления остаются в системе отсчёта эфира неподвижными. Величина скорости света c в системе отсчёта эфира Oxy для каждого из фронтов остаётся постоянной вне зависимости от скорости движения источника.

Рассмотрим один из фронтов световых волн, испущенного в момент времени t_*– рис 2б, уравнение которого в системе Oxy имеет вид

$$(x - vt_*)^2 + y^2 = c^2 (t - t_*)^2, \qquad t \geq t_* \tag{9}$$

В этом случае соотношения (2), (3) сохраняются, но (3) и (4) принимают вид

$$\cos\alpha = \frac{x - vt_*}{c(t - t_*)}, \tag{10}$$

$$c^2 = c'^2 - v^2 + 2\frac{v(x - vt_*)}{(t - t_*)}. \tag{11}$$

С учётом (11) и преобразований Галилея (6), уравнение (9) фронта световой волны в штрихованной системе отсчёта принимает вид

$$x'^2 + y'^2 = c'^2 (t' - t'_*)^2, \tag{12}$$

Через мировую константу c тот же фронт (9) световой волны описывается уравнением

$$[x' + v(t' - t'_*)]^2 + y'^2 = c^2 (t' - t'_*)^2 \tag{13}$$

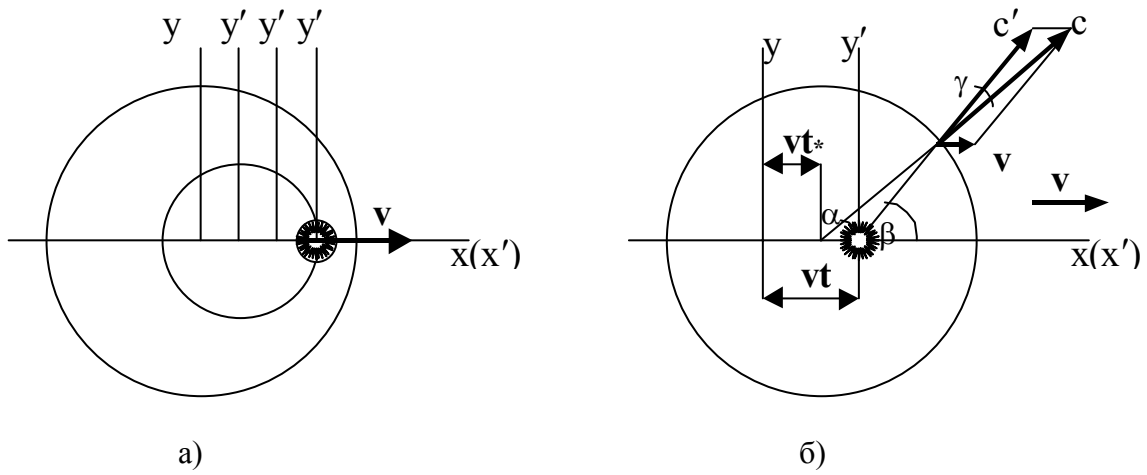


Рис. 2 . Движущийся вместе с началом системы отсчёта $O'x'y'$ источник излучает фронта световых волн –1а, один из которых, испущенный, в момент времени t_*, изображён отдельно – 1б.

Таким образом, движущийся со скоростью v вправо источник света оставляет за собой слева испущенные им фронта световых волн. Эти волны в системе отсчёта Oxy описываются уравнением (9), в то время как в системе отсчёта $O'x'y'$ эти же фронта волн могут быть описаны уравнениями как в форме (12) - через относительную скорость света c', так и в форме (13) - через мировую константу c. Сравнение с (9) показывает, что в форме (12) уравнение фронта световой волны, испущенной в момент времени $t_* = t'_* = 0$, ковариантно относительно преобразований Галилея, в то время как в форме (13) – нет.

О ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ ЛОРЕНЦА

а) Источник света неподвижен в системе отсчёта эфира.

С учётом преобразований Лоренца

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, \qquad y = y', \qquad t = \frac{t' + (v/c^2)x'}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, \tag{14}$$

уравнение (1) фронта световой волны в штрихованной системе отсчёта, принимая во внимание, что

$$t_* = \frac{t'_* + (v/c^2)x'}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, \tag{15}$$

имеет вид

$$(x' + vt')^2 + y'^2\left(1-(v/c)^2\right) = c^2(t' - t'_*)^2. \tag{16}$$

Из сравнения (1) и (16) следует, вопреки утверждению СТО, что уравнения фронтов световых волн не инвариантны и даже не ковариантны относительно преобразований Лоренца. Уравнение единственного, испущенного в начальный момент времени $t_* = 0$, фронта световой волны инвариантно относительно преобразований Лоренца. При этом следует учесть, что, согласно (15), когда $t_* = 0$, то

$$t'_* = -\frac{vx'}{c^2} \tag{17}$$

Предельным переходом $\left(v/c\right) \to 0$ из уравнения фронта световой волны (16) получаем не уравнение (1), как это следовало бы ожидать согласно СТО, а уравнение (8). Это соответствует тому, что при таком предельном переходе преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея, согласно которым, затем, из (1) получается (8). Следовательно, константа c, которая входит в преобразования Лоренца и электромагнитные уравнения Максвелла, есть не скорость света относительно каждой из инерциальных систем отсчёта, как это утверждается в СТО, а мировая константа –скорость света в абсолютной системе отсчёта в смысле классической физики Ньютона (системе эфира).

б) Источник света движется в системе отсчёта эфира.

С учётом преобразований Лоренца (14) и соотношения (15), уравнение (9) фронта световой волны в штрихованной системе отсчёта, имеет вид

$$\left[\left(1-\left(v/c\right)^2\right)x'+v\left(t'-t'_*\right)\right]^2+y'^2\left(1-\left(v/c\right)^2\right)=c^2\left(t'-t'_*\right)^2. \tag{18}$$

Предельным переходом $\left(v/c\right) \to 0$ из (18) получаем, снова таки, не уравнение фронта световой волны (9), как это следовало бы ожидать согласно СТО, а уравнение (13).

Из сравнения (9) и (18) следует, с учётом (15), что лишь уравнение единственного, испущенного в начальный момент времени $t_* = 0$, фронта световой волны инвариантно относительно преобразований Лоренца.

ВЫВОДЫ

1. Вне зависимости от скорости движения источника света, фронт световой волны распространяется сферически симметрично с постоянной по величине скоростью относительно той точки абсолютного пространства (эфира), в которой источник находился в момент излучения данного фронта волны.
2. Скорость распространения каждой из точек фронта световой волны относительно произвольной инерциальной системы отсчёта находится в соответствии с классической теоремой сложения скоростей в соответствии с преобразованиями Галилея.
3. Независимо от скорости движения источника света, передача информации с помощью светового сигнала осуществляется от одной точки абсолютного пространства (эфира) к другой и потому не может превосходить величину скорости света в эфире.
4. Входящая в уравнения Максвелла константа $c = \left(\varepsilon_0 \mu_0\right)^{-1/2} = 3 \times 10^8\ м/с$ может быть интерпретирована как скорость света лишь в единственной системе отсчёта – абсолютной в смысле классической физики Ньютона (система эфира).
5. Скорость света в эфире c входит в преобразования Лоренца как не подлежащая преобразованию мировая константа, но интерпретация этой константы в физике XX столетия как скорости света относительно каждой из инерциальных систем отсчёта – ошибочно.

1. Потєхін А. Ф. Короткий курс теоретичної механіки в запитаннях та відповідях з аналізом базових понять.: Навчальний посібник для студентів втузів. – Одеса: ОДМУ, 2000. – 194с.: 1000єкз.
2. Potyekhin A. F. //Hadronic Journal Supplement.- 2000. – **14**. – P. 297-313.
3. Эйнштейн А. Собрание научн. тр. Т.II. – М.: Наука, 1965. – С.753.
4. Michelson A. A. and Morley E. W. //Am. J. Sci.. – 1887. – **34**. – P. 333-345.
5. Penzias A. A. and Wilson K. W. //Astrophys. J. – 1965. – **142**. – P. 419.
6. Потєхін А. Ф. Фізичні та математичні помилки оптичного експерименту Майкельсона-Морлі. //УФЖ – 2001. (поступила в ред. 4.01.2001, регистр №2).

7. Бом Д. Специальная теория относительности. – М.: Мир, 1967. - С. 10.
8. Спасский Б. И. История физики. Т.II. – М.: Высшая школа, 1977. – С.187.
9. Wilhelm H. E.
//Radio Science. – 1985. – **20**, No5. – P. 10006-1018.
//Z. Naturforsch. – 1988. – **43a**. – P. 859-864.
//Z. Naturforsch. – 1990. – **45a**. – P. 736-748.
//Physics Essays. – 1993. – **6**, No3. – P. 420-435.
// Hadronic Journal Supplement. – 1993. –**8**. – P. 441-457.
//Aperion. – 1994. –**18**. – P. 9-19.
//Chinese J. Of systems Eng. and Electronics. – 1995. –**6**, No4. – P. 1-24.
//Chinese J. Of systems Eng. and Electronics. – 1995. –**6**, No4. – P. 59-85.
// Hadronic Journal. – 1996. –**19**. – P. 1-39.
10. Jefimenko O. D.
Electrostatics Motors. - Star City.: Electret Scientific Company, 1973.- 124 pg.
Electricity and Magnetism. - Star City.:- Electret Scientific Company, 1989.- 600 pg.
Causality Electromagnetic Induction and Gravitation. Star City.: Electret Scientific Company, 1992.- 180 pg.
Retardation and Relativity.- Star City.: Electret Scientific Company, 1997.- 306 pg.
//Galilean Electrodynamics. - 1994 - **5**, No2. - P. 25-33.
//Galilean Electrodynamics. - 1995 - 6, No2. - P. 23-30.
//Z. Naturforsh. - **53a**. – 1998 – P. 977-982.
//Eur. J. Phys. - **20** – 1999 - P. 39-44.
//J. Phys. A: Math. Gen. – 1999 - **32** – P. 3755-3762.
//Z. Naturforsh. – 1999 - **54a** - P. 637-644.
Does Special Relativity Prohibit Superluminal Velocities. // in: Instantaneous Action at a Distance in Modern Physics: Pro and Contra. - New York: NOVA Science Publishers, Inc., 1999. – P. 36-46.
//The Physics Teacher. – 2000 - 38. - P. 154-167

Примечание Переписку с Редакцией журнала по данной статье см. в разделе ПЕРЕПИСКА настоящего сайта

Потехин А.Ф.

АНРИ ПУАНКАРЕ И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ XX века

Обзор докладов XYII международных чтений
Великие преобразователи естествознания: Анри Пуанкаре, [1]
г. Минск 28-29 ноября 2001г

«Поиск истины ныне далеко не всеми приветствуется. Пишут даже, что ресурсы противопоставления знания и веры, науки и религии исчерпаны. Это может быть и так, с точки зрения сторонников квазиестественнонаучного религиозного дуализма. Но для тех, кто склонен различать истину и заблуждение, реальность и фантазию, действительность и виртуальность, более достойно воспринять гуманистическую эвристику материалистической диалектики». (Ю. А. Харин – д-р филос. наук, профессор, зав. кафедрой философии БГУИР, г. Минск) [1.1].

«***Научая и моральная истины сходны в своём психологическом аспекте***. Обе они требуют возвышенного суждения, чистоты помыслов, способности подняться над узостью личного кругозора, преодолеть собственный корыстный интерес. ***Они встречают одинаковую ненависть со стороны людей недобросовестных и предубеждённых***, поэтому необходима значительная сила воли как для того, чтобы последовательно отстаивать свою научную позицию, так и для защиты справедливости в повседневной жизни…. Учёный, который открыл для себя возвышенную гармонию законов природы, в большей степени склонен пренебречь мелкими эгоистическими мотивами в интересах общечеловеческой справедливости. Главная страсть, которая его вдохновляет, есть бескорыстная любовь к истине, а в этом и состоит сущность морали, основанная на чувстве справедливости». (Н. И. Мушинский – канд. филос. наук, доцент кафедры философских учений БГПА, г. Минск) [1.2].

«С этой точки зрения в поистине трагически безысходной экзистенциальной ситуации растут и формируются дети нашего постсоветского пространства сплошной и массовой цвишенизации (распад, разложение, разрушение – Ю. А. Харин), ситуации на разрыв ещё неопытной, неокрепшей души, почти каждый контакт которой с реальностью – это циничный вызов такой реальности, её апелляция ко всему низменному и темному в человеческой природе. Вот уж, действительно, цивилизация, пожирающая своих детей» (И. Ф. Габрусь – канд. филос. наук, доцент кафедры философии БГУИР, г. Минск) [1.3].

Первой характерной особенностью состоявшихся чтений является кардинальная переоценка роли А. Пуанкаре в создании Специальной теории относительности. Так, канд. физ.–мат. наук, директор обсерватории БГУ Кузнечик О. П. (г.Минск) отмечает: *«Понятно, что единственно логически последовательным и физически безупречным вариантом создания ТО является подход, развитый А. Пуанкаре (1895 – 1905 гг.), который ранее считался недостаточным, либо ошибочным, а физически правильным признавался подход в ТО, осуществлённый А. Эйнштейном (1905 г.)»* [1.4., стр. 72] . О том, что в XX веке господствовала именно такая, эйнштейновская, точка зрения, пишет и непосредственный участник этих событий

Луи де Бройль: *«Пуанкаре так и не сделал решающего шага, и предоставил Эйнштейну честь разглядеть все следствия из принципа относительности и, в частности, путём глубокого анализа измерений длины и времени выяснить подлинную физическую природу связи, устанавливаемой принципом относительности между пространством и временем»* [2, стр. 707].

Второй особенностью этих чтений является обсуждение вопроса о взаимоотношениях Пуанкаре-Эйнштейн и о том, почему явно приоритетные работы Пуанкаре по СТО, которые *«…не только перекрывают результат основополагающей статьи Эйнштейна 1905 г., но и в определённой мере предвосхищают математическое содержание работ Минковского, …не привлекли к себе сколько-нибудь заметного внимания непосредственно после их появления.»* [1.5, стр. 6].

Наконец, третьей особенностью чтений является продолжающееся ошибочное **отождествление принципа относительности с инвариантностью** (А. Пуанкаре) уравнений движения относительно некоторых преобразований систем отсчёта и ошибочное **отождествление формально-математической «деформации» простанственно-временных координат при таких преобразованиях с изменением физического пространства и времени** (А. Эйнштейн). Исключением является лишь один доклад [1.6., с. 91-94].

Далее цитируются доклады различных авторов, в которых все три названных выше особенности, как правило, переплетаются. Поэтому, выделить эти доклады в отдельные разделы не представляется возможным.

Достаточно исчерпывающую оценку вклада А. Пуанкаре в создание ТО даёт канд. физ.– мат. наук, директор обсерватории БГУ (г. Минск) Кузнечик О. П.: *«Установлено, что в ранних работах А. Пуанкаре по ТО в 1895 –1905 гг .выдвинуты все основные положения, необходимые для правильного физического построения релятивистской теории: принцип относительности; требование существования предельной конечной скорости распространения всякого взаимодействия (независимость скорости света от скорости движения источника); правильная физическая интерпретация «местного» времени Лоренца; отрицание абсолютного времени; условность равенства двух промежутков времени; относительность одновременности двух пространственно разделённых событий; отрицание существования однозначной одновременности разноместных событий на том основании, что доказать экспериментально равенство скоростей света в двух противоположных направлениях невозможно (доказательство условности, или конвенциальности, понятия одновременности); предложение определять одновременность на основе (принятого по соглашению) постулата о постоянстве скорости света и др.»* [1.4., стр. 71]

Обращает на себя внимание широтой охвата доклад зав лабораторией Института физики НАН Белоруссии, доктора физ. - мат. наук, профессора Томильчика Л. М. и канд. физ. – мат., доцента БГУ (г. Минск) Кембровской Н. Г., которые отмечают: *«Ретроспективная оценка значения работ Пуанкаре 1905-1906 гг. для всей релятивистской концепции сегодня достаточно однозначна: в них фактически была дана вполне современная формулировка СТО, основанная на использовании адекватного её физическому содержанию математического языка – теории групп и отчасти четырёхмерной геометрии пространства-времени. В этом смысле работы Пуанкаре не только перекрывают результат основополагающей статьи Эйнштейна 1905 г., но и в определённой мере предвосхищают математическое содержание работ Минковского. Между тем, как хорошо известно, статьи Пуанкаре не привлекли к себе сколько-нибудь заметного внимания непосредственно после их появления. Содержащиеся в них глубокие идеи и соответствующие математические методы фактически оказались востребованными значительно позже, уже после того, как СТО вошла в физику в формулировке Эйнштейна и получила современное математическое оформление в геометрической трактовке Минковского. Общепринятое объяснение этого «эффекта запаздывания» до настоящего времени отсутствует, хотя разнообразные аспекты возникающих здесь проблем многократно обсуждались и продолжают дискутироваться в обширной литературе, посвящённой истории создания СТО».* Авторы видят две причины такого «эффекта запаздывания». Первой причиной является то, что, *«центральным пунктом статьи Эйнштейна является вывод преобразований*

Лоренца (ПЛ), тогда как у Пуанкаре такой вывод полностью отсутствует. Несомненно, что наличие вывода ПЛ радикально меняло их теоретический статус в глазах того круга специалистов, которым были адресованы публикации обоих авторов. Дело в том, что в статьях Пуанкаре, ровно как и в предшествовавших им работах Лоренца ПЛ были определены только по одному признаку – сохранять форму уравнений электродинамики как пространственно-временных преобразований между двумя инерциальными системами отсчёта. В то же время формальный вывод ПЛ из постулативных посылок Эйнштейна, никак не связанных с условием ковариантности уравнений Максвелла-Лоренца, выглядел, как явное доказательство того, что эти преобразования можно интерпретировать как относящиеся к физическому пространству-времени, следовательно, сфера их применимости не ограничивается только электродинамикой. Вторая причина, облегчившая восприятие работы Эйнштейна, была высокая степень адаптированности предложенных в ней радикально новых идей к традиционному языку. Его статья целиком основана на использовании способов рассуждения и математических методов, общепринятых в теоретической физике конца 19 – начала 20 века. С другой стороны, аппарат теории групп, которыми безупречно владел и систематически пользовался в своих статьях Пуанкаре, так же как и его метод изложения, который можно охарактеризовать как инвариантно-теоретический, были ещё чужды тогдашней фундаментальной физике. Разница в подходах Эйнштейна и Пуанкаре обусловлена кардинальным различием в их общеметодологических установках. Эйнштейн (как и тогдашнее научное общество в целом) были подспудно убеждены в необходимости онтологизации пространственно-временных отношений.. В то же время не встретивший понимания конвенционализм Пуанкаре фактически исключал даже возможность такой онтологизации…. Можно сказать, что использованные Пуанкаре математические методы, способы структурной организации теории, равно как и его методологические принципы, опередили своё время и, фактически соответствуют тем конкретно-научным и методологическим регулятивам, которые стали общепринятыми в науке и философии науки лишь в середине прошлого столетия», [1.5., стр. 6-8]. Такой же точки зрения придерживается доктор философских наук, профессор, зав кафедрой философии БГУ (г. Минск) Яскевич Я. С.: *«Неприятие же идей и работ Пуанкаре (так, классическая статья Пуанкаре «О динамике электрона», содержащая в себе параллельные Эйнштейну идеи и фактически современную трактовку СТО, оказалась незамеченной) научным обществом во многом объяснялось тем, что строгий математический язык Пуанкаре, последовательно используемые им методы теории групп и понятие симметрии были непривычны для фундаментальной физики и намного опережали своё время. Эйнштейн, в отличие от Пуанкаре, стремился ограничить математическую компоненту при изложении СТО путём использования наглядных моделей и элементарных алгебраических преобразований, адресуя их широкому кругу читателей»* [1.7., стр. 46-47]

Однако, с такой точкой зрения полемизирует гл. научный сотрудник Института физики НАН Белоруссии, доктор физ.– мат. наук, профессор, Толкачёв Е. А., который не согласен с *«часто встречающимся утверждением о трудности восприятия работ Пуанкаре из-за использования мало понятного «научным массам» того времени математического аппарата, в частности, теории групп. Однако упрямым фактом является то, что как раз Эйнштейн в подавляющем большинстве своих работ по СТО выводит преобразования Лоренца из инвариантности т. н. интервала между событиями, и уже в первой работе как бы попутно, без «ударения» отмечает, что эти преобразования образуют группу…. В то же время именно Пуанкаре использует в своих работах стандартный для того времени язык дифференциальных физических уравнений, выводимых из вариационного принципа, и описывает преобразования Лоренца как подстановки, оставляющие неизменной форму уравнений электродинамики…. Думается, что ключ к разгадке проблемы «восприятие–невосприятие» обсуждаемых работ неявно подсказывают те, кто полагает, что Эйнштейн был лишь эпигоном Пуанкаре…и влияние методологических работ Пуанкаре на Эйнштейна было действительно весьма сильным, вплоть до вытеснения их идей в подсознание»* [1.8., стр. 16-17]. Но проф. Толкачёв согласен, в некотором отношении, с проф. Томильским в том, что *«причина отторжения кроется в различных ответах*

на т. н. основной вопрос философии, которые выбирали Эйнштейн (вместе с большинством научного сообщества) и Пуанкаре. Речь идёт о восходящей к Платону онтологизации идеальных представлений, в данном случае представлений об абсолютном пространстве и времени…. Да, он изменил кинематику, то есть метрические свойства пространственно-временного континуума, но не подверг ревизии его онтологический статус» [1.8, стр. 17].

Доктор философских наук, профессор Пермского госуниверситета Утробин И. С. отмечает: *«К таким великим преобразователям естествознания относится и один из крупнейших математиков XIX в. А. Пуанкаре, выдвинувший ещё до Эйнштейна основные принципы СТО, создание которой Эйнштейном* ***коренным образом изменило основные физические представления о времени и пространстве*** *и само естествознание»* [1.9., стр. 23]. Аналогичную мысль находим в докладе, профессора кафедры математики БГУ (г. Минск) Гусак А. А, канд. физ. – мат. наук, доцента кафедры математики БГЭУ (г. Минск) Гусак Г. М. и доцента кафедры математики БГПА (г. Минск) Бричиковой Е. А.: *«Пуанкаре высказал исходные принципы новой теории, пришедшей на смену классической механике и потребовавшей* ***пересмотра физических представлений о времени и пространстве****. Именно в его работах впервые были сформулированы в достаточно полной и ясной математической форме основные положения СТО»* [1.10., стр. 30]. Солидарна с этим и доктор философских наук, профессор, зав кафедрой философии БГУ (г. Минск) Яскевич Я. С.: *«Если для Пуанкаре физическая теория и основные определения её понятий – результат конвенций, условных соглашений, приемлемая форма для описания опыта, ««плод неосознанного стремления к удобству», «простоте» (что не могло быть принятым большинством учёных), то* ***для Эйнштейна применение представлений о пространстве и времени является основой преобразования классической физики****. В отличие от Пуанкаре при построении теории относительности Эйнштейн сделал, прежде всего, чёткие заявки на* ***пересмотр пространственно-временных представлений*** *классической физики…. Понятно то «смятение умов», которое было вызвано СТО, согласно которой абсолютного, безотносительного для всех систем отсчёта времени не существует.* ***Каждое тело отсчёта имеет своё собственное время*** *и в соответствии с этим течение времени надо относить к какой-либо материальной системе. Время и пространство тесно связаны с движением»* [1.7., стр. 46-47].

Ассистент кафедры теоретической физики Лукашевич С. А., ст. преподаватель кафедры общей физики Желонкина Т. П. и студент 5 курса Ковалёв М. А. Гомельского госуниверситета в тезисах своего сообщения пишут: *«Проделав ряд глубоких и изящных построений, предвосхищающих во многом современный математический аппарат ТО, Пуанкаре показывает, что преобразования Лоренца образуют группу в четырёхмерном многообразии, находит инварианты таких преобразований, излагает четырёхмерную интерпретацию принципа наименьшего действия, получает точные преобразования плотности тока, плотности заряда, напряжённости электрического и магнитного поля, находит формулу сложения скоростей. Таким образом, Пуанкаре вплотную подошёл к тензорному представлению электромагнитного поля, а его изложение теории носит инвариантно-теоретический характер. В теории инвариантов преобразований Пуанкаре увидел мощный математический аппарат по разработке принципа относительности».* И далее*: «Важно подчеркнуть, что Лоренц, Пуанкаре развили свои теории на базе классической электродинамики, опираясь на* ***концепцию эфира****. Их интересовало объяснение на этой основе фундаментальных опытов оптики и электродинамики движущихся тел»* [1.11., стр. 108-109].

Инженеры-практики давно уже обратили внимание на то, что они, по существу, используют в своей практической деятельности, при решении конкретных задача электродинамики движущихся тел, уравнения Максвелла и преобразования Лоренца с их интерпретацией в духе Пуанкаре, но не Эйнштейна. Например, канд. физ. - мат. наук, доцент кафедры электроники БГУИР (г. Минск), Першин В. Т. замечает *«Самым большим вкладом в математическую физику стала знаменитая статья А. Пуанкаре «О динамике электрона», опубликованная в 1906 г. В этой статье он получил независимо от А. Эйнштейна много результатов СТО. Принципиальным отличием было то, что А. Эйнштейн развил теорию, исходя*

из рассмотрения, связанного со световой сигнализацией, в тол время как трактовка А. Пуанкаре базируется на полной теории электромагнетизма, что существенно приближает теорию А. Пуанкаре к современной практике» [1.12., стр. 257]. Доктор техн наук, профессор БГУИР (г. Минск) Аверьянов В. Я., критикуя эксперименты, якобы подтверждающие теорию Эйнштейна, привлёк внимание участников конференции к такому малоизвестному факту: *«В 1676 г., работая в Парижской обсерватории, датский астроном Олаф Ремер заметил, что время полного обращения спутника Ио вокруг Юпитера, определённое по моменту входа или выхода его из тени Юпитера, периодически изменяется. Периодичность оказалась связанной с движением Земли вокруг Солнца. Когда Земля с наибольшей скоростью удаляется от Юпитера, период увеличивается на 15 секунд. А когда Земля с наибольшей скоростью приближается к Юпитеру, период уменьшается на 15 секунд. Причина –* ***скорость света подчиняется закону сложения скоростей Галилея****»* [1.13., стр. 38].

Зав. кафедрой теоретической механики ОГМУ, (Одесса) профессор Потехин А. Ф., обратил внимание аудитории на то, что А. Пуанкаре принцип относительности Галилея отождествил с понятием инвариантности уравнений движения относительно преобразований Галилея. Однако, такая трактовка принципа относительности Галилея принципиально отличается от того принципа относительности Галилея, на основании которого Ньютон сформулировал свой первый закон динамики – закон инерции. Такое введение нового понятия, в оболочке уже существующего понятия, привело к большой путанице, причём, не столько в творчестве самого Пуанкаре, сколько в творчестве Эйнштейна. И это притом, что понятийному аппарату науки, как А. Пуанкаре, так и А. Эйнштейн, уделяли большое внимание. Положение дел было усугублено тем, что в связи с относительностью механической формы движения материи, уже до Ньютона в механике существовало (не по названию, а по существу содержания) два принципа относительности – кинематический принцип относительности Коперника и динамический принцип относительности Галилея. Математизация физики привела к тому, что внутри понятия кинематического принципа относительности появилось два новых понятия – инвариантность и ковариантность уравнений движения относительно некоторых преобразований систем отсчёта. В итоге, такие разные понятия как динамический принцип относительности, кинематический принцип относительности, инвариантность и ковариантность уравнений движения слились у Эйнштейна в одно понятие – **принцип относительности.** Взаимная подмена этих понятий в ходе логического обоснования СТО Эйнштейном не могла не привести, и действительно привела, к ошибочной теории.

Понятие принципа относительности у Пуанкаре, как признаёт он сам, появляется лишь в общем, философском плане. Там же, где речь идёт о разрешении конкретных физических проблем и развитии их математической теории, Пуанкаре придерживается классических представлений о пространстве и времени, а также наличия в природе физически выделенной «абсолютной» системы отсчёта Ньютона, относительно которой скорость света не зависит от того, испускается ли он движущимся или покоящимся источником. Преобразования Лоренца для Пуанкаре - лишь формально-математический аппарат. Поэтому, вполне естественно, что он не принял трактовку этих преобразований Эйнштейном как изменение физического пространства-времени в каждой из инерциальных систем отсчёта.

Значительное внимание взаимоотношению Пуанкаре – Эйнштейн уделил в своём докладе проф. Томильчик Л. М. *«Нам хотелось бы обратиться к анализу, в высшей степени примечательного документа – письменного отзыва А. Пуанкаре об А. Эйнштейне…Приведём этот текст полностью. «Г-н Эйнштейн один из самых оригинальных умов, которые я встречал. Несмотря на свою молодость (письмо относится к концу 1911г.), он уже занял весьма почётное место среди виднейших учёных нашего времени. Больше всего нас восхищает лёгкость, с какой он принимает новые концепции, и его умение делать из них выводы.* ***Он не держится за классические принципы*** *(! – А. П.), и если перед ним возникает физическая проблема, быстро рассматривает все варианты её решения. В его мозгу это выливается в предвидение новых явлений, которые когда-нибудь можно будет проверить экспериментально. Я не утверждаю, что все его предсказания выдержат опытную проверку в тот же день, когда такая проверка станет возможной. Поскольку он ведёт поиски во всех направлениях, следует ожидать, что*

большинство путей, на которые он вступает, приведут в тупик; но надо надеяться, что хоть одно из указанных им направлений окажется правильным, и этого вполне достаточно. Именно так надо поступать. Задача математической физики и заключается в том, чтобы ставить вопросы; только опыт может их решить. Будущее покажет со всей очевидностью, как велико значение г-на Эйнштейна; тому университету, который сумеет привязать к себе молодого учёного, это, бесспорно, принесёт большую честь». На наш взгляд (А. А. Тяпкин), это письмо с большой натяжкой может считаться «блестящей характеристикой» Эйнштейна, либо вообще трактоваться в сугубо положительном плане (Дж. Кесуани).

Прежде всего, в отзыве полностью отсутствует упоминание о каких-либо достижениях Эйнштейна в области физики. Кроме того, Пуанкаре явно полагает, что широта научных интересов Эйнштейна не подкреплена необходимой глубиной подхода. Иначе трудно понять пессимистический прогноз в отношении тупикового характера большинства тех путей, по которым идёт Эйнштейн. В отзыве не содержится непосредственных упоминаний на то, какие именно из направлений, разрабатываемых Эйнштейном, выглядят, по мнению Пуанкаре, бесперспективными…

Наконец, с определённым оттенком двусмысленности звучит в тексте письма Пуанкаре фраза о его восхищении той лёгкостью, с которой Эйнштейн воспринимает новые концепции и умение Эйнштейна делать из них все выводы. В этом высказывании трудно не заподозрить намёк на способность Эйнштейна работать, как принято говорить, «на подхвате», т. е. быстро усваивать и развивать идеи, которые сами по себе ему не принадлежат. В данном случае речь может идти не только о «релятивистских» идеях, высказанных самим Пуанкаре. Как хорошо известно, ставшая впоследствии знаменитой работа Эйнштейна 1905 года «Об одной эвристической точке зрения, качающейся возникновения и превращения света», базировалась на использовании квантовой концепции Планка, а также формулы для спектральной плотности излучения абсолютно черного тела, ранее предложенной Вином.

Таким образом, то немногое, что Пуанкаре счёл возможным высказать в адрес Эйнштейна, в сочетании с явно демонстративным молчанием по поводу конкретных эйнштейновских научных публикаций, даёт, на наш взгляд, все основания для следующего утверждения. Пуанкаре, несомненно, высоко оценивал острый и быстрый ум Эйнштейна и его умение свободно ориентироваться во всём многообразии актуальных физических проблем того времени. Однако, Пуанкаре не считал Эйнштейна оригинальным и глубоким исследователем в смысле способности к выдвижению собственных научных идей и их основательной теоретической проработке» [3., стр. 16-17].

Подтверждением последнего заключения является СТО Эйнштейна, созданная «на подхвате» идей Лоренца и Пуанкаре, без, действительно, *«основательной теоретической проработки»* этих идей. Это, прежде всего, некритическое восприятие Эйнштейном идеи Пуанкаре о тождестве понятий «принцип относительности Галилея» и «преобразования Галилея»; неглубокая проработка идеи Максвелла-Лоренца-Пуанкаре о постоянстве скорости света в **«абсолютной»** системе отсчёта; недостаточно глубокое знание исходных понятий и аксиом классической механики Ньютона, в целом. В результате серии взаимных подмен понятий, Эйнштейн попал в созданную им самим логическую ловушку. Из этой ловушки так и не смогли выйти ни он сам, ни теоретическая физика XX века. А «новое представление СТО о физическом пространстве и времени» оказалось лишь призрачной оболочкой, за которой скрывалось здоровое тело электродинамики Максвелла-Лоренца. Именно с этой последней и была связана вся экспериментально-практическая деятельность физики и техники XX столетия.

1. Великие преобразователи естествознания: Анри Пуанкаре // Тез. докл. XYII международных чтений, Минск 28-29 ноября 2001г. – Минск: БГУ, 2001. – 272 с.

1.1. Харин Ю. А. Функции философии в событиях духовной синергии, 116-119
1.2. Мушинский Н.И.Проблема справедливости в творчестве Пуанкаре 244-246
1.3. Габрусь И. Ф. Новым реалиям новые концепты, 144-148
1.4. Кузнечик О. П. Анри Пуанкаре и теория относительности, 70-73

1.5. Томильчик Л. М., Кембровская Н. Г. Научные идеи и методологические принципы Пуанкаре в контексте развития физики XX века, 6-8

1.6. Потехин А. Ф. Объективные и субъективные аспекты принципа относительности в физике, 91-94

1.7. Яскевич Я. С. Формирование специальной теории относительности: Пуанкаре, Лоренц, Эйнштейн, 45-47

1.8. Толкачев Е. А. Пуанкаре – Эйнштейн: относительность одновременности, 16-18

1.9. Утробин И. С. Об особенностях современного естествознания как фрагмента культуры, 22-23

1.10. Гусак А. А., Гусак Г. М., Бричикова Е. А. Жизнь и творчество Пуанкаре, 29-32

1.11. Лукашевич С. А., Желонкина Т. П., Ковалёв М. А. Анри Пуанкаре и специальная теория относительности, 108-110

1.12. Першин В. Т. Анри Пуанкаре – математик, физик, философ, 255-257

1.13. Аверьянов В. А. Пути развития науки, 37-42

2. Луи де Бройль. Анри Пуанкаре и физические теории // Анри Пуанкаре. Избранные труды. Т. III. – М: Наука, 1974.

3. Томильчик Л. М., Кембровская Н. Г. Анри Пуанкре и Альберт Эйнштейн как соавторы специальной теории относительности. Препринт №731, Минск, 2001. Изд. Ин-та физики НАН Беларуси, 24 стр.

УКРАИНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ.
Регистр. № 22 от 22.01.2002

Статья опубликована в Сборнике:

Потехин А. Ф. КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. – Одесса: Маяк, 2003. – С. 49–56.

ОБ ОШИБОЧНОСТИ СТО ЭЙНШТЕЙНА КАК ТЕОРИИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

А. Ф. ПОТЕХИН
Одесский государственный морской университет
(65029 Одесса, ул. Мечникова, 34).

Проанализированы исходные аксиомы *Специальной теории относительности (СТО)* Эйнштейна. Показано, что ошибочная интерпретация в этой теории исходных принципов, лишает её статуса физической теории пространства-времени.

Введение

Исходные аксиомы фундаментальной физической теории должны быть обобщением экспериментальных фактов. Проанализируем, удовлетворяют ли этим требованиям аксиомы СТО Эйнштейна. Обратимся к основополагающей статье этой теории, опубликованной в 1905 г.

«Дальнейшие соображения,- пишет Эйнштейн,- ***опираются на принцип относительности и на принцип постоянства скорости света. Мы формулируем оба принципа следующим образом.***

1. ***Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения состояния относятся.***

2. ***Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определённой скоростью c, независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом»*** [1, стр. 10].

Уточним понятие ***«принцип относительности»***. Есть два принципа относительности в физике – динамический и кинематический [2], [3], [4].

Пусть в некоторых физических лабораториях, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, проводятся идентичные опыты для установления закона некоторого физического процесса. В этом случае мы имеем дело с динамическим принципом относительности Галилея, который является утверждением такого экспериментального факта: идентичные процессы в разных физических лабораториях, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, протекают и описываются одинаково.

Пусть в этих же лабораториях устанавливается некоторый физический закон для одного и того же, общего для всех них, процесса. В этом случае мы имеем дело с кинематическим принципом относительности Коперника, который является утверждением такого экспериментального факта: течение некоторого процесса не зависит от того, относительно какой из лабораторий, движущихся друг относительно друга, он рассматривается, но восприниматься и описываться этот процесс будет при этом в каждой из лабораторий по-разному.

Отличительной особенностью кинематического принципа относительности является возможность перехода от описания некоторого процесса в одной из систем отсчёта, к его описанию в

другой системе отсчёта, с помощью преобразования пространственно-временных координат. Например, в классической механике Ньютона применяют такие линейные преобразования

$$\bar{r} = \bar{r}_{o'} + r^{'}; \qquad t = t^{'}, \tag{1}$$

где $\bar{r}$ и $\bar{r}'$ радиус-векторы одной и той же точки в неподвижной и подвижной системах отсчёта; t и t' - время в этих системах отсчёта; $\bar{r}_{o'}$ - радиус-вектор начала подвижной системы отсчёта относительно неподвижной.

Именно в связи с такого рода преобразованиями было введено понятие инвариантности и ковариантности уравнений движения.

Если уравнения движения при некотором преобразовании систем отсчёта сохраняют свой вид, но не сохраняют выражения для входящих в них функций, то говорят, что эти уравнения движения ***ковариантны*** относительно данного преобразования. Если же уравнения движения при некотором преобразовании сохраняют не только свой вид, но и выражения для входящих в них функций, то говорят, что они ***инвариантны*** относительно данного преобразования.

Являясь формально-математическими преобразованиями, связанными лишь с **формой** записи уравнений движения, инвариантность и ковариантность экспериментальной проверке не подлежат. Математическая формулировка одного и того же закона может быть дана как в инвариантной (ковариантной), так и в неинвариантной (нековариантной) форме относительно тех или иных преобразований. Так, математическая запись закона всемирного тяготения Ньютона для двух материальных частиц A и B не будет инвариантной относительно преобразований Галилея

$$\bar{r} = \bar{r}^{'} + \bar{v}t; \qquad t = t^{'}, \tag{2}$$

если этот закон записан в системе отсчёта с началом координат в одной из этих частиц, например, в точке A

$$F = \gamma \frac{m_A m_B}{r_B^2} \tag{3}$$

и инвариантной относительно этих же преобразований, если начало отсчёта будет совмещено с некоторой третьей точкой C

$$F = \gamma \frac{m_A m_B}{(\bar{r}_A - \bar{r}_B)^2}. \tag{4}$$

Утверждать, что эксперимент может подтвердить правильность записи закона всемирного тяготения в инвариантной форме (4) и неправильность в форме (3)– абсурдно.

Так как в динамическом принципе относительности речь идёт о разных, хотя и идентичных, процессах в каждой из систем отсчёта, то связать эти процессы преобразованиями типа (1), (2) и т. д. невозможно. Поэтому, для динамического принципа относительности понятия инвариантности и ковариантности неприменимы.

Анализ исходных аксиом СТО Эйнштейна

Обратимся к исходным принципам (аксиомам) Эйнштейна.

1. Формулировка первого из этих принципов, принципа относительности, является правильной, если его понимать как динамический принцип относительности Галилея. Этот принцип подтверждается всей совокупностью физических экспериментов. Однако, каждый раз, когда Эйнштейн в своих выводах, как в этой статье, так и во всех дальнейших, ссылается на данный принцип, он применяет его не как динамический, а как кинематический принцип относительности, более того, как требование инвариантной формы записи рассматриваемых им уравнений. Такое понимание первого принципа своей теории неоднократно подтверждает и сам Эйнштейн. *«Если основные уравнения механики Ньютона, записанные для неускоренной системы отсчёта, преобразовать с помощью соотношений*

$$t = t^{'}, \qquad x' = x - vt, \qquad y' == y, \qquad z' = z, \tag{5}$$

к новой системе координат, находящейся в прямолинейном и равномерном движении по отношению к первой, то при этом получаются новые уравнения в переменных t', x', y', z', *идентичные исходным уравнениям в переменных* t, x, y, z. *Иначе говоря, при переходе от одной системы отсчёта к другой, движущейся равномерно и прямолинейно по отношению к первой, ньютоновские законы движения преобразуются в законы того же вида.* ***Именно это имеют в виду, когда говорят, что в классической механике выполняется принцип относительности****… Если основные уравнения теории Лоренца преобразовать с помощью соотношений (5), то получаются уравнения другого вида, причём в них величины* x', y', z' *входят уже несимметрично, Итак,* ***теория Лоренца,*** основанная на эфире, ***не удовлетворяет принципу относительности*** (т. е., инвариантности – А. П.)*»* [1, стр. 144].

Начало такого ошибочного отождествления динамического принципа относительности с формально-математическим требованием инвариантности уравнений движения относительно тех или иных преобразований систем отсчёта восходит к А. Пуанкаре. Согласно Пуанкаре, "*принцип относительности должен рассматриваться как условное соглашение*"[5, с.428]. "*В чём же заключается переворот, происшедший под влиянием новейших успехов физики?*", - спрашивает Пуанкаре. И отвечает: "*Принцип относительности в его прежней форме должен быть отвергнут, он заменяется принципом относительности Лоренца. Именно преобразования группы Лоренца не изменяют дифференциальных уравнений динамики* [5, с. 429]". Но неизменность уравнений относительно некоторых преобразований есть требование инвариантности этих уравнений относительно данных преобразований.

Таким образом, согласно Пуанкаре и Эйнштейна, принцип относительности Галилея заключается в инвариантности уравнений динамики относительно преобразований Галилея, а принцип относительности Лоренца заключается в инвариантности этих уравнений относительно преобразований Лоренца. Это ошибочная точка зрения на саму сущность того принципа относительности, который впервые был сформулирован Галилеем и на котором базируется первый закон классической механики Ньютона – закон инерции. И эта ошибочная точка зрения оставалась незамеченной на протяжении всего XX столетия [2]. Например, в классическом курсе *Теоретической физики* Ландау и Лифшица, утверждается: «*Опыт показывает, что справедлив так называемый* ***принцип относительности****. Согласно этому принципу все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта.* ***Другими словами****,* ***уравнения, выражающие законы природы, инвариантны по отношению к преобразованиям координат и времени от одной инерциальной системы отсчёта к другой****. Это значит, что уравнение, описывающее некоторый закон природы, будучи выражено через координаты и время в различных инерциальных системах отсчёта, имеет один и тот же вид*» [6, стр. 13].

2. Формулировка второго принципа, принципа постоянства скорости света, также является правильной, если в нём под «неподвижной» системой координат понимать «абсолютную» систему координат, привязанную к сфере удалённых звёзд, то есть в смысле Ньютона-Максвелла-Лоренца. В таком понимании, действительно, вся совокупность экспериментальных фактов и астрономических наблюдений подтверждает, что скорость света только относительно этой единственной системы координат не зависит «*от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом».* В таком понимании этот принцип будем далее называть «Принцип постоянства скорости света Лоренца». Однако, Эйнштейн в своих выводах использует *«то обстоятельство, что* ***свет при измерении в движущейся системе также распространяется со скоростью*** c***, как этого требует принцип постоянства скорости света в сочетании с принципом относительности*** (то есть, в сочетании с требованием инвариантности! – А. П.)*»* [1, стр. 15]. Это следствие в дальнейшем будем называть «Ложный принцип постоянства скорости света Эйнштейна». Для Эйнштейна достаточно было того экспериментального факта, что скорость света в одной из систем отсчёта, «абсолютной», не зависит от скорости движения его источника. А затем, отождествив инвариантность фронта световой волны относительно преобразований Лоренца с динамическим принципом относительности, он отождествляет скорость света в движущейся системе отсчёта со скоростью света в ***«покоящейся»*** системе отсчёта. Отсюда ясно, что эксперименты, под-

тверждающие справедливость динамического принципа относительности Галилея и для электродинамических процессов, автоматически отождествлялись с экспериментальным доказательством «Ложного принципа постоянства скорости света Эйнштейна». Этот принцип и лежит в основе доказательства необходимости пересмотра наших представлений о физическом пространстве и времени: «*Пусть из некоторой точки A на оси x' отправляются сигналы в двух взаимно противоположных направлениях. Поскольку скорость распространения сигнала в системе K',* ***как и во всякой системе*** (! – А. П.)*, равна в (обоих направлениях) c, то сигналы достигнут равноудалённых от A точек B и C в один и тот момент времени (в системе K'). Легко, однако, видеть, что те же самые два события (приход сигнала в B и C) будут отнюдь не одновременными для наблюдателя в системе K. Действительно, скорость сигналов относительно системы K* ***согласно принципу относительности*** (т. е. инвариантности - см. приведенное выше определение принципа относительности цитируемых авторов – А. П.) *равна тому же c, и поскольку точка B движется (относительно системы K) навстречу посланному в неё сигналу, а точка C - по направлению от сигнала (посланному из A в C), то в системе K сигнал придёт в точку B раньше, чем в точку C»* [6, стр. 16].

Эйнштейн в своей первой статье 1905г. приходит к выводу, что *«не следует придавать абсолютного значения понятию одновременности"*, сравнивая время хода светового сигнала туда и обратно в системе K' вдоль движущегося со скоростью v стержня AB

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{c - v} \quad \text{и} \quad t_A^* - t_B = \frac{r_{AB}}{c + v} \tag{6}$$

со временем прохождения светового сигнала туда и обратно вдоль «моментального снимка» этого стержня на плёнку, покоящуюся в «неподвижной» системе отсчёта

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{c} \quad \text{и} \quad t_A^* - t_B = \frac{r_{AB}}{c}, \tag{7}$$

что, естественно, приводит к разным результатам. *«Итак*, - делает вывод Эйнштейн, - *наблюдатели, движущиеся вместе со стержнем, найдут, что часы в точках A и B не идут синхронно, в то время как наблюдатели, находящиеся в покоящейся системе, объявили бы эти часы синхронными»*. Однако, это заключение ошибочно. Необходимо учесть, что в то время как свет движется вдоль стержня, сам стержень проходит относительно неподвижной системы отсчёта некоторое расстояние. С учётом этого находим

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB} + v(t_B - t_A)}{c} \quad \text{и} \quad t_A^* - t_B = \frac{r_{AB} - v(t_A^* - t_B)}{c}. \tag{8}$$

Результаты (6) и (8) совпадают, как и должно быть, так как рассуждения ведутся Эйнштейном в рамках понятий классической механики Ньютона, аксиомы которой непротиворечивы и базируются на экспериментальной практике.

Такая непоследовательность проявляется и в рассуждениях других авторов. Например, при теоретическом обосновании (в рамках классических представлений о пространстве и времени) оптического опыта Майкельсона-Морли, якобы подтверждающего СТО Эйнштейна, время хода продольного луча находится согласно преобразованиям Галилея, а время хода поперечного луча – вопреки этим преобразованиям и т. д.

Выводы

1. ***Специальная теория относительности*** Эйнштейна базируется на ошибочном отождествлении: а) динамического принципа относительности Галилея с инвариантностью уравнений движения относительно преобразований систем отсчёта; б) принципа постоянства скорости света Лоренца с ложным принципом постоянства скорости света Эйнштейна. Эта двойная подмена понятий полностью лишает СТО экспериментально-физической основы.

2. Вывод СТО об изменении физического пространства и времени в каждой из инерциальных систем отсчёта не может быть принят даже в качестве условного соглашения, так как это противо-

речит динамическому принципу относительности Галилея, который подтверждён всей совокупностью физических экспериментов, включая электродинамические.

3. Понятия «абсолютного времени» и «абсолютного пространства» Ньютона есть научные абстракции от «относительного, кажущегося или обыденного» времени и пространства. Опровергать эти понятия так же бессмысленно, как опровергать понятия «абсолютно твёрдого тела», «идеальной жидкости», «идеального газа» и т. п.

4. Преобразования Лоренца, как и преобразования Галилея, позволяют переформулировать математическое описание некоторого физического процесса из одной инерциальной системы отсчёта в другую, оставаясь в рамках классических представлений «абсолютного пространства» и «абсолютного времени».

5. Преимущество преобразований Лоренца по сравнению с преобразованиями Галилея заключается в том, что формально-математической деформацией пространственно-временных координат обеспечивается инвариантность фронта световой волны во всех инерциальных системах отсчёта. А так как в эти преобразования входит та же мировая константа c, что и в уравнения Максвелла, то это существенно упрощает переформулировку уравнений электродинамики из одной инерциальной системы отсчёта в другую, оставляя их ковариантными.

1. Эйнштейн А. Собрание научн. тр. Т. I. – М.: Наука, 1965.
2. Potyekhin A. F. //Hadronic Journal Supplement.- 1999. – **14**. – P. 297-313.
3. Потєхін А. Ф. Короткий курс теоретичної механіки в запитаннях та відповідях з аналізом базових понять.: Навчальний посібник для студентів втузів. – Одеса: ОДМУ, 2000. – 194с.
4. Потехин А. Ф. //Тез. докл. XYII Международных чтений “Великие преобразователи естествознания: А. Пуанкаре”, 28 – 29 ноября 2001г. – Минск, 2001. – С. 91 – 94.
5. Пуанкаре. А. О науке. – М.: Наука, 1983. – 560с.
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля – М.: Наука, 1988. – 510с.
7. Эйнштейн А. Собрание научн. тр. Т. II. – М.: Наука, 1966.

Примечание Переписку с Редакцией журнала по данной статье см. в разделе ПЕРЕПИСКА настоящего сайта

ПИСЬМА в ЖЭТФ
Регистр. №32 от 29.01.2002

Полный вариант этой статьи с названием “Об ошибочности СТО Эйнштейна как теории физического пространства-времени” опубликован в Сборнике:
Потехин А. Ф. КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. – Одесса: Маяк, 2003. – С. 49–56.

ОБ ОШИБОЧНОСТИ ПРИНЦИПА ЭЙНШТЕЙНА О ПОСТОЯНСТВЕ СКОРОСТИ СВЕТА

А. Ф. Потехин
Одесский национальный морской университет
65029 Одесса, ул. Мечникова, 34.

Дан критический анализ принципа Эйнштейна о постоянстве скорости света. Показано, что ошибочная интерпретация в СТО этого принципа, лишает её статуса физической теории пространства-времени.

Исходные понятия

Динамический принцип относительности: идентичные процессы в разных физических лабораториях, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, протекают и описываются одинаково.

Кинематический принцип относительности: течение некоторого процесса не зависит от того, относительно какой из лабораторий, движущихся друг относительно друга, он рассматривается, но восприниматься и описываться этот процесс будет при этом в каждой из лабораторий поразному.

Ковариантность уравнений движения: Если уравнения движения при некотором преобразовании систем отсчёта сохраняют свой вид, но не сохраняют выражения для входящих в них функций, то говорят, что эти уравнения движения ***ковариантны*** относительно данного преобразования.

Инвариантность уравнений движения: Если уравнения движения при некотором преобразовании сохраняют не только свой вид, но и выражения для входящих в них функций, то говорят, что они ***инвариантны*** относительно данного преобразования.

Анализ второй аксиомы СТО Эйнштейна

Исходные аксиомы фундаментальной физической теории должны быть обобщением экспериментальных фактов. Проанализируем, удовлетворяет ли данному требованию вторая аксиома СТО Эйнштейна. В основополагающей статье, опубликованной в 1905 г., эта аксиома формулируется так: ***«Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определённой скоростью c, независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом»*** [1, стр. 10].

Формулировка такого принципа постоянства скорости света является правильной, если в нём под «покоящейся» системой координат понимать «абсолютную» систему координат, привязанную к сфере удалённых звёзд, то есть в смысле Ньютона-Максвелла-Лоренца. В таком понимании, действительно, вся совокупность экспериментальных фактов и астрономических наблюдений подтверждает, что скорость света только относительно этой единственной системы координат не зависит «*от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом».* В дальнейшем, этот принцип будем называть «**Принцип постоянства скорости света Лоренца**». Одна-

ко, Эйнштейн в своих выводах использует *«то обстоятельство, что* ***свет при измерении в движущейся системе также распространяется со скоростью*** c***, как этого требует принцип постоянства скорости света в сочетании с*** ***<u>принципом относительности</u>*** (каким? – А. П.)*»* [1, стр. 15]. Это следствие в дальнейшем будем называть «**Ложный принцип постоянства скорости света Эйнштейна**», так как он является следствием ошибочного отождествления Эйнштейном динамического принципа относительности с кинематическим принципом относительности, более того, как с требованием инвариантной формы записи уравнений движения - [2], [3], [4].

Для Эйнштейна достаточно было того экспериментального факта, что скорость света в «покоящейся» системе отсчёта не зависит от скорости движения его источника. А затем, отождествив инвариантность уравнений движения (в данном случае – уравнение фронта световой волны) относительно преобразований Лоренца с динамическим принципом относительности, он отождествляет скорость света в движущейся системе отсчёта со скоростью света в *«покоящейся»* системе отсчёта. Но динамический принцип относительности или, что одно и то же, закон инерции, подтверждён лишь для той формы существования материи, которая называется веществом. Закон инерции справедлив лишь для частицы вещества (вне зависимости от её химического состава и физического состояния – температуры, заряда и т. п.), **но не для фотона**. Этот последний факт и признаётся принципом постоянства скорости света Лоренца.

Ложный принцип постоянства скорости света Эйнштейна и лежит в основе доказательства необходимости пересмотра наших представлений о физическом пространстве и времени. «*Пусть из некоторой точке* A *на оси* x' *отправляются сигналы в двух взаимно противоположных направлениях. Поскольку скорость распространения сигнала в системе* K'*,* ***как и во всякой системе*** (! – А. П.)*, равна в (обоих направлениях)* c*, то сигналы достигнут равноудалённых от* A *точек* B *и* C *в один и тот же момент времени (в системе* K'*). Легко, однако, видеть, что те же самые два события (приход сигнала в* B *и* C*) будут отнюдь не одновременными для наблюдателя в системе* K*. Действительно, скорость сигналов относительно системы* K ***согласно принципу относительности*** (т. е. инвариантности, см. [5, стр. 13] – А. П.) *равна тому же* c*, и поскольку точка* B *движется (относительно системы* K*) навстречу посланному в неё сигналу, а точка* C *- по направлению от сигнала (посланному из* A *в* C*), то в системе* K *сигнал придёт в точку* B *раньше, чем в точку* C*»* [5, стр. 16].

Аналогично, Эйнштейн приходит к выводу, что *«не следует придавать абсолютного значения понятию одновременности"*, сравнивая время хода светового сигнала туда и обратно вдоль движущегося со скоростью v стержня AB

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{c - v} \quad \text{и} \quad t_A^* - t_B = \frac{r_{AB}}{c + v} \tag{6}$$

со временем прохождения светового сигнала туда и обратно вдоль «моментального снимка» этого стержня на плёнку, покоящуюся в «неподвижной» системе отсчёта

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{c} \quad \text{и} \quad t_A^* - t_B = \frac{r_{AB}}{c}, \tag{7}$$

что, естественно, приводит к разным результатам. *«Итак*, - делает вывод Эйнштейн, - *наблюдатели, движущиеся вместе со стержнем, найдут, что часы в точках* A *и* B *не идут синхронно, в то время как наблюдатели, находящиеся в покоящейся системе, объявили бы эти часы синхронными»* [1, стр. 12 - 13]. Однако, это заключение ошибочно. Необходимо учесть, что в то время как свет движется вдоль стержня, сам стержень проходит относительно неподвижной системы отсчёта некоторое расстояние. С учётом этого находим

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB} + v(t_B - t_A)}{c} \quad \text{и} \quad t_A^* - t_B = \frac{r_{AB} - v(t_A^* - t_B)}{c}. \tag{8}$$

Результаты (6) и (8) совпадают, как и должно быть, так как рассуждения ведутся Эйнштейном в рамках понятий классической механики Ньютона, аксиомы которой непротиворечивы и базируются на экспериментальной практике. К ложному выводу Эйнштейн и авторы [5] пришли потому,

что в первой части рассуждения ведутся согласно (вопреки) преобразованиям Галилея, а во второй – вопреки (согласно) этим преобразованиям.

Такая непоследовательность проявляется и в рассуждениях других авторов. Например, при теоретическом обосновании (в рамках классических представлений о пространстве и времени) оптического опыта Майкельсона-Морли, якобы подтверждающего СТО Эйнштейна, время хода продольного луча находится согласно преобразованиям Галилея, а время хода поперечного луча – вопреки этим преобразованиям и т. д.

Выводы

1. ***Специальная теория относительности*** Эйнштейна базируется на ошибочном отождествлении принципа постоянства скорости света Лоренца с ложным принципом постоянства скорости света Эйнштейна. Эта подмена понятий лишает СТО статуса физической теории пространства-времени.

2. Вывод СТО об изменении физического пространства и времени в каждой из инерциальных систем отсчёта не может быть принят даже в качестве условного соглашения, так как это противоречит динамическому принципу относительности, который подтверждён всей совокупностью физических экспериментов, включая электродинамические.

3. Понятия *«абсолютного времени»* и *«абсолютного пространства»* Ньютона есть научные абстракции от *«относительного, кажущегося или обыденного»* времени и пространства. Опровергать эти понятия так же бессмысленно, как опровергать понятия «абсолютно твёрдого тела», «идеальной жидкости», «идеального газа» и т. п.

4. Преобразования Лоренца, как и преобразования Галилея, позволяют переформулировать математическое описание некоторого физического процесса из одной инерциальной системы отсчёта в другую, оставаясь в рамках классического представления о пространстве и времени.

5. Преимущество преобразований Лоренца по сравнению с преобразованиями Галилея заключается в том, что формально-математической деформацией пространственно-временных координат обеспечивается инвариантность уравнения фронта световой волны во всех инерциальных системах отсчёта. А так как в эти преобразования входит та же мировая константа c, что и в уравнения Максвелла, то это существенно упрощает переформулировку уравнений электродинамики из одной инерциальной системы отсчёта в другую, оставляя их ковариантными.

1. А. Эйнштейн, Собрание научн. тр. Т. I. – М.: Наука, 1965.
2. A. F. Potyekhin, //Hadronic Journal Supplement.- 1999. – **14**. – pp. 297-313.
3. А. Ф. Потєхін, Короткий курс теоретичної механіки в запитаннях та відповідях з аналізом базових понять.: Навчальний посібник для студентів втузів. – Одеса: ОДМУ, 2000.
4. А. Ф. Потехин, //Тез. докл. XYII Межд. чтения “Великие преобразователи естествознания: А. Пуанкаре”, 28 – 29 ноября 2001г. – Минск, 2001, стр. 91 – 94.
5. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Теория поля – М.: Наука, 1988.

Примечание Переписку с Редакцией журнала по данной статье см. в разделе ПЕРЕПИСКА настоящего сайта

УКРАИНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ.
Регистр. № 167 от 30 сентября 2002

Статья опубликована в Сборнике:
Потехин А. Ф. КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. – Одесса: Маяк, 2003. – С. 57–69.

К ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ ТЕЛ, ДВИЖУЩИХСЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТСЧЁТА

А. Ф. ПОТЕХИН
Одесский национальный морской университет
(65029 Одесса, ул. Мечникова, 34).

Электродинамика тел, движущихся относительно инерциальных систем отсчёта, развита в рамках понятий и законов классической механики Ньютона. Выявлена ограниченная область применения преобразований Лоренца.

1. Исходные определения [1]

Абсолютной системой отсчёта (АСО) Σ^0 называется система отсчёта, относительно которой экспериментально обнаруженное в мировом пространстве 2,7 К. излучение является однородным и изотропным. В первом приближении по Ньютону, АСО реализуется гелиоцентрической системой отсчёта Коперника, привязанной к звёздам нашей Галактики, в следующем приближении – к центрам Галактик, далее к центрам групп Галактик и т. д. В динамическом отношении АСО является выделенной и часто называется неподвижной или, более полно, системой отсчёта неподвижного эфира.

Инерциальными системами отсчёта (ИСО) называются системы отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно АСО, следовательно, и друг относительно друга. Обратное утверждение неверно, т. е. не все системы отсчёта, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, являются инерциальными. Например, системы отсчёта, привязанные к вагонам, движущимся поступательно, прямолинейно и равномерно друг относительно друга, но с одним и тем же ускорением относительно АСО под действием поверхностных сил, не будут инерциальными.

Если рассматриваемая система материальных частиц движется вместе с системой отсчёта $\sum$, которая, в свою очередь, движется относительно АСО $\sum^0$, то $\sum$ называется динамической системой отсчёта для данного процесса.

Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении совместно с системой отсчёта $\sum$, то последняя называется кинематической для данного процесса.

Динамический принцип относительности Галилея есть утверждение следующего экспериментального факта: идентичные процессы, каждый из которых реализуется в своей динамической инерциальной системе отсчёта, протекают и описываются в этих системах отсчёта одинаково.

Кинематический принцип относительности Коперника есть утверждение следующего экспериментального факта: течение одного и того же процесса не зависит от того, по отношению к какой из систем отсчёта он рассматривается, но восприниматься и описываться этот процесс в каждой из них будет по-разному. Переход от описания одного и того же процесса в одной из систем отсчёта

к описанию в другой системе отсчёта осуществляется кинематическим преобразованием пространственных координат и времени этих систем отсчёта, например,

$$\bar{r} = \bar{r}_{O'} + \bar{r}', \qquad t = t', \tag{1}$$

где $\bar{r}$ и $\bar{r}'$ - радиус- векторы одной и той же точки, t и t' - время в нештрихованной и штрихованной системах отсчёта, $\bar{r}_{O'}$ - радиус-вектор начала штрихованной системы отсчёта относительно нештрихованной.

Если уравнения движения при некотором преобразовании систем отсчёта сохраняют свой вид, но не сохраняют выражения для входящих в них функций, то эти уравнения называются ковариантными относительно данного преобразования.

Если уравнения движения при некотором преобразовании систем отсчёта сохраняют как свой вид, так и выражения для входящих в них функций, то эти уравнения называются инвариантными относительно данного преобразования.

2. Динамический и кинематический принципы относительности в механике.

Согласно Ньютону, основное уравнение динамики точки

$$\frac{d}{dt}(m\bar{v}) = F(\bar{r}, \bar{v}, t) \tag{2}$$

справедливо только в абсолютной системе отсчёта $\sum^0$. Однако, уже Ньютону был известен экспериментально установленный динамический принцип относительности Галилея. Согласно этому принципу, любые механические процессы, проводимые в замкнутой физической лаборатории, не позволяют обнаружить её поступательное, равномерное и прямолинейное движения относительно АСО. На основании данного принципа Ньютон сформулировал первый закон динамики - закон инерции: изолированная материальная частица сохраняет неизменной свою скорость в абсолютной системе отсчёта. Как следствие, взаимное движение системы взаимодействующих между собой материальных частиц, не зависит от их общего движения с одной и той же переносной скоростью: "*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*" [2, Следствие V, с. 49]. 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*"[2, с.33]. 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*" [2, с. 49]. Это следствие чрезвычайно важно. Оно позволяет применять законы механики Ньютона не только в абсолютной системе отсчёта, для которой они были сформулированы, но и во всех динамических инерциальных системах отсчёта. Динамические инерциальные системы отсчёта равноправны в том смысле, что идентичные механические процессы, каждый из которых проводится и наблюдается в своей динамической ИСО (физической лаборатории) $\sum$, описываются одинаково.

Сделаем при этом одно очень существенное замечание. Одинаковость формулировки законов движения для идентичных процессов в разных динамических ИСО есть следствие экспериментального факта, но не инвариантности уравнений движения относительно кинематического преобразования Галилея. Например, уравнение движения шарика, падающего в покоящихся сосудах с жидкостью в каждой из динамических ИСО, имеет вид

$$m\frac{d^2\bar{r}}{dt^2} = mg - \mu\bar{v} \tag{3}$$

однако, это уравнение не инвариантно относительно преобразования Галилея

$$\bar{r} = \bar{r}' + \bar{u}t, \qquad t = t', \tag{4}$$

где $\bar{u}$ - скорость взаимного движения систем отсчёта. Более того, само понятие кинематического преобразования типа (1) применительно к динамическому принципу относительности теряет смысл, поскольку в этом принципе речь идёт о событиях в разных системах отсчёта. Кинематическое же преобразование связано с рассмотрением из разных систем отсчёта одного и того же события. В строгом соответствии с кинематическим принципом относительности, этот процесс, рассматриваемый из разных систем отсчёта, описывается по-разному в каждой из этих систем отсчёта. Об этом и свидетельствует неинвариантность уравнения (3) относительно преобразования (4).

3. Динамический принцип относительности в электродинамике

Согласно Максвеллу, Лоренцу, Хевисайду и др., электродинамические уравнения Максвелла справедливы только в абсолютной системы отсчёта Ньютона $\sum^0$. Вполне естественно, что в период становления электродинамики, должен был возникнуть вопрос: остаётся ли справедливым динамический принцип относительности Галилея также и для электродинамических процессов? Серия экспериментов, проведенных на переломе XIX и XX столетий, дала утвердительный ответ на этот вопрос. Этого следовало ожидать уже из первого закона механики – закона инерции. который был установлен для любых материальных частиц, вне зависимости от их химического состава и физического состояния - температуры, заряда и пр. ***"****Это – очень важное обстоятельство; если на электрон не действуют никакие внешние силы, он будет – совершенно также,, как и материальная точка – двигаться с постоянной по величине скоростью, несмотря на присутствие окружающего эфира****"*** – отмечал основоположник электродинамики движущихся тел Г. Лоренц [3, с.68]. Но вместо сформулированного выше вопроса, был поставлен другой вопрос: увлекается ли светоносный эфир движущимся телом или же существует эфирный ветер? В процессе поиска ответа на этот вопрос, были неверно истолкованы различные электродинамические опыты, подтверждающие справедливость динамического принципа относительности и в электродинамике [4].

Уравнения Максвелла в вакууме для электрического заряда плотности ρ_e^0, движущегося со скоростью $\bar{v}^0$ относительно абсолютной системы отсчёта $\sum^0$, имеют вид

$$\begin{aligned} div\,\bar{E}^0 &= \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e^0, \\ rot\,\bar{E}^0 &= -\frac{\partial B^0}{\partial t^0}, \\ div\,\bar{B}^0 &= 0, \\ rot\,\bar{B}^0 &= \mu_0\rho_e^0\bar{v}^0 + \frac{1}{c^2}\frac{\partial \bar{E}^0}{\partial t^0}, \end{aligned} \quad , \qquad (5)$$

где ε_0, μ_0 - электрическая и магнитная постоянная, т. е.

$$\varepsilon_0 = const, \quad \mu_0 = const, \quad c = (\varepsilon_0\mu_0)^{-1/2} = const, \qquad (6)$$

c - скорость распространения фронта электромагнитной волны (света) в $\sum^0$.

Пусть заряд ρ_e, движется вместе с некоторой инерциальной системой отсчёта $\sum$ и, одновременно, относительно этой системы отсчёта со скоростью $\bar{v}$, т. е., по отношению к рассматриваемому процессу, $\sum$ является динамической ИСО. В этом случае, согласно динамическому принципу относительности Галилея, уравнения Максвелла в ИСО $\sum$ имеют тот же вид, что и в $\sum^0$

$$
\begin{aligned}
&div\,\overline{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e,\\
&rot\,\overline{E} = -\frac{\partial B}{\partial t},\\
&div\,\overline{B} = 0,\\
&rot\,\overline{B} = \mu_0\rho_e\overline{v} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial\overline{E}}{\partial t}
\end{aligned}
\qquad (7)
$$

с теми же значениями констант согласно (6). Физический смысл константы c при этом остаётся тем же – это скорость света относительно $\sum^0$, которая, согласно эксперименту, не зависти от того, покоится или движется относительно $\sum^0$ источник света. Это является следствием того факта, что фотон не имеет массы покоя, поэтому первый закон Ньютона, закон инерции, к нему не применим. Фотон, в отличие от материальной частицы, не сохраняет скорости движения своего источника.

Следует отметить существенный вклад проф. Х. Вильхельма [5] - [7] в создание галилей-ковариантной теории электродинамики движущихся тел. Следуя Максвеллу, Лоренцу и др., проф. Вильхельм уравнения Максвелла считает справедливыми лишь в единственной, абсолютной системе отсчёта $\sum^0$. Из галилей-ковариантных электродинамических уравнений Вильхельма следует возможность обнаружения движения инерциальных систем отсчёта относительно АСО, что требует ещё экспериментального подтверждения.

4. Кинематический принцип относительности в электродинамике

В теории движущихся зарядов возникла и другая задача: необходимо описать в кинематической ИСО $\sum'$ поле заряда ρ_e, движение которого задано в динамической ИСО $\sum$. При этом, ИСО $\sum'$ движется относительно ИСО $\sum$ со скоростью $\overline{u} = const$. В этом случае мы имеем дело с кинематическим принципом относительности. Чтобы описать в ИСО $\sum'$ процесс, который происходит в ИСО $\sum$, применим к системе уравнений (7), кинематическое преобразование Галилея (4).

Выведем некоторые вспомогательные соотношения. Применив к функции $f(\overline{r},\,t)$ преобразования Галилея (4), получим

$$f(\overline{r},t) = f(\overline{r}'+\overline{u}t',t') = f'(r',t'). \qquad (8)$$

Далее находим

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial f'}{\partial t'}\frac{\partial t'}{\partial t} + \frac{\partial f'}{\partial \overline{r}'}\frac{\partial \overline{r}'}{\partial t}. \qquad (9)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \overline{r}} = \frac{\partial f'}{\partial \overline{r}'}\frac{\partial \overline{r}'}{\partial \overline{r}}. \qquad (10)$$

Принимая также во внимание, что

$$\frac{\partial t'}{\partial t} = 1, \quad \frac{\partial r'}{\partial t} = -\overline{u}, \quad \frac{\partial \overline{r}'}{\partial \overline{r}} = \delta, (\delta_{ij} = 1, i = j;\ \ \delta_{ij} = 0, i \neq j), \qquad (11)$$

из (9) и (10) получаем следующие соотношения между операторами в штрихованной и не штрихованной системах отсчёта

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}\overline{\nabla}', \quad \overline{\nabla} = \overline{\nabla}'. \qquad (12)$$

С учётом (12), уравнения Максвелла (7), после применения к ним кинематического преобразования Галилея, принимают следующий вид в штрихованной кинематической ИСО

$$\begin{aligned} & div\overline{E}' = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e, \\ & rot\,\overline{E}' == -(\frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}\overline{\nabla}')\overline{B}', \\ & div\,\overline{B}' = 0, \\ & rot\,\overline{B}' = \mu_0\rho_e(\overline{u} + \overline{v}') + \frac{1}{c^2}(\frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}\overline{\nabla}')\overline{E}', \end{aligned} \qquad (13)$$

опять таки, с теми же значениями констант согласно (6). Выделим в последней системе уравнений члены, обуславливающие неинвариантность уравнений Максвелла относительно преобразований Галилея

$$\begin{aligned} & div\overline{E}' = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e, \\ & rot\,\overline{E}' == -\frac{\partial}{\partial t'}B' + \left[(u\nabla')\overline{B}'\right], \\ & div\,\overline{B}' = 0, \\ & rot\,\overline{B}' = \mu_0\rho_e\overline{v}' + \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t'}E' + \left[\mu_0\rho_e\overline{u} - \frac{1}{c^2}\left(\overline{u}\overline{\nabla}'\right)\overline{E}'\right], \end{aligned} \qquad (14)$$

Как и следовало ожидать, неинвариантность обусловлена конвективным током и конвективной производной от векторов поля – члены в квадратных скобках.

5. Пример

Системы уравнений (7) и (13) исчерпывают решение задачи описания полей движущихся зарядов в инерциальных системах отсчёта. Рассмотрим пример.

Электрический заряд q' покоится в начале штрихованной ИСО $\sum'(x', y', z', t')$ движущегося трамвая, а заряд q покоится в начале нештрихованной ИСО $\sum(x, y, z, t)$ движущейся Земли. При этом, штрихованная система отсчёта движется вместе с нештрихованной и одновременно относительно неё со скоростью $\overline{u}$ в положительном направлении оси x. Найти поля этих зарядов в каждой из систем отсчёта.

а) Поле заряда q' в ИСО $\sum'$. $\sum'$ является для заряда q' динамической ИСО, поэтому следует применить систему уравнений Максвелла (7). В результате находим скалярный и векторный потенциалы

$$\phi' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q'}{r'}, \qquad \overline{A}' = 0. \qquad (15)$$

б) Поле заряда q в ИСО $\sum$. Этот случай аналогичен предыдущему, т. е. $\sum$ является для заряда q динамической ИСО, поэтому следует применить систему уравнений Максвелла (7). В результате находим скалярный и векторный потенциалы

$$\phi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}, \qquad \overline{A} = 0. \tag{16}$$

в) Поле заряда q' в ИСО $\sum$. Заряд q' движется вместе с системой отсчёта $\sum$ и одновременно относительно неё со скоростью $\overline{v} = \overline{u}$. Следовательно, $\sum$ является для заряда q' динамической ИСО, поэтому необходимо применить систему уравнений Максвелла (7). Применяя для решения этой системы уравнений предложенный Хевисайдом [8] и мощно развитый проф. Ефименко [9], [10] метод запаздывающих интегралов, находим

$$\phi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q'}{\left[(x-ut)^2 + (1-\frac{u^2}{c^2})(y^2+z^2)\right]^{1/2}}. \tag{17}$$

$$\overline{A} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q'\overline{v}}{c^2\left[(x-ut)^2 + (1-\frac{u^2}{c^2})(y^2+z^2)\right]^{1/2}}. \tag{18}$$

г). Поле заряда q в ИСО $\sum'$. Заряд q не движется вместе с системой отсчёта $\sum'$, но относительно неё он движется со скоростью $\overline{v}' = -\overline{u}$. Следовательно, $\sum'$ является для заряда q кинематической ИСО, поэтому необходимо применить систему уравнений (13), которая в этом случае, принимает вид

$$\begin{aligned} div\overline{E}' &= \frac{1}{\varepsilon_0} q\delta(x'-ut), \\ rot\,\overline{E}' &= 0, \\ div\,\overline{B}' &= 0, \\ rot\,\overline{B}' &= 0. \end{aligned} \tag{19}$$

Здесь учтено, что, так как поле заряда q в системе Σ стационарно, то

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}\overline{\nabla}' = 0 \tag{20}$$

и, кроме того, $\overline{u} + \overline{v}' = 0$. Из системы уравнений (20) находим

$$\phi' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\left[(x'+ut)^2 + y'^2 + z'^2\right]^{1/2}}, \qquad \overline{A}' = 0. \tag{21}$$

Из (21) следует: I) эквипотенциальные поверхности

$$\left[(x'+ut)^2 + y'^2 + z'^2\right] = const \tag{22}$$

заряда q в кинематической ИСО $\sum'$ есть сферические поверхности, движущиеся вместе с этим зарядом в отрицательном направлении оси x'; II) конвективный ток, обусловленный движением кинематической ИСО, магнитного поля не создаёт. Оба этих вывода согласуются с экспериментом

и опровергают СТО Эйнштейна, согласно которой решение для случая г) получается из решения для случая в) заменой скорости $\bar{v}$ на скорость $-\bar{v}$: "*Ясно*,- пишет Эйнштейн в своей основополагающей статье,- *что те же результаты получаются для тел, находящиеся в покое в «покоящейся» системе, но рассматриваемые из системы, которая равномерно движется*" [11, с.18].

6. О преобразованиях Лоренца

Общепринятая методика решения задач электродинамики движущихся тел базируется на применении преобразований Лоренца. Правда, Лоренц так и не сумел найти формул преобразования всех динамических величин, обеспечивающих полную ковариантность уравнений Максвелла. В окончательном виде общеизвестные ныне преобразования Лоренца установлены А. Пуанкаре [12]. Однако современные представления об этих преобразованиях далеки от заложенных в них Лоренцем [3] предпосылках. Во-первых, сопоставление преобразований Лоренца в электродинамике с преобразованиями Галилея в механике некорректно: в механике применяют чисто кинематические преобразования Галилея, в то время как преобразования Лоренца есть единый комплекс преобразований кинематических (пространственно-временные координаты) и динамических величин (плотность заряда и тока, вектора полей, силы и др.). Во-вторых, уравнения Максвелла не инвариантны, а лишь ковариантны относительно преобразований Лоренца. И, наконец, в-третьих, две системы отсчёта, связанные преобразованием Лоренца, обязательно должны быть динамическими ИСО для одной и той же рассматриваемой системы зарядов. Такие и только такие, "вложенные" одна в другую системы отсчёта, рассматривал Лоренц [3] при обосновании своих преобразований. Например, в приведенном выше примере система отсчёта трамвая "вложенна" в систему отсчёта Земли и перемещается вместе с последней. Лишь в этом случае (в силу динамического принципа относительности) уравнения Максвелла в каждой из этих систем отсчёта имеют один и тот же вид и (в силу кинематического принципа относительности) эти системы отсчёта могут быть связаны кинематическим преобразованием. Вследствие этого, правомерна постановка задачи Лоренцем о поиске ковариантных преобразований уравнений Максвелла. Во всех других случаях применение преобразований Лоренца неправомерно.

Несмотря на то, что Лоренц не различал такие понятия как динамический и кинематический принципы относительности, он всё же интуитивно, вплоть до 1905 года, двигался в правильном направлении, не допуская подмены одного из этих понятий другим. Но Лоренц, до конца своей жизни, так и не сумел разглядеть такой подмены понятий в *Теории относительности* Эйнштейна. "*Следует обратить особое внимание*,- пишет он,- *на замечательную обратимость, на которую указал Эйнштейн. До сих пор исследованием явлений в неподвижной системе занимался только наблюдатель A_0, тогда как A ограничивался подвижной системой* (позиция Лоренца до 1905г. – А. П.)… *Обратимость заключается в том, что если наблюдатель A начнёт совершенно таким же способом описывать поле неподвижной системы, он опишет его вполне точно* (ошибочная позиция Эйнштейна, с которой согласился Лоренц – А. П.) ", [3, с 328.]. Однако, последнее утверждение предполагает равноправие динамических и кинематических ИСО, что неверно –см. приведенный выше пример.

7. Заключение

Поскольку, в силу динамического принципа относительности, во всех динамических инерциальных системах отсчёта $\sum$ уравнения Максвелла имеют тот же вид, что и в неподвижной системе отсчёта $\sum^0$, то мы можем за "неподвижную" принять ту ИСО, вместе с которой движется рассматриваемая динамическая ИСО $\sum'$ для системы зарядов S. Например, для системы отсчёта $\sum'$, связанной с поверхностью Земли, гелиоцентрическая система отсчёта $\sum$ может быть принята за неподвижную; для системы отсчёта $\sum''$ трамвая, движущегося вместе с поверхностью Земли ($\sum'$) и одновременно поступательно, равномерно и прямолинейно относительно неё, $\sum'$ может

быть принята за неподвижную и т. д.. Таким образом, абсолютная система отсчёта $\sum^0$ неподвижного эфира снова отступает на задний фон, ускользая от нашего восприятия. Практически, мы всегда имеем дело не с абсолютной, а с инерциальными системами отсчёта того или иного уровня. Но неявно, абсолютная система отсчёта всегда присутствует в данном выше определении динамических инерциальных систем отсчёта и проявляется она динамической силой инерции [1] в механике, динамической (магнитной частью) силой Лоренца в электродинамике и мировой константой c - скоростью распространения света – в оптике.

1. Потехин А. Ф. Краткий курс теоретической механики в вопросах и ответах с анализом базовых понятий (укр.). Рекомендовано Министерством образования и науки Украины как учебное пособие для студентов вузов. – Одесса: ОГМУ, 2000.
2. Ньютон И. Математические начала натуральной философии.–М.:Наука, 1989
3. Лоренц Г. А. Теория электронов и её применение к явлениям света и теплового излучения. – М.: Гостехиздат, 1956.
4. Potyekhin A. F. // Hadronic Journal Supplement.- 1999. – V. 14. – P. 297-313.
5. Wilhelm H. E. // Radio Science. - 1985. - V. 20, No. 5. – P. 1006-1018.
6. Wilhelm H. E. // Z. Naturforsh. – 1990. – V. 45 a. – P. 736-748.
7. Wilhelm H. E. // Hadronic Journal – 1996 – V. 19. – P. 1-39.
8. Heaviside O. // The Electrician. - 1893 – V. 31. – P. 281-282, 359.
9. Jefimenko O. D. // Galilean Electrodinamics. – 1994 – V. 5, No. 2. – P. 25-33.
10. Jefimenko O. D. Electromagnetic Retardation and Theory of Relativity - Star City, West Virginia (USA): Electret Scientific Comp., 1997.
11. Эйнштейн А. Собрание научных тр. В 4-х т. – М.: Наука, 1974. –Т 1, с18
12. Пуанкаре.А. Избранные труды. В 3-х т. – М.: Наука, 1974. –Т 3, с. 433-486.

Примечание Переписку с Редакцией журнала по данной статье см. в разделе ПЕРЕПИСКА настоящего сайта

Доклад на Всеукраинской научно-практичесгой конференции:
ВЫСШАЯ ШКОЛА УКРАИНЫ:
СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
29 ноября 2003 г., Киев, УКРАИНА
Опубликован:
Научный вестник Академии наук высшей школы Украины. – 2004. – №28 . – С.112-120.

О ЗАМКНУТОМ КРУГЕ ПОНЯТИЙ НАУКА – ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА НА ПРИМЕРЕ ФИЗИКИ

ПОТЕХИН А. Ф.
Одесский национальный морской университет
(65029, Одесса, ул. Мечникова, 34)

При научных исследованиях природных процессов всегда возникает необходимость в понятиях, которые бы адекватно отображали эти процессы. Если таких понятий ещё не существует, то вводятся новые понятия. На их основе описывается данный процесс и развивается соответствующая отрасль науки.

На этапе зарождения нового понятия чрезвычайно важна его точная формулировка. Оно не должно быть двусмысленным, так как это приводит к путанице и ошибочным выводам. "*Определите понятие*, – писал ещё Декарт, – *и вы избавите человечество от половины заблуждений*". Образцом корректной формулировки понятий может быть, например, Геометрия Евклида или Механика Ньютона. Физика же XX столетия дала яркий пример некорректной формулировки понятий с далеко идущими негативными последствиями, как в науке, так и в образовании.

В конце XIX столетия было накоплено значительное количество экспериментов по электродинамике движущихся тел. Было доказано, что с помощью таких экспериментов невозможно выявить так называемое "абсолютное движение" Земли. В теоретическом обосновании этого факта возникли большие трудности. Наибольших успехов достиг физик–теоретик Г. Лоренц. Но при этом им была введены дополнительные гипотезы: сначала о существовании местного времени, для обоснования экспериментов с точностью до членов первого порядка по аберрации, а затем, о сокращении длины тела в направлении его движения, для обоснования экспериментов с точностью до членов второго порядка по аберрации. Выдающийся учёный того времени А. Пуанкаре подверг критике такое накопление дополнительных гипотез в теории Лоренца. Он высказал предположение, что "*невозможность показать экспериментальным путём абсолютное движение Земли есть общий закон природы*" [1, с.433], и сформулировал понятие "***Принцип относительности**, согласно которому законы физических явлений должны быть одинаковыми для неподвижного наблюдателя и для наблюдателя, совершающего равномерное поступательное движение, так что мы не имеем и не можем иметь никакого способа определить, находимся ли мы в подобном движении или нет*" [1, С. 561-562]. Это определение Пуанкаре можно толковать двояко.

Первый случай: в каждой из физических лабораторий, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, проводятся идентичные опыты для установления закона некоторого физического процесса. В этом случае мы имеем дело с динамическим принципом относительности Галилея, который является утверждением такого экспериментального факта: *идентичные процессы в разных физических лабораториях, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, протекают и описываются одинаково*.

Второй случай: эти же наблюдатели устанавливают некоторый физический закон для одного и того же, общего для всех них, процесса. В этом случае мы имеем дело с кинематическим принципом относительности Коперника, который является утверждением такого экспериментального факта: *течение некоторого процесса не зависит от того, относительно какой из лабораторий, движущихся друг относительно друга, он рассматривается, но восприниматься и описываться этот процесс будет при этом в каждой из лабораторий по-разному*.

В формулировке Пуанкаре эти два случая не разделены. Так впервые динамическое понятие было отождествлено с понятием кинематическим. Но Пуанкаре пошёл ещё дальше и отождествил динамический принцип относительности с сугубо математическим понятием – инвариантностью уравнений движения относительно преобразования систем отсчёта: ”*Если возможно сообщить общее поступательное движение всей системе без того, чтобы имели место какие-либо видимые изменения в явлениях, то это значит, что уравнения электромагнитного поля не изменятся в результате некоторых преобразований*” [1, с. 434].

Эта ошибочная точка зрения стала главной идеей *Теории относительности Эйнштейна* [2]: делалась ссылка на принцип относительности, а фактически использовался то динамический принцип относительности, то кинематический принцип относительности, то инвариантность, то ковариантность уравнений движения. Такая взаимная подмена понятий не могла не привести, и на самом деле привела, к путанице и парадоксам. Именно с помощью такой подмены понятий Эйнштейн “обосновал”: ошибочные выводы об отсутствии выделенной, в динамическом отношении (по Ньютону – абсолютной), системы отсчёта; об эквивалентности динамического и кинематического магнитного поля, динамических и кинематических сил инерции, динамического гравитационного поля и кинематических сил инерции и т. д. Венцом *Теории относительности* Эйнштейна является вывод о том, что физические пространство и время в каждой из инерциальных систем отсчёта зависят от их относительного движения. Но если это так, то идентичные физические, химические и биологические процессы в каждой из инерциальных систем отсчёта должны протекать по-разному. Два близнеца, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, стареют по-разному – именно такой вывод сделал Эйнштейн, не заметив при этом, что это противоречит исходной аксиоме его *Специальной теории относительности*.

Ошибочное отождествление разных понятий и *Теория относительности* Эйнштейна, которая на них базируется, быстро проникли в учебный процесс и господствовали в системе образования на протяжении целого столетия. Возьмём, например, распространённый в высших учебных заведениях учебник И. В. Савельева **Курс физики**. Читаем.

“***§ 44. Принцип относительности Галилея.***

Законы механики одинаково формулируются для всех инерциальных систем отсчёта. Это утверждение называется п р и н ц и п о м о т н о с и т е л ь н о с т и Г а л и л е я”. Обратим внимание на то, что здесь приводится то же определение принципа относительности с двойным толкованием, что и у Пуанкаре, а затем и у Эйнштейна. Это подтверждается дальнейшим применением данного принципа.

“*Галилей первый обратил внимание на то, что никакими механическими опытами, осуществлёнными в пределах данной инерциальной системы отсчёта, невозможно установить находится ли она в состоянии покоя или в состоянии равномерного прямолинейного движения. Он писал, что в каюте равномерно движущегося корабля …капли из отверстия в дне подвешенного ведёрка будут падать так же, как они падали, когда корабль был неподвижен.*

Вероятно, каждому доводилось, разглядывая из окна вагона стоящий на соседнем пути поезд, испытать обманчивое чувство, будто вагон, в котором он находится, начал двигаться, в то время как на самом деле трогался с места соседний поезд. Все перечисленные процессы являются проявлением принципа относительности”[3, с. 155]. В первом абзаце этого цитирования автор учебника верно излагает содержание динамического принципа относительности Галилея. Но во втором абзаце он незаметно переходит к другому, кинематическому принципу относительности, и не отличает его от принципа динамического. А далее динамический принцип относительности Галилея отождествляется с инвариантностью уравнений движения относительно преобразования систем отсчёта: “*Инвариантными по отношению к преобразованию координат и времени при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой называются уравнения, вид которых не изменяется при таком переходе…Воспользовавшись понятием инвариантности, принцип относительности Галилея можно сформулировать следующим образом:* ***уравнения механики инвариантны по отношению к преобразованиям Галилея****”* [3, с. 155]**.**

Ссылаясь на такой конгломератный принцип относительности, подменяя одно понятие другим, можно доказать всё что угодно. Посмотрим, как это делается в том же учебнике.

“§ 45. Постулаты специальной теории относительности.

В 1905 г. А. Эйнштейн создал специальную теорию относительности (СТО), которая представляет собой физическую теорию пространства и времени для случая пренебрежимо слабых гравитационных полей. В основе этой теории лежат два постулата: принцип относительности Эйнштейна и принцип постоянства скорости света.

Эйнштейн распространил механический принцип относительности Галилея на все без исключения физические явления, высказав утверждение, что ***все законы природы одинаково формулируются для всех инерциальных систем отсчёта”*** [3, с. 156]. Эту часть цитирования можно понимать и как определение динамического принципа относительности и как требование ковариантности. Читаем далее: ***“****Кроме того, Эйнштейн показал, что преобразования Галилея должны быть заменены более общими преобразованиями Лоренца. В соответствии с этим, принцип относительности Эйнштейна можно сформулировать в виде:* ***уравнения, выражающие законы природы, инвариантны по отношению к преобразованиям Лоренца”*** [3, с. 156]. Здесь принцип относительности отождествлён с инвариантностью относительно преобразований Лоренца.

Далее автор учебника (используя такую же путаницу и подмену понятий) из верного высказывания “*скорость света в вакууме не зависит от движения источника света*”, делает принципиально ошибочный вывод: “*следовательно, скорость света одинакова во всех инерциальных системах отсчёта*” [3, с. 156].

Таким образом, со школьных лет будущие учёные и преподаватели привыкают к ошибочному отождествлению принципиально разных понятий и к ошибочной *Теории относительности Эйнштейна* и обучают тому же самому следующие поколения молодёжи. Вырваться из замкнутого круга этих понятий в системе **образование – наука – образование** было чрезвычайно трудно. Но когда круг всё-таки был разорван [4-6], то возник вопрос: как теперь излагать в системе образования те вопросы, которые рассматривались в *Теории относительности Эйнштейна*? Выскажем свои соображения по этому поводу [4-6].

1. Необходимо, прежде всего, принять во внимание, что заложенные Ньютоном [7] в фундамент науки понятия абсолютного пространства и абсолютного времени есть научные абстракции от понятий физического пространства и физического времени, которые только и могут быть измерены с помощью некоторых процессов. Относительность этих понятий и обуславливает трудности и кризисы в науке.
2. Необходимо как в курсе физики, так и в курсе теоретической механики вводить такие новые понятия как динамический и кинематический принципы относительности, динамические и кинематические системы отсчёта, динамические и кинематические силы инерции и т. п., то есть необходимо отличать понятия динамические от понятий кинематических. Эти понятия сходны с понятиями абсолютными и относительными по Ньютону, но не всегда совпадают с ними.
3. Необходимо отметить, что динамический принцип относительности распространяется на все физические процессы, как следствие эксперимента. В таком случае, не только второй закон Ньютона, но и уравнения Максвелла, которые были обоснованы для абсолютной системы отсчёта $\sum^0$, имеют такой же самый вид в любой из динамических инерциальных систем отсчёта.
4. Необходимо подчеркнуть относительность понятия абсолютной системы отсчёта $\sum^0$ в практическом применении. Поскольку, согласно динамическому принципу относительности, во всех динамических инерциальных системах отсчёта законы природы имеют один и тот же вид, что и в абсолютной системе отсчёта $\sum^0$, то в качестве абсолютной (неподвижной) системы отсчёта можно принять ту инерциальную систему отсчёта, вместе с которой движется рассматриваемая динамическая система отсчёта. Например, для системы отсчёта $\sum'$ поверхности Земли, Гелиоцентрическая система отсчёта может быть принята за абсолютную; для системы отсчёта $\sum''$ трамвая, который движется поступательно, равномерно и прямолинейно относительно поверхности Земли, связанная с последней система отсчёта $\sum'$ может быть принята за абсолютную и т. д. В связи с этим, возникает такое новое понятие, как ”вложенные системы отсчёта”: система

отсчёта трамвая вложена в систему отсчёта Земли, система отсчёта Земли вложена в Гелиоцентрическую систему отсчёта и т. д.

5. Необходимо обратить внимание на то, что кинематические преобразования систем отсчёта (Галилея, Лоренца) можно применять только при рассмотрении одного и того же явления относительно разных систем отсчёта, то есть в кинематическом принципе относительности.

6. Необходимо отличать кинематические преобразования Лоренца как общеизвестные преобразования пространственных координат и времени, которые оставляют инвариантным уравнение фронта световой волны, от преобразований Лоренца, которые оставляют ковариантными электродинамические уравнения Максвелла. В последнем случае это есть совокупность кинематических преобразований Лоренца с преобразованиями динамических величин (плотности заряда и тока, векторов напряжённости электрического и магнитного полей и др.).

7. Необходимо отличать динамические уравнения Максвелла для системы отсчёта, вместе с которой движется рассматриваемая система зарядов, от кинематических уравнений Максвелла для системы отсчёта, в движении которой система зарядов участия не принимает.

8. Необходимо обратить особое внимание на то, что хотя в каждой из динамических инерциальных систем отсчёта уравнения Максвелла имеют один и тот же вид, скорость света входит в них как мировая константа, то есть как скорость абсолютная, а не как скорость относительно данной инерциальной системы отсчёта. Именно эту абсолютную скорость мы замеряем в замкнутой физической лаборатории на пути “туда – обратно”.

9. Необходимо обратить особое внимание на ограниченную область применения преобразований Лоренца. Пусть некоторая система зарядов S движется вместе с инерциальной системой отсчёта $\sum'$ и, одновременно, относительно этой системы отсчёта. Пусть, в свою очередь, система отсчёта $\sum'$, движется относительно инерциальной системы отсчёта $\sum$. Тогда электромагнитное поле системы S описывается динамическими уравнениями Максвелла как в $\sum'$, так и в $\sum$, поскольку каждая из этих систем отсчёта для данной системы зарядов является динамической. В этом случае, если электромагнитное поле системы S в $\sum'$ найдено, то поле этой же системы зарядов в $\sum$ можно найти с помощью преобразований Лоренца. Но обратное неверно. Если некоторая система зарядов S движется относительно $\sum$, но не принимает участия в движении вместе с $\sum'$, то поле зарядов в $\sum'$ нельзя определить из поля $\sum$ с помощью преобразований Лоренца. В этом случае оно описывается уже не динамическими, а кинематическими уравнениями Максвелла, так как $\sum'$ для системы зарядов S является кинематической системой отсчёта.

10. Необходимо подчеркнуть, что уравнения Максвелла являются уравнениями не только электродинамики, а и вообще уравнениями центрально-взаимодействующих со скоростью света зарядов, которые взаимно притягиваются или взаимно отталкиваются. В частности, уравнения гравитотодинамики также имеют вид уравнений электродинамических Максвелла.

Это далеко неполный перечень тех новшеств, которые немедленно необходимо вводить в учебный процесс. В общем, можно выразиться так: необходимо отказаться от ошибочного пути *Теории относительности Эйнштейна*, переосмыслить достижения физики XX столетия с позиций *Классической теории относительности* и двигаться далее в направлении, определённом Ньютоном, Максвеллом, Лоренцем.

1. Пуанкаре.А. Избранные труды. В 3-х т. – М.: Наука, 1974. –Т 3, с. 433-486.
2. Эйнштейн А. Собрание научн. тр. – М.: Наука, 1965. –Т. 1-4.
3. Савельев И. В. Курс физики. В 3-х т. – М.: Наука, 1989. –Т 1.
4. Потєхин А. Ф. Короткий курс теоретичної механіки в запитаннях та відповідях з аналізом базових понять. Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вузів. – Одеса: ОДМУ, 2000.
5. Потехин А. Ф. Классическая теория относительности. – Одесса: Маяк, 2003.
6. Potjekhin A. F. Relativity in Physics. – Odessa: Majak, 2003.
7. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М.: Наука, 1989.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
№ ФИЗИКА 2004

ИНДЕКС УД К: 530.11+530.12+531.31

А. Ф. ПОТЕХИН

О ДИНАМИЧЕСКИХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОТСЧЁТА

Рассматривается два класса систем отсчёта – динамических и кинематических. Сформулирован критерий выделения динамических инерциальных систем отсчёта. Дан вывод основного уравнения динамики относительного движения точки в динамических неинерциальных системах отсчёта. Решена проблема фиктивности и реальности сил инерции. На примере колебаний маятника, выявлены все нюансы динамической и кинематической относительности движения в классической физике [1].

Абсолютная система отсчёта (АСО)

Общепринятым является следующее определение системы отсчёта (СО): Под системой отсчёта понимают систему координат, служащую для указания положения частиц в пространстве, вместе со связанной с этой системой часами, служащими для указания времени.

В заложенном Ньютоном в фундамент классической физики понятийном аппарате, понятия абсолютного или неподвижного пространства и абсолютного или универсального времени, играют особую роль. Введением этих понятий Ньютон, во-первых, устранил влияние выбора относительных пространства (тел отсчёта) и относительного времени (приближённо равномерного движения) на описание движения тел. Во-вторых, он учёл наличие в природе динамически выделенной системы отсчёта, вращение относительно которой сопровождается стремлением частиц удалиться от оси вращения (опыт Ньютона с вращающимся ведром с водой).

Поскольку факт вращения Земли относительно сферы удалённых звёзд Ньютону был известны, то в качестве абсолютной он практически использовал Гелиоцентрическую систему отсчёта. Однако Ньютон понимал всю условность выбора абсолютно неподвижной системы отсчёта: “Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих”[2]. Можно говорить лишь об иерархии «неподвижных» или «абсолютных», вложенных одна в другую, систем отсчёта по типу матрёшки: для движущегося корабля неподвижной является система отсчёта, связанная с поверхностью Земли; для поверхности Земли неподвижной является система отсчёта, начало которой совпадает с центром Земли, а оси направлены к удалённым звёздам; для этой, в свою очередь, неподвижной является Гелиоцентрическая система отсчёта и т. д. Таким образом, понятие абсолютной СО есть понятие относительное. По мере глобализации «неподвижных» систем отсчёта, мы приближаемся к абсолютному пространству Ньютона лишь в пределе. Критиковать абсолютное пространство и абсолютное время Ньютона также бессмысленно, как критиковать другие научные абстракции, например, понятия идеальной жидкости или газа, абсолютно твёрдого тела или материальной точка .

Дальнейшее, после Ньютона, развитие физики позволило, в некоторой степени, прояснить причину существования динамически выделенного абсолютного пространства. Выявилось, что всё то, что существует в природе, материя, есть либо вещество, либо поле. Если субстанциальной характеристикой вещества является масса, то субстанциальной характеристикой поля является плотность энергии (не путать с понятием энергии, как меры движения!). Универсальным и всепроницающим является поле гравитационное. Плот-

ность энергии гравитационного поля обусловлена всей массой вещества Вселенной, при этом вклад на макро уровне в эту плотность отдельного взятого тела пренебрежимо мал. По мере глобализации систем отсчёта, плотность энергии гравитационного поля в них становится всё более и более равномерной, что и определяет, в конечном итоге, фоновое гравитационное поле и выделенную абсолютную систему отсчёта.

Как экспериментальный факт, следует признать, что движущаяся равномерно и прямолинейно относительно АСО материальная частица с фоновым гравитационным полем не взаимодействует. Но с этим полем взаимодействует частица, движущаяся под действием приложенной силы $\boldsymbol{F}$ с ускорением $\mathbf{a}$ относительно АСО. В результате этого взаимодействия возникают объёмные или массовые силы инерции, приложенные к частицам тела. Но проявляются они [1],как Даламберова, поверхностная сила инерции $\boldsymbol{J} = -m\boldsymbol{a}$, приложенная к связи, так что $\boldsymbol{F} + \boldsymbol{J} = 0$. Здесь существует полная аналогия с объёмной силой гравитационного поля, которая проявляется как поверхностная сила, приложенная к нити или опоре, т. е. как вес тела.

Заметим, что обнаруженное в 1963г. космическое микроволновое $2{,}7^{\circ}K$ излучение позволяет определить абсолютную систему отсчёта также как таковую, относительно которой данное излучение однородно и изотропно.

Динамический принцип относительности Галилея-Ньютона

Известно, что сначала Ньютоном была создана Механика неба, то есть механика движения планет, и лишь потом Механика земных тел. Поэтому, Ньютон сначала сформулировал свои законы в Гелиоцентрической системе отсчёта Коперника, которую он абстрагировал затем до понятия «абсолютно неподвижного пространства». Далее Ньютон обратил внимание на чрезвычайно важный экспериментальный факт, который впервые описал Галилей, известный сегодня как принцип относительности Галилея-Ньютона. Этот принцип Ньютон формулирует в Следствии V вводной части своих “Начал”: “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 ” [2]. 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” [2]. Эти два утверждения Ньютона можно объединить и принцип относительности Галилея-Ньютона сформулировать так: “Идентичные процессы в каждой из физических лабораторий, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, происходят, наблюдаются и описываются одинаково” Этот принцип можно сформулировать и так: “Никакими опытами внутри физических лабораторий нельзя обнаружить их поступательное, равномерное и прямолинейное движение друг относительно друга”. Данное утверждение Ньютон сопровождает комментарием: “Это подтверждается обильно опытами. Все движения на корабле совершаются одинаково, находится ли он в покое или движется равномерно и прямолинейно” [2]. Серия экспериментов на переломе X1X и XX столетий выявили, что этот принцип выполняется также и в электродинамике.

Принцип относительности Галилея чрезвычайно важен. Он позволяет применять законы Ньютона и электродинамические уравнения Максвелла не только в “абсолютной” системе отсчёта, но и в любых системах отсчёта (физических лабораториях), которые движутся относительно неё поступательно, равномерно и прямолинейно (и, как следствие, друг относительно друга), [3].

Динамические и кинематические системы отсчёта

Если рассматриваемая система материальных частиц движется вместе с СО Σ, которая, в свою очередь, движется относительно АСО Σ^0, то Σ называется динамической

системой отсчёта для данного процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении совместно с СО Σ', то последняя называется кинематической для данного процесса. Следует подчеркнуть относительность этих понятий: одна и та же система отсчёта для одних процессов может быть динамической, для других – кинематической. Динамические системы отсчёта, в свою очередь, подразделяются на два класса – инерциальных и неинерциальных.

Понятие инерциальных систем отсчёта (ИСО) возникает в динамике. Рассмотрим некоторую систему взаимодействующих между собою материальных частиц. Рассмотрим движение разных физических систем друг относительно друга. Систему отсчёта, связанную с центром масс рассматриваемой физической системы и движущуюся поступательно, назовём сопровождающей. Определим физическую систему как закрытую, если ей принадлежат только те тела, которые, взаимодействуя друг с другом, перемещаются также вместе со своей сопровождающей системой отсчёта. Например, закрытой Солнечной системе принадлежат все планеты, кометы и всё то, что удерживается полем тяготения Солнца. Закрытой системе тел Земли принадлежит все то, что удерживается полем тяготения Земли. Закрытой системе тел каюты корабля принадлежит всё то, что находится в ней и перемещается вместе с нею и т. д. Заметим, что приведенное определение закрытой физической системы не совпадает с понятием изолированной физической системы. В последнем случае в физическую систему должны быть включены все без исключения тела, взаимодействующие между собой. Всякая изолированная физическая система является закрытой, но обратное неверно. Например, упомянутая каюта корабля является закрытой, но не изолированной, так как все находящиеся в ней тела тяготеют к Земле, не включенной в систему тел каюты.

Пусть в каждой из закрытых физических систем наблюдаются только те процессы, которые происходят в этих же системах. Пусть в разных физических системах совершаются и наблюдаются полностью идентичные процессы. Будем называть сопровождающие системы отсчёта закрытых физических систем инерциальными, если протекающие по отдельности в каждой из них идентичные процессы происходят и наблюдаются одинаково. Таково определение инерциальных систем отсчёта по физическому признаку. Можно определить эти системы отсчёта и по математическому признаку. Будем называть сопровождающие системы отсчёта закрытых физических систем инерциальными, если протекающие в каждой из них идентичные процессы описываются одинаково. Это обозначает, что уравнение движения какого-либо процесса в одной из инерциальных систем отсчёта получается из уравнения движения такого же процесса в другой ИСО только лишь заменой обозначений их координат и времени. При этом не имеет значения, описываются ли эти процессы в явной (непосредственной зависимостью координат от времени) или неявной (дифференциальными или интегральными уравнениями с соответствующими начальными и граничными условиями) форме. В последнем случае описание идентичных процессов предполагает как идентичность дифференциальных или интегральных уравнений, которые описывают эти процессы, так и идентичность соответствующих начальных и граничных условий. Заметим, что вложенные друг в друга по типу матрёшки ИСО имеют свою специфику, что будет рассмотрено ниже.

Руководствуясь приведенным определением инерциальных систем отсчёта, только с помощью экспериментов можно выявить, существуют или нет такие системы отсчёта, а если существуют, то только с помощью экспериментов можно найти необходимый и достаточный критерий того, что данная система отсчёта является инерциальной. Принцип относительности Галилея-Ньютона не только подтверждает существование инерциальных систем отсчёта, удовлетворяющих сформулированным выше признакам, но и даёт необходимые и достаточные условия для их выделения: “Сопровождающие системы отсчёта, которые, во-первых, движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно АСО, следовательно, и друг относительно друга и, во-вторых, связаны с закрытыми физи-

ческими системами, будут инерциальными для каждого из процессов, который происходит в этих закрытых системах”.

Проиллюстрируем сказанное выше следующими примерами.

Пример 1. Рассмотреть затухающие линейные колебания одного и того же математического маятника относительно каждой из двух систем отсчёта в следующих случаях:

1.1. подвижная СО (тележка) движется относительно неподвижной СО поверхности Земли (лабораторной) поступательно, равномерно и прямолинейно, точка подвеса маятника и среда сопротивления неподвижны в лабораторной СО;

1.2. подвижная СО (тележка) движется относительно неподвижной СО поверхности Земли (лабораторной) равноускоренно, точка подвеса маятника и среда сопротивления неподвижны в лабораторной СО.

Решение.

Считаем, что в начальный момент времени начала неподвижной $\Sigma(Oxy)$ и подвижной $\Sigma'(O'x'y')$ СО совпадают с точкой подвеса маятника и их оси параллельны. Движение Σ' происходит в положительном направлении оси x. С известной точностью, система отсчёта Σ принимается за динамически неподвижную.

1.1а. Подвес маятника неподвижен в лабораторной СО Σ, наблюдения из этой же СО. Запишем основное уравнение динамики точки в ИСО Σ

$$m\boldsymbol{a} = \boldsymbol{P} + \boldsymbol{T} + \boldsymbol{R}, \tag{1}$$

где $\boldsymbol{P}, \boldsymbol{T}, \boldsymbol{R}$ - соответственно вес груза, сила реакции нити и сила сопротивления среды. С учётом

$\boldsymbol{P} = m\boldsymbol{g}, \quad \boldsymbol{R} = -\mu\boldsymbol{v}$, (1) принимает вид

$$m\boldsymbol{a} = m\boldsymbol{g} + \boldsymbol{T} - \mu\boldsymbol{v}. \tag{2}$$

Обозначая $k^2 = gl^{-1}, 2n = \mu m^{-1}$, $k_1^2 = k^2 - n^2$, где m, l-масса груза и длина нити, μ- коэффициент сопротивления среды, и проектируя (2) на направление касательной к траектории груза, получим дифференциальное уравнение малых $(\sin\varphi \approx \varphi)$ колебаний маятника

$$\ddot{\varphi} + 2n\dot{\varphi} + k^2\varphi = 0, \tag{3}$$

решая которое, находим угол φ отклонения маятника от вертикали, прямоугольные координаты груза и силу натяжения нити N

$$\varphi = e^{-nt}\left(C_1\cos k_1 t + C_2\sin k_1 t\right), \tag{4}$$

$$x = l\sin\varphi, \quad y = l\cos\varphi, \tag{5}$$

$$N = ml\dot{\varphi}^2 + mg\cos\varphi. \tag{6}$$

1.1б. Подвес маятника неподвижен в Σ, наблюдения из движущейся с постоянной скоростью $\bar{u}$ тележки Σ'. Поскольку маятник не принимает участия в движении системы отсчёта Σ', то последняя для него является кинематической. Применение в ней законов Ньютона динамики точки неправомерно. Поэтому, уравнение движения в Σ' можно получить, лишь воспользовавшись соответствующим кинематическим преобразованием СО, в данном случае, преобразованием Галилея

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{u}t + \boldsymbol{r}', \quad t = t'. \tag{7}$$

Тогда уравнение (1) движения маятника в Σ' принимает вид

$$m\boldsymbol{a}' = \boldsymbol{P} + \boldsymbol{T} + \boldsymbol{R}. \tag{8}$$

Имея одинаковый вид, уравнения (1) и (8), отличаются тем, что входящая в них одна и та же сила сопротивления среды $\boldsymbol{R}$ имеет различные аналитические выражения, то есть

уравнение (1) ковариантно относительно преобразования (7). С учётом $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}'$, $\boldsymbol{R} = -\mu(\boldsymbol{u} + \boldsymbol{v}')$, получим

$$m\boldsymbol{a}' = m\boldsymbol{g} + \boldsymbol{T} - \mu\boldsymbol{v}' - \mu\boldsymbol{u}\,. \tag{9}$$

Проектируя (9) на направление касательной к траектории в Σ груза маятника, с учётом инвариантности угла поворота относительно преобразования (7), т. е. $\varphi = \varphi'$, а также соотношения $v'_\tau = v_\tau - u_\tau$, получим, что дифференциальное уравнение колебаний маятника в Σ'

$$\ddot{\varphi}' + 2n\dot{\varphi}' + k^2\varphi' = 0\,, \tag{10}$$

инвариантно относительно выполненного преобразования (7). Тогда

$$\varphi' = e^{-nt}\left(C_1\cos k_1 t + C_2\sin k_1 t\right), \tag{11}$$

$$x' = l\sin\varphi - ut, \quad y' = l\cos\varphi\,, \tag{12}$$

$$N = ml\dot{\varphi}^2 + mg\cos\varphi\,. \tag{13}$$

Измеряя скорость удаления точки подвеса маятника из Σ', мы можем выявить скорость движения Σ' относительно “неподвижной” СО Σ, то есть, динамический принцип относительности в этом случае не выполняется и утверждение о том, что все СО, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, являются инерциальными, ошибочно.

1.2б. Подвес маятника неподвижен в физической лаборатории Σ, наблюдения из движущейся с ускорением $\boldsymbol{q} = const$ тележки Σ'. И в этом случае маятник не принимает участия в движении системы отсчёт Σ', поэтому ускоренная СО Σ' является кинематической. Уравнение движения маятника в Σ', снова-таки, можно получить, лишь применив к (1) соответствующее кинематическое преобразование

$$\boldsymbol{r} = 2^{-1}\boldsymbol{q}t^2 + \boldsymbol{r}', \quad t = t'\,. \tag{14}$$

В результате получим

$$m\boldsymbol{a}' = \boldsymbol{P} + \boldsymbol{T} + \boldsymbol{R} + \boldsymbol{F}^e\,, \tag{15}$$

где

$$\boldsymbol{R} = -\mu(\boldsymbol{q}t + \boldsymbol{v}'), \qquad \boldsymbol{F}^e = -m\boldsymbol{q}\,. \tag{16}$$

Проектируя (15) на направление касательной к траектории в Σ груза маятника, с учётом соотношений $v'_\tau = v_\tau - q_\tau t$, $a'_\tau = a_\tau - q_\tau$,получим уравнение колебаний маятника в Σ'. Вследствие преобразования (14), опять-таки $\varphi = \varphi'$ и уравнение колебаний маятника (3) снова инвариантно, но уже относительно нелинейного преобразования (14). Тогда

$$\varphi' = e^{-nt}\left(C_1\cos k_1 t + C_2\sin k_1 t\right) \tag{17}$$

$$x' = l\sin\varphi - \frac{qt^2}{2}, \quad y' = l\cos\varphi \tag{18}$$

$$N = ml\dot{\varphi}^2 + mg\cos\varphi\,. \tag{19}$$

Из системы Σ' видны те же колебания маятника, что и из Σ, но удаляющиеся с ускорением q в отрицательном направлении оси x'. Появившийся в (15), как следствие кинематического преобразования, член $\boldsymbol{F}^e$ есть фиктивная переносная сила инерции.

<u>Пример 2.</u> Рассмотреть затухающие линейные колебания одного и того же математического маятника относительно каждой из двух систем отсчёта в следующих случаях:

2.1. подвижная система отсчёта $\Sigma'(O'x'y')$ (тележка) движется относительно неподвижной системы отсчёта $\Sigma(Oxy)$ поверхности Земли (лабораторной) поступательно, равномерно и прямолинейно, точка подвеса маятника и среда сопротивления неподвижны в системе отсчёта тележки;

2.2. подвижная система отсчёта (тележка) движется относительно неподвижной системы отсчёта поверхности Земли (лабораторной) равноускоренно, точка подвеса маятника и среда сопротивления неподвижны в системе отсчёта тележки.

Решение.

2.1а. Подвес маятника неподвижен относительно движущейся с постоянной скоростью $\bar{u}$ тележки, наблюдения из тележки. Поскольку маятник перемещается вместе с СО Σ', которая, в свою очередь, движется поступательно, равномерно и прямолинейно относительно неподвижной СО Σ, то Σ' является ИСО. Тогда, заменяя в (4) – (6) нештрихованные кинематические параметры на штрихованные, получим

$$\varphi' = e^{-nt}\left(C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t\right) \tag{20}$$

$$x' = l \sin\varphi'; \quad y' = l\cos\varphi' \tag{21}$$

$$N = m\dot{\varphi}'^2 l + P\cos\varphi' \tag{22}$$

2.1б. Подвес маятника неподвижен относительно движущейся с постоянной скоростью $\bar{u}$ тележки, наблюдения из физической лаборатории. Поскольку маятник перемещается вместе с СО Σ', которая, в свою очередь, движется вместе с СО Σ, то, в конечном итоге, маятник перемещается вместе с СО Σ. В таком случае, СО Σ является для маятника динамической и неподвижной, следовательно, правомерно применение основного уравнения динамики точки

$$m\boldsymbol{a} = \boldsymbol{P} + \boldsymbol{T} + \boldsymbol{R}, \tag{23}$$

где $\boldsymbol{R}' = -\mu\boldsymbol{v}' = -\mu(\boldsymbol{v} - \boldsymbol{u})$. Тогда уравнение колебаний маятника принимает вид

$$m\boldsymbol{a} = m\boldsymbol{g} + \boldsymbol{T} - \mu\boldsymbol{v} + \mu\boldsymbol{u}. \tag{24}$$

Проектируя (24) на направление касательной к траектории в Σ' груза маятника, с учётом $\varphi = \varphi'$, а также соотношения $v_\tau = v'_\tau + u_\tau$, получим, что дифференциальное уравнение колебаний маятника

$$\ddot{\varphi} + 2n\dot{\varphi} + k^2\varphi = 0, \tag{25}$$

так что

$$\varphi = e^{-nt}\left(C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t\right) \tag{26}$$

$$x = l\sin\varphi + ut; \quad y = l\cos\varphi \tag{27}$$

$$N = m\dot{\varphi}^2 l + P\cos\varphi \tag{28}$$

Заметим, входящая в (24) скорость $\boldsymbol{u}$ не есть скорость движения СО Σ относительно абсолютной для неё гелиоцентрической системы отсчёта. Поэтому динамический принцип относительности в Σ выполняется.

2.2а. Подвес маятника неподвижен относительно движущейся с ускорением $\boldsymbol{q} = const$ тележки Σ', наблюдение из тележки. СО Σ' является для маятника динамической СО. Выведем основное уравнение динамики точки для динамической ускоренной системы отсчёта.

Пусть вначале СО Σ' покоится относительно неподвижной СО Σ. Тогда уравнение движения в Σ' имеет вид

$$m\boldsymbol{a}' = \boldsymbol{P} + \boldsymbol{T} + \boldsymbol{R}, \tag{29}$$

где $\boldsymbol{R} = -\mu \boldsymbol{v}'$. Пусть теперь Σ' перемещается поступательно с ускорением $\boldsymbol{q} = const$ относительно Σ. Тогда маятник перемещается вместе с СО Σ', которая, в свою очередь, движется ускоренно относительно неподвижной СО Σ. Дополнительное ускорение $\boldsymbol{q}$ груза маятника относительно Σ может быть обусловлено реальной физической силой. Такая сила $\boldsymbol{T}'$ может быть приложена только со стороны нити маятника, причём

$$m\boldsymbol{q} = \boldsymbol{T}' \tag{30}$$

Складывая левые и правые части равенств (29) , (30), получим

$$m(\boldsymbol{a}'+\boldsymbol{q}) = \boldsymbol{P} + (\boldsymbol{T} + \boldsymbol{T}') + \boldsymbol{R}, \quad \text{или} \tag{31}$$

$$m\boldsymbol{a}' = \boldsymbol{P} + \boldsymbol{T}^* + \boldsymbol{R} + \boldsymbol{F}^e, \tag{32}$$

где $\boldsymbol{T}^* = \boldsymbol{T} + \boldsymbol{T}'$, $\boldsymbol{F}^e = -m\boldsymbol{q}$. Проектируя (29) на направление касательной к траектории в Σ' груза маятника, с учётом $\varphi = \varphi'$, получим дифференциальное уравнение колебаний маятника

$$\ddot{\varphi}' + 2n\dot{\varphi}' + k^2\varphi' = -ql^{-1}, \tag{33}$$

решая которое, находим

$$\varphi' = e^{-nt}\left(C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t\right) - \frac{q}{lk^2} \tag{34}$$

$$x' = l \sin\varphi'; \quad y' = l\cos\varphi' \tag{35}$$

$$N = m\dot{\varphi}'^2 l + P\cos\varphi' - mq\sin\varphi' \tag{36}$$

Заметим, что общепринятый вывод уравнения динамики относительного движения точки с помощью кинематического преобразования (14) при переходе от нештрихованой СО к штрихованной, является ошибочным. Действительно, такое преобразование приводит к уравнению (15), в котором, во-первых, сила реакции нити $\boldsymbol{T} \neq \boldsymbol{T}^*$. Во-вторых, в (15) переносная сила инерции $\boldsymbol{F}^e$ является кинематической или фиктивной, тогда как в уравнении (32) переносная сила инерции $\boldsymbol{F}^e$ является динамической или реальной, обусловленной дополнительной силой реакции нити $\boldsymbol{T}'$.

2.2б. Подвес маятника неподвижен относительно движущейся с ускорением $\boldsymbol{q} = const$ тележки, наблюдения из физической лаборатории. Система отсчёта лаборатории Σ является для маятника динамической и неподвижной. Основное уравнение динамики в ней имеет вид

$$m\boldsymbol{a} = \boldsymbol{P} + \boldsymbol{T}^* + \boldsymbol{R} \tag{37}$$

где $\boldsymbol{T}^*$ - полная сила реакции нити, $\boldsymbol{R} = -\mu(\boldsymbol{v} - \boldsymbol{q}t) = -\mu\boldsymbol{v}'$ Поскольку, в силу кинематического соотношения $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}'+\boldsymbol{q}$, $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{q}t + \boldsymbol{v}'$, уравнение (37) приводится к виду (32), то получим

$$\varphi = e^{-nt}\left(C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t\right) - \frac{q}{lk^2} \tag{38}$$

$$x = l\sin\varphi + \frac{at^2}{2}; \quad y = l\cos\varphi \tag{39}$$

$$N = m\dot{\varphi}^2 l + P\cos\varphi - mq\sin\varphi \tag{40}$$

Аналогичные задачи электродинамики в динамических и кинематических системах отсчёта рассмотрены в [4], [5], где, в частности, показано, во-первых, что электродинамические уравнения Максвелла справедливы лишь для динамических ИСО; во-вторых, что общеизвестные преобразования Лоренца уравнений Максвелла ведут к ошибочным электродинамическим уравнениям в кинематических системах отсчёта даже в том случае, если

последние движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно той ИСО, в которой данный физический процесс происходит.

Вывод

Между динамическими и кинематическими системами отсчёта существуют принципиальные различия. Учёт этого обстоятельства позволяет осознать различие и между другими динамическими и кинематическими понятиями. Например, [1], между динамическим и кинематическим принципом относительности; динамическими инерциальными системами отсчёта и кинематическими неускоренными системами отсчёта; динамическими (физическими) и кинематическими (фиктивными) силами инерции; динамической (физической) и кинематической (фиктивной) эквивалентностью гравитационного поля полю сил инерции и др. Отождествление динамических и кинематических понятий неизбежно ведёт к путанице, ошибкам и заблуждению. Например, на протяжении всего XX столетия кинематическое основное уравнение динамики точки (15) ошибочно отождествлялось с динамическим уравнением (32), в результате чего и возникла знаменитая проблема о реальности и фиктивности сил инерции. Аналогично электродинамические уравнения Максвелла в ИСО ошибочно применялись и в кинематических неускоренных СО [4], [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потехин А.Ф. Краткий курс теоретической механики в вопросах и ответах с анализом базовых понятий (укр.). Рекомендовано Министерством образования и науки Украины для студентов вузов. Издание второе. – Львов: Новый свет. – 2004. – 200 с.
2. Ньютон И. Математические начала натуральной философии.– М.: Наука, 1989. – 688 с.
3. Potjekhin A.F. // Hadronic Journal Supplement. – 1999. – V.14. – P. 297-313.
4. Потехин А.Ф. Классическая теория относительности. – Одесса: Маяк. – 2003. – 80 с.
5. Potjekhin A.F. Relativity in physics. – Odessa: – Majak. – 2003. – 60 p.

Примечание Статья отправлена 11 июня 2004 года. Переписку с Редакцией журнала по данной статье см. в разделе ПЕРЕПИСКА настоящего сайта

Статья с декабря 2004г. находится в редакции журнала России

ФИЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ВУЗАХ

(По состоянию на конец марта 2006г. Решение Редколлегии журнала не получено.)

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ ТОЧКИ В УСКОРЕННЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЁТА

А. Ф. Потехин

Одесский национальный морской университет

65029 Одесса, ул. Мечникова, 34, Украина

Рассматривается два класса систем отсчёта – динамических и кинематических. Показано, что общепринятый вывод основного уравнения динамики точки в ускоренных системах отсчёта оказывается верным лишь в кинематических системах отсчёта. Дан вывод этого уравнения также и для динамических систем отсчёта. Выявлено, что в кинематических ускоренных системах отсчёта переносная и кориолисова силы инерции являются фиктивными (кинематическими), а в динамических системах отсчёта – реальными (динамическими).

Постановка задачи.

В динамике точки решается две основных задачи. Первая задача: при заданной массе m и известных кинематических параметрах движения материальной точки, найти силы, обуславливающие это движение. Вторая задача: при заданной массе и известных силах, найти кинематические параметры её движения. Для решения каждой из этих задач, необходимо знать уравнение, связывающее кинематические параметры движения точки с силами, приложенными к ней

$$f(m,\ \textit{кинемат. параметров},\ \textit{сил}) = 0\,. \qquad (1)$$

Но из кинематики известно, что механическое движение тел есть понятие относительное. Одно и то же движение тела наблюдается и описывается по разному, в зависимости от выбора тела, по отношению к которому это движение наблюдается и описывается. Тогда возникает вопрос, какому телу и связанной с ним системе отсчёта отдать предпочтение при формулировке законов динамики точки? На первый взгляд, ответ очевиден, движение надо рассматривать относительно неподвижной системы отсчёта. Но в природе неподвижных тел нет. Корабль движется относительно поверхности Земли, которая вращается вокруг оси, совершая один оборот в сутки. Эта ось перемещается, примерно, параллельно самой себе по эллиптической орбите, делая один оборот в год в

Гелиоцентрической системы отсчёте, которая, в свою очередь, движется, и так далее. На какой-то из этих систем отсчёта надо остановиться. Ньютон, основоположник динамики, предложил остановиться на Гелиоцентрической системе отсчёта и принять её за неподвижную (НСО). Тогда основное уравнение динамики точки (1) в этой системе отсчёта принимает вид

$$f(m, \textit{кинемат. параметров в НСО}, \textit{сил}) = 0. \qquad (2)$$

Для решаемой Ньютоном динамической задачи о движении планет относительно сферы удалённых звёзд, этого было вполне достаточно, Но Ньютон понимал всю условность неподвижности и этой системы отсчёта, заметив: “Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих” [1].

Итак, Ньютон сформулировал основные законы динамики точки, применение которых обеспечивало с очень большой точностью решение задачи о движении планет в Гелиоцентрической системе отсчёта. Однако наша практическая деятельность связана, прежде всего, с системой отсчёта, связанной с поверхностью Земли. Следовательно, возникает задача динамики точки в системах отсчёта, движущихся относительно Гелиоцентрической системы отсчёта

При обосновании основного уравнения динамики точки относительно подвижных систем отсчёта (ПСО) возникает дополнительная трудность. Наблюдаемое из подвижной системы отсчёта движение материальной точки, с одной стороны, обусловлено действием приложенных к ней сил, с другой стороны, движением самой подвижной системы отсчёта относительно системы отсчёта, принятой за неподвижную. Тогда основное уравнение динамики точки в движущихся системах отсчёта принимает вид

$$\begin{aligned} &f(m, \textit{кинемат. параметров точки в ПСО};\\ &\textit{сил}; \textit{факторов}, \textit{учитывающих движение}\\ &\textit{ПСО относительно НСО}) = 0. \end{aligned} \qquad (3)$$

Факторы, учитывающие влияние движения ПСО относительно НСО на относительное движение точки, проявляют себя двояко, в зависимости от того, взаимодействует или не взаимодействует эта материальная точка с тем телом, с которым связана данная ПСО. Или иначе, участвует или не участвует материальная точка в переносном движении того тела, с которым связана ПСО. В связи с этим, все системы отсчёта подразделяются на динамические и кинематические. Если рассматриваемая материальная точка взаимодействует с тем телом, с которым связана ПСО, вследствие чего эта точка участвует в переносном движении данной системы отсчёта, то такая система отсчёта для этой материальной точки является динамической (ДСО). В противном случае система отсчёта является кинематической. То есть, если рассматриваемая материальная точка не взаимодействует с тем телом, с которым связана ПСО, вследствие чего она не участвует в переносном движении этой системы отсчёта, то такая система отсчёта для этой материальной точки является кинематической (КСО). Очевидно, что одна и та же система отсчёта для одних матери-

альных точек может быть динамической, для других– кинематической. В зависимости от того, является рассматриваемая система отсчёта для данной материальной точки кинематической или динамической, основное уравнение динамики точки будет разным.

Основное уравнение динамики точки в кинематических системах отсчёта

Основное уравнение динамики точки в неподвижной системе отсчёта $Oxyz$ имеет вид

$$m\bar{a} = \bar{F}(t,\bar{r},\bar{v}) \qquad (4)$$

где m – масса точки, $\bar{F}(t,\bar{r},\bar{v})$ – равнодействующая активных сил и сил реакций связей, которая зависит от времени t, радиус-вектора точки $\bar{r}$ и её скорости $\bar{v}$.

Пусть $Ox'y'z'$ является произвольно движущейся относительно $Oxyz$ кинематической для точки m системой отсчёта. Тогда выполняется соотношение

$$\bar{r} = \bar{r}_{0'} + \bar{r}', \qquad t = t', \qquad (5)$$

где $\bar{r}'$ – радиус-вектор точки в движущейся системы отсчёта, $\bar{r}_{0'}$ – радиус вектор начала подвижной системы отсчёта относительно неподвижной.

Дифференцируя векторное равенство (5) один раз, а затем второй раз, получим известные из кинематики соотношения для абсолютной скорости и абсолютного ускорения точки соответственно через её относительную и переносную скорости, относительное, переносное и кориолисово ускорения

$$\bar{v} = \bar{v}' + \bar{v}^e, \qquad (6)$$

$$\bar{a} = \bar{a}' + \bar{a}^e + \bar{a}^{Cor}. \qquad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в (4), получим

$$m(\bar{a}' + \bar{a}^e + \bar{a}^{Cor}) = \bar{F}[t,(\bar{r}_{0'} + \bar{r}'),(\bar{v}' + \bar{v}^e)]. \qquad (8)$$

В правой части этого уравнения выражение для той же самой равнодействующей силы, что и в исходном уравнении (4) записано теперь через кинематические параметры движения материальной точки относительно штрихованной системы отсчёта и кинематические параметры движения самой штрихованной системы отсчёта относительно неподвижной системы отсчёта. Обозначим

$$\bar{F}[t,(\bar{r}_{0'} + \bar{r}'),(\bar{v}' + \bar{v}^e)] = \bar{F}'(t,\bar{r}',\bar{v}'), \qquad (9)$$

$$\bar{J}^e = -m\bar{a}^e, \qquad (10)$$

$$\bar{J}^{Cor} = -m\bar{a}^{Cor}, \qquad (11)$$

тогда уравнение (8) принимает вид

$$m\bar{a}' = \bar{F}'(t,\bar{r}',\bar{v}') + \bar{J}^e + \bar{J}^{Cor}. \qquad (12)$$

Уравнение (12) и есть основное уравнение динамики точки для движущихся кинематических систем отсчёта. Появившиеся в этом уравнении справа два члена учитывают тот факт, что

относительно штрихованной системы отсчёта у материальной точка появилось движение, обусловленное чисто кинематическим эффектом – движением самой штрихованной системы отсчёта относительно неподвижной системы отсчёта. Исторически сложилось так, что их стали называть переносной $\bar{J}^e$ и кориолисовой $\bar{J}^{Cor}$ силами инерции. Поскольку эти «силы инерции» не является результатом физического взаимодействия материальной точки с другими телами или полями, то они не являются силами в общепринятом в механике смысле. Они не удовлетворяю третьему закону Ньютона, закону равенства действия и противодействия. Поэтому, в дальнейшем будем называть их силами фиктивными.

Пусть кинематическая система отсчёта движется поступательно. Тогда кориолисово ускорение равно нулю. Следовательно, равна нулю и кориолисова фиктивная сила инерции, и уравнение (12) принимает вид

$$m\bar{a}' = \bar{F}'(t, \bar{r}', \bar{v}') + \bar{J}^e. \qquad (13)$$

Пусть, кроме того, кинематическая система отсчёта движется не только поступательно, но и равномерно, прямолинейно со скоростью $\bar{u}$. Тогда не только кориолисова, но и переносная сила инерции равна нулю. Преобразование (5) в этом случае принимает вид

$$\bar{r} = \bar{u}t + \bar{r}', \qquad t = t'. \qquad (14)$$

Такое преобразование систем отсчёта называют преобразованием Галилея. Тогда (12) принимает вид

$$m\bar{a}' = \bar{F}'(t, \bar{r}', \bar{v}'). \qquad (15)$$

Это уравнение имеет тот же вид, что и уравнение (4). Но они отличаются тем, что функциональная зависимость одной и той же равнодействующей силы через радиус вектор и скорость материальной точки соответственно в неподвижной $\bar{F}$ и движущейся $\bar{F}'$ системе отсчёта – различны. В таком случае в математике говорят, что уравнение (4) ковариантно относительно преобразования (14) систем отсчёта.

Если равнодействующая сила $\bar{F}$ не зависит ни от радиус-вектора $\bar{r}$ точки, ни от её скорости $\bar{v}$, то уравнение (15) имеет вид

$$m\bar{a}' = \bar{F}(t). \qquad (16)$$

В этом случае выражение (4) при преобразовании Галилея (14) сохраняет не только свой вид, но и выражение для входящих в него функций. В таком случае в математике говорят, что уравнение (4) инвариантно относительно преобразования (14) систем отсчёта.

В основное уравнение динамики точки в кинематической системе отсчёта как в общем случае – (12), так и в частных случаях – (13), (15), (16) всегда входит переносная скорость движения этой точки относительно неподвижной системе отсчёта как в выражение (9) для равнодействую-

щей силы, если она зависит от скорости, так и через начальные условия. Поэтому, по наблюдениям за движением материальной точки из кинематической системы отсчёта, всегда можно обнаружить движение этой системы отсчёта относительно системы отсчёта, принятой за неподвижную.

Заметим, что в кинематической системе отсчёта рассматриваемая материальная точка никогда не может быть в состоянии покоя. Для того чтобы она была в состоянии покоя, её относительная скорость и относительное ускорение должны равняться нулю и тогда, уравнение (12) принимает вид

$$\overline{F}'(t,\overline{r}',\overline{v}')+\overline{J}^{e}=0 \qquad (17)$$

Но переносная сила инерции в кинематической системе отсчёта является фиктивной, поэтому она не может уравновесить реальную физическую силу $\overline{F}'$. Невозможность относительного покоя материальной в кинематической системе отсчёта следует также из того, что если относительная скорость и относительное ускорение материальной точки в движущейся системе отсчёта равны нулю, то эта точка вовлекается в переносное движение данной системы отсчёта. Но тогда эта система отсчёта для такой материальной точки будет уже не кинематической, а динамической.

Основное уравнение динамики точки в динамических системах отсчёта

Рассмотрим произвольно движущееся относительно неподвижной системы отсчёта $Oxyz$ тело, с которым связана система отсчёта $Ox'y'z'$. Материальная точка M движется в неподвижной системе отсчёта $Oxyz$ согласно уравнению (4). Пусть точно такая же материальная точка M', во-первых, полностью вовлекается в движение системы отсчёта $Ox'y'z'$ и, во-вторых, находится под воздействием точно таких же сил, как и точка M в неподвижной системе отсчёта. В этом случае штрихованная система отсчёта для материальной точки M' является динамической. Получить основное уравнение динамики точки M' в штрихованной системе отсчёта из уравнения движения (4) в неподвижной системе отсчёта с помощью кинематического преобразования невозможно, так как две различные материальные точки M и M' уже не связаны преобразованием (5). Поэтому, основное уравнение динамики точки должно быть получено лишь на основе исходных законов Ньютона, сформулированных для неподвижной системы отсчёта.

Пусть вначале штрихованная, динамическая для материальной точки M', система отсчёта движется относительно неподвижной системы отсчёта поступательно, равномерно и прямолинейно. Такие динамические системы отсчёта называются инерциальными. Тогда, согласно динамическому принципу относительности Галилея, основное уравнение динамики точки M' в этой системе отсчёта с точностью до обозначения кинематических параметров совпадает с основным уравнением динамики (4) точки M в неподвижной системе отсчёта, то есть имеет вид

$$m\overline{a}'=\overline{F}(t,\overline{r}',\overline{v}') \qquad (18)$$

Обратим особое внимание на то, что уравнение (18) есть не результат кинематического преобразования уравнения (4), а является следствием экспериментального факта, установленного Галилеем и заложенного в фундамент классической механики Ньютоном.

Сообщим теперь этой динамической штрихованной системе отсчёта произвольное движение относительно неподвижной системы отсчёта. Материальная точка M', двигаясь относительно штрихованной системы отсчёта, участвует в ускоренном движении этой системы отсчёта. В таком случае, в направлении переносного и кориолисового ускорений эта материальная точка взаимодействует с тем телом, с которым связана штрихованная система отсчёта. Тогда в направлении её переносного ускорения действует сила реакции $\overline{N}^e$, а в направлении кориолисового ускорения действует сила реакции $\overline{N}^{Cor}$. Согласно второму закона Ньютона,

$$m\overline{a}^e = \overline{N}^e \qquad (19)$$

$$m\overline{a}^{Cor} = \overline{N}^{Cor} \qquad (20)$$

Складывая левые и правые части равенств (18) – (20), т. е. применяя принцип независимости действия сил в классической механике Ньютона, получим

$$m(\overline{a}'+\overline{a}^e + \overline{a}^{Cor}) = \sum \overline{F}_k + \overline{N}^e + \overline{N}^{Cor} \qquad (21)$$

или

$$m\overline{a} = \sum \overline{F}_k + \overline{N}^e + \overline{N}^{Cor}. \qquad (22)$$

Мы получили основное уравнение динамики точки M' в неподвижной системе отсчёта $Oxyz$. Следовательно, любую задачу динамики точки в произвольно движущейся динамической системе отсчёта, всегда можно решить, переходя к её рассмотрению в исходной неподвижной системе отсчёта. Однако решение таких задач, в большинстве случаев, значительно упрощается, если мы будем их рассматривать именно в движущихся динамических системах отсчёта. Кроме того, рассмотрение основного уравнения динамики точки в движущихся динамических системах отсчёта приобретает и особое методологическое значение при развитии общей физической теории релятивистского движения.

Представим уравнение (21) в виде

$$m\overline{a}' = \sum \overline{F}_k + \overline{N}^e + \overline{N}^{Cor} + \overline{F}^e + \overline{F}^{Cor}, \qquad (23)$$

где

$$\overline{F}^{пер} = -m\overline{a}^{пер}, \qquad (24)$$

$$\overline{F}^{Cor} = -m\overline{a}^{Cor}. \qquad (25)$$

Уравнение (12) движения материальной точки в кинематической неинерциальной системе отсчёта принципиально отличается от уравнения (23) в динамической неинерциальной системе отсчёта. Во-первых, уравнение (12) получено формально-математическим преобразованием систем отсчёта, в то время как уравнение (23) доказано на основании исходных принципов механики Ньютона. Во-вторых, в (12) переносная и кориолисова силы инерции является кинематическими или фиктивными, тогда как в (23) переносная и кориолисова силы инерции являются динамическими или реальными, обусловленными соответствующими силами реакций $\overline{N}^e$ и $\overline{N}^{Cor}$.

И в этом случае можно найти вид уравнения (23) в некоторых частных случаях движения систем отсчёта, подобно тому, как это сделано выше для кинематических систем отсчёта. Найдём, например, условие относительного покоя точки в динамической подвижной системе отсчёта. Для этого в уравнении (23) следует положить $\overline{v}'=0, \overline{a}'=0$, и тогда получим

$$\sum \overline{F}_k + \overline{N}^e + \overline{F}^e = 0 \qquad (26)$$

Таким образом, для того чтобы материальная точка находилась в состоянии покоя в движущейся ускоренно динамической системе отсчёта, необходимо и достаточно, чтобы векторная сумма приложенных к ней всех активных, сил реакций связей, а также её переносной силы инерции равнялась нулю.

<u>Пример 1.</u> Рассмотреть затухающие линейные колебания математического маятника в системе отсчёта $O'x'y'$ (тележки), которая движется поступательно относительно неподвижной системы отсчёта Oxy поверхности Земли (лабораторной) с ускорением $\overline{q}$. Точка подвеса маятника и среда сопротивления неподвижны в лабораторной СО.

Решение.

С известной точностью, лабораторную систему отсчёта Oxy принимаем за неподвижную. Считаем, что в начальный момент времени начала неподвижной и подвижной штрихованной систем отсчёта совпадают с точкой подвеса маятника и их оси параллельны. Движение штрихованной системы отсчёта происходит в положительном направлении оси x. В этом случае маятник не принимает участия в движении штрихованной системы отсчёта, поэтому эта система отсчёта для него является кинематической. Тогда основное уравнение динамики (13) груза маятника принимает вид

$$m\overline{a}' = \overline{P} + \overline{T} + \overline{R} + \overline{J}^e \qquad (27)$$

где $\overline{P}, \overline{T}, \overline{R}, \overline{J}^e$, соответственно сила тяжести груза, сила реакции нити, сила сопротивления среды и переносная фиктивная сила инерции груза.

В силу кинематического преобразования

$$\bar{r} = \frac{1}{2}\bar{q}t^2 + \bar{r}', \quad t = t' \tag{28}$$

получим

$$\bar{R} = -\mu\bar{v} = -\mu(\bar{q}t + \bar{v}'), \qquad \bar{J}^e = -m\bar{q} \tag{29}$$

Проектируя (27) на направление касательной к траектории груза маятника в неподвижной системе отсчёта, с учётом соотношений $v'_\tau = v_\tau - q_\tau t$, $a'_\tau = a_\tau - q_\tau$, и принимая во внимание, что в силу преобразования (28) $\varphi = \varphi'$, получим уравнение колебаний маятника в штрихованной системе отсчёта.

$$\ddot{\varphi}' + 2n\dot{\varphi}' + k_1^2\varphi' = 0 \tag{30}$$

Тогда

$$\varphi' = e^{-nt}\left(C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t\right), \tag{31}$$

$$x' = l\sin\varphi' - \frac{qt^2}{2}, \quad y' = l\cos\varphi', \tag{32}$$

$$T = ml\dot{\varphi}'^2 + P\cos\varphi'. \tag{33}$$

Таким образом, из штрихованной системы отсчёта видны те же колебания маятника, что и из неподвижной системы отсчёта, но удаляющиеся с ускорением q в отрицательном направлении оси x'

<u>Пример 2.</u> Рассмотреть затухающие линейные колебания математического маятника в системе отсчёта $O'x'y'$ (тележки), которая движется поступательно относительно неподвижной системы отсчёта Oxy поверхности Земли (лабораторной) с ускорением $\bar{q}$. Точка подвеса маятника и среда сопротивления неподвижны в системе отсчёта тележки $O'x'y'$.

Решение.

Система отсчёта $O'x'y'$ является для маятника динамической. Основное уравнение динамики точки (23) в этом случае принимает вид

$$m\bar{a}' = \bar{P} + \bar{T} + \bar{R} + \bar{T}' + \bar{F}^e \tag{34}$$

здесь $\bar{T}'$ – та часть силы реакции нити, которая обеспечивает перемещение груза маятника вместе с тележкой с ускорением $\bar{q}$, в силу чего возникает реальная, физическая переносная сила инерции

$$\bar{F}^e = -mq \tag{35}$$

Вводя полную силу реакции нити маятника

$$\overline{T}^* = \overline{T} + \overline{T}' \qquad (36)$$

перепишем уравнение (34) в виде

$$m\overline{a}' = \overline{P} + \overline{T}^* + \overline{R} + \overline{F}^e \qquad (37)$$

Проектируя (37) на направление касательной к траектории груза маятника в штрихованной системе отсчёта, получим дифференциальное уравнение колебаний маятника

$$\ddot{\varphi}' + 2n\dot{\varphi}' + k_1{}^2\varphi' = -ql^{-1} \qquad (38)$$

решая которое, находим

$$\varphi' = e^{-nt}\left(C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t\right) - \frac{q}{lk_1{}^2}, \qquad (39)$$

$$x' = l\sin\varphi'; \quad y' = l\cos\varphi', \qquad (40)$$

$$N = ml\dot{\varphi}'^2 + P\cos\varphi' - mq\sin\varphi' \qquad (41)$$

Сравнение решения приведенных двух задач о колебаниях маятника в кинематической ускоренной и динамической ускоренной системах отсчёта выявляет их принципиальное различие. Во-первых, в динамической ускоренной системе отсчёта возникла дополнительная сила реакции нити T', приложенная к грузу маятника. Во-вторых, в динамической ускоренной системе отсчёта переносная сила инерции F^e является физической или реальной, которая привела к отклонению местной вертикали в системе отсчёта тележки на угол $\varphi_0 = -\frac{q}{lk_1^2}$ и проявляется она также как сила противодействия со стороны нити маятника на его точку подвеса.

Выводы

1. Динамический принцип относительности Галилея есть неотъемлемая часть исходных принципов классической механики Ньютона. Этот принцип является следствием экспериментальных фактов. Общепринятое в существующей учебной литературе утверждение о том, что динамический принцип относительности Галилея является одним из следствий основного уравнения динамики точки (12) в кинематических системах отсчёта, является ошибочным

2. Все подвижные системы отсчёта разделяются на два класса: динамические и кинематические. В каждом из этих классов, в свою очередь, системы отсчёта подразделяются на неускоренные и ускоренные друг по отношению к другу.

3. Динамические, неускоренные по отношению к сфере удалённых звёзд, системы отсчёта, следовательно, неускоренные и друг относительно друга, называются инерциальными. Во всех инерциальных системах отсчёта выполняется динамический принцип относительности Галилея, то

есть, в каждой из них идентичные опыты протекают, наблюдаются и описываются одинаково. Или иначе: никакими опытами в инерциальных системах отсчёта нельзя обнаружить их поступательное, равномерное и прямолинейное движение друг относительно друга.

4. Динамические, ускоренные по отношению к инерциальным, системы отсчёта называются неинерциальными. В динамических неинерциальных системах отсчёта основное уравнение динамики точки формулируется точно так же, как и в инерциальных системах отсчёта: “Произведение массы материальной точки на вектор её ускорения равняется векторной сумме всех фактически приложенных к ней сил, включая дополнительные силы реакций со стороны тела отсчёта данной неинерциальной системы отсчёта на материальную точку, а также её переносную и кориолисову силы инерции”.

5. Общепринятое с конца Х1Х столетия и по настоящее время отнесение всех неускоренных друг по отношению к другу систем отсчёта к инерциальным является ошибочным, так как опыты в кинематических неускоренных системах отсчёта позволяют обнаружить их движение относительно других систем отсчёта. Следовательно, динамический принцип относительности Галилея-Ньютона в таких системах отсчёта не выполняется.

Литература

1 Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М.: Наука. – 1989. – 688с.

2 Потехин А. Ф. Краткий курс теоретической механики в вопросах и ответах с анализом базовых понятий (укр.) Рекомендовано Министерством образования и науки Украины для студентов вузов. Издание второе. – Львов: Новый свет. – 2004. – 200с.

3 Потехин А. Ф. К вопросу о принципе эквивалентности в ОТО Эйнштейна (англ). // Тез. докл. на международной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения Георгия Гамова «Astrophysics and Cosmology after Gamov – Theory and Observations», Одесса 8-14 августа 2004г. – Одесса: Астропринт, 2004. – С. 126.

4 Потехин А. Ф. О замкнутом круге понятий наука–образование–наука на примере физики. // Научный вестник Академии наук высшей школы Украины. – 2004. – №28. – С.112–120.

А. Ф. Потехин

Теоретическая механика

Методологическое введение в динамику:

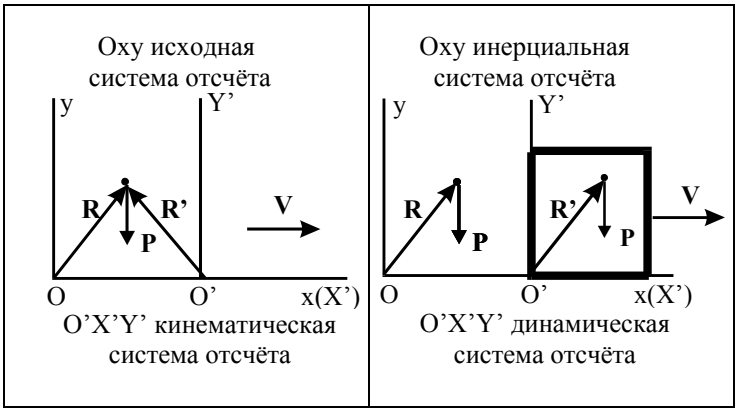
ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА

А. Ф. Потехин

Теоретическая механика

Методологическое введение в динамику:

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА



ОДЕССА
«МАЯК»
2004

ББК 22.313

УДК 530.12+531.18+537.8

Проанализировано понятие инерциальных систем отсчёта. Показано, что в фундамент *Классической механики Ньютона* заложено понятие динамических инерциальных систем отсчёта, а в фундамент *Теории относительности Эйнштейна* заложено математическое понятие инвариантности (СТО) и ковариантности (ОТО) уравнений движения в кинематических неускоренных (СТО) и кинематических ускоренных (ОТО) системах отсчёта.

Проаналізовано поняття інерціальних систем відліку. Показано, що в фундамент *Класичної механіки* Ньютона закладено поняття динамічних інерціальних систем відліку, а в фундамент *Теорії відносності Ейнштейна* закладено математичне поняття інваріантності (СТВ) та коваріантності (ЗТВ) рівнянь руху в кінематичних неприскорених (СТВ) та кінематичних прискорених (ЗТВ) системах відліку.

П 1604030000-005 Без оголош. © А.Ф. Потєхін. 2004

217-2004

ISBN 966-587-104-8

Ошибочное представление об инерциальных системах отсчёта, которое проникло в учебную литературу после появления *Теории относительности Эйнштейна*, видно уже из следующего диалога.

Лектор: Уравнение колебаний материальной точки в инерциальной системе отсчёта имеет вид

$$m\ddot{x} = -cx - \mu\dot{x} \qquad (1)$$

Студент: То есть, во всех системах отсчёта, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, это уравнение остаётся таким же?

Лектор: Да, именно так.

Студент: И эти системы отсчёта связаны друг с другом преобразованием Галилея?

$$x = x' + v_0 t, \qquad t = t' \qquad (2)$$

Лектор: Верно.

Студент: Но если мы применим преобразование (2) к уравнению (1), то получим иное уравнение

$$m\ddot{x}' = -cx' - \mu\dot{x}' - (cv_0 t + \mu v_0) \qquad (3)$$

Тогда здесь что-то не так. Или не все системы отсчёта, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, инерциальные. Или не во всех инерциальных системах отсчёта уравнения механики имеют один и тот же вид.

Лектор ответил на вопросы студента в соответствии с существующей учебной литературой. Однако, ответив указанным выше образом, он попал в логическую ловушку неверного толкования понятия инерциальных систем отсчёта (см. Приложение). Ошибочно трактуя это понятие, заблуждаясь, лектор ввёл в заблуждение и своих студентов.

Различие между такими понятиями как кинематический и динамический принципы относительности [1], позволяет совершенно по иному осмыслить содержание и некоторых других базовых понятий физики, в частности, понятие инерциальных систем отсчёта [2] – [4].

Понятие системы отсчёта вводится в кинематике: это скрепленная с некоторым телом геометрическая система координат вместе с идеальными часами, с помощью которых определяется положение частиц (как геометрических точек), в пространстве в любой момент времени.

Понятие инерциальных систем отсчёта возникает в динамике. Рассмотрим некоторую физическую систему взаимодействующих между собою материальных частиц. Рассмотрим движение разных физических систем друг относительно друга. Систему отсчёта, связанную с центром масс рассматриваемой физической системы и движущуюся поступательно, назовём сопровождающей. Определим физическую систему как закрытую, если ей принадлежат только те тела, которые, взаимодействуя друг с другом, перемещаются также вместе со своей сопровождающей системой отсчёта. Например, закрытой Солнечной системе принадлежат все планеты, кометы и всё то, что удерживается полем тяготения Солнца. Закрытой системе тел Земли принадлежит все то, что удерживается полем тяготения Земли. Закрытой системе тел каюты корабля принадлежит всё то, что находится в ней и перемещается вместе с нею и т. д. Заметим, что приведенное определение закрытой физической системы не совпадает с понятием изолированной физической системы. В последнем случае в физическую систему должны быть

включены все без исключения тела, взаимодействующие между собой. Всякая изолированная физическая система является закрытой, но обратное утверждение неверно. Например, упомянутая каюта корабля является закрытой, но не изолированной, так как все находящиеся в ней тела тяготеют к Земле, не включенной в систему тел каюты.

Пусть в каждой из закрытых физических систем наблюдаются только те процессы, которые происходят в этих же системах. Пусть в разных физических системах совершаются и наблюдаются полностью идентичные процессы. *Будем называть сопровождающие системы отсчёта закрытых физических систем инерциальными, если протекающие в них идентичные процессы происходят и наблюдаются одинаково.* Таково определение инерциальных систем отсчёта по физическому признаку. Можно определить эти системы отсчёта и по математическому признаку. *Будем называть сопровождающие системы отсчёта закрытых физических систем инерциальными, если протекающие в них идентичные процессы описываются одинаково.* Это обозначает, что уравнение движения какого-либо процесса в одной из инерциальных систем отсчёта получается из уравнения движения такого же процесса в другой инерциальной системы отсчёта только лишь заменой обозначений их координат и времени. При этом не имеет значения, описываются ли эти процессы в явной (непосредственной зависимостью координат от времени) или неявной (дифференциальными или интегральными уравнениями с соответствующими начальными и граничными условиями) форме. В последнем случае описание идентичных процессов предполагает как идентичность

дифференциальных или интегральных уравнений, которые описывают эти процессы, так и идентичность соответствующих начальных и граничных условий.

Руководствуясь приведенным определением инерциальных систем отсчёта, только с помощью экспериментов можно выявить, существуют или нет такие системы отсчёта, а если существуют, то только с помощью экспериментов можно найти необходимый и достаточный критерий того, что данная система отсчёта является инерциальной. Такой критерий был выявлен ещё Ньютоном.

Известно, что сначала Ньютоном была создана Механика неба, то есть механика движения планет, и лишь потом Механика земных тел. Поэтому, Ньютон сначала сформулировал свои законы в Гелиоцентрической системе отсчёта Коперника, которую он абстрагировал затем до понятия «абсолютно неподвижного пространства». Далее Ньютон обратил внимание на чрезвычайно важный экспериментальный факт, который впервые описал Галилей, известный сегодня как «Принцип относительности Галилея» или «Принцип относительности Галилея-Ньютона». Этот принцип Ньютон формулирует в Следствии V своих “Начал”: “*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*” [5]. 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*” [5]. Эти два утверждения Ньютона можно объединить и принцип отно-

сительности Галилея-Ньютона сформулировать так: “*Идентичные процессы в разных физических лабораториях, как закрытых физических системах, которые движутся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, происходят, наблюдаются и описываются одинаково*” Этот принцип можно сформулировать и так: “*Никакими опытами в закрытых физических системах нельзя обнаружить их поступательное, равномерное и прямолинейное движение друг относительно друга*”.

Принцип относительности Галилея чрезвычайно важен. Он позволяет применять законы Ньютона не только в “абсолютно покоящейся” системе отсчёта, но и в любых закрытых физических лабораториях (связанных с ними инерциальных системах отсчёта), которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно сферы удалённых звёзд (и, как следствие, друг относительно друга). Далее, говоря об инерциальных системах отсчёта, всегда имеется в виду, что условие их поступательного, равномерного и прямолинейного движения относительно сферы удалённых звёзд всегда выполняется.

Таким образом, принцип относительности Галилея-Ньютона не только подтверждает существование инерциальных систем отсчёта, удовлетворяющих сформулированным выше признакам, но и даёт необходимые и достаточные условия для их выделения: “*Сопровождающие системы отсчёта, которые, во-первых, движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно сферы удалённых звёзд, следовательно, и друг относительно друга и, во-вторых, связаны с закрытыми физическими системами, будут*

инерциальными для каждого из процессов, который происходит в этих закрытых системах".

Такое понимание инерциальных систем отсчёта, заложенное Ньютоном в фундамент классической механики, оставалось единственным на протяжении более чем двух веков и после Ньютона. Например, в учебнике Суслова Г. К. читаем: "*Системы отсчёта, для которых справедливо основное уравнение динамики* $m\overline{a} = \overline{F}$ *называются инерциальными…Очевидно, основное уравнение динамики не может дать способ, который бы позволил отличить одну инерциальную систему от другой, ибо любое механическое явление описывается* ***одним и тем же*** *уравнением во всех инерциальных системах*" [6, с. 233]. Ещё в 40-х годах в прижизненных изданиях учебника Бухгольца, читаем: "*Если движение точки при отсутствии действующих на неё сил происходит согласно первому закону Ньютона, то движение называется инерциальным, а система отнесения, по отношению к которой имеет место первый закон Ньютона, - инерциальной системой…Если система* B *движется относительно системы* A *инерциально, основное уравнение динамики в обоих системах пишется* ***одинаково****. Следовательно, в этом случае никакие механические явления,* ***происходящие в системе*** B*, не могут обнаружить её движение относительно системы* A*. В этом и состоит принцип относительности движения в смысле классической механики*" [7, с.76-77]. Такого же понимания инерциальных систем отсчёта придерживались вначале как сам Эйнштейн, так и сторонники его теории. Например, в книге В. Паули, которая "*принадлежит к числу лучших и наиболее известных монографий по теории относительности*" [8, с.5], читаем:

Отрицательный результат многих опытов, поставленных с целью обнаружить влияние движения Земли на различные процессы ***путём измерения на ней самой****, позволяет почти с достоверностью утверждать принципиальную независимость любых явлений в движущейся системе от поступательного движения этой системы в* ***целом****. Точнее можно сказать, что имеется троекратно бесконечное множество равномерно и прямолинейно движущихся друг относительно друга систем отсчёта,* ***в которых*** *все явления протекают одинаково. Мы будем, следуя Эйнштейну, называть такие системы галилеевыми, так как в них соблюдается закон инерции Галилея*" [8, с. 17].

Принцип относительности Галилея, как фундаментальное понятие, является неотъемлемой частью системы аксиом Ньютона. Лишь после того, как в соответствии с этим принципом определены инерциальные системы отсчёта, для каждой из них можно формулировать законы Ньютона, начиная с первого, закона инерции. Этот закон сформулирован Ньютоном как отдельное утверждение о том, что в инерциальной системе отсчёта не нужна сила для сохранения скорости изолированной, но принадлежащей рассматриваемой закрытой физической системе, материальной частицы. Первый закон Ньютона является следствием принципа относительности Галилея, но не заменяет этого принципа.

Именно экспериментами выявлено, что в каждой из определённых выше инерциальных систем отсчёта справедливы законы Ньютона, а идентичные процессы в них происходят, наблюдаются и описываются одинаково. Если в одной из инерциальных сис-

тем отсчёта некоторый процесс описывается выражением $f(x, y, z, t) = 0$, то в другой инерциальной системе отсчёта такой же процесс описывается таким же выражением $f(x', y', z', t') = 0$, то есть в этих выражениях меняется лишь обозначения координат и времени. **В уравнение движения любых физических процессов в каждой из инерциальных систем отсчёта никогда не входит скорость её движения относительно других систем отсчёта**.

В современной научной и учебной литературе существуют такие принципиальные ошибки в определении инерциальных систем отсчёта.

Ошибка первая – определение критерия существования динамических инерциальных систем отсчёта лишь по кинематическому критерию: *Существуют системы отсчёта, в которых свободное движение тел происходит с постоянной по величине и направлению скоростью. Такие системы отсчёта называются инерциальными, а утверждение об их существовании составляет закон инерции*" [9, с. 14]. Такой, сугубо кинематический, критерий является необходимым, но не достаточным признаком того, что данная система отсчёта является инерциальной. Вернёмся к приведенному вначале диалогу.

Пусть привязанная к физической лаборатории система отсчёта $Oxyz$ является инерциальной. Пусть в сосуде с жидкостью, который покоится в этой системе отсчёта, совершаются свободные колебания материальной точки. Если начало этой системы отсчёта совмещено с концом недеформированной пружины, то уравнение колебаний имеет вид (1). В правой части этого уравнения принята во внимание равнодейст-

вующая сила $\overline{F}$ взаимодействия материальной частицы соответственно с упругой средой и жидкостью.

Пусть геометрическая система отсчёта $Ox'y'z'$ связана с тележкой, которая движется относительно нашей лаборатории поступательно, равномерно и прямолинейно со скоростью v_0, при этом оси Ox и Ox' совпадают. Тогда применив кинематические преобразованием Галилея (2) к (1), получим уравнение (3) тех же колебаний материальной точки, которые совершаются в физической лаборатории $Oxyz$, относительно штрихованной, кинематической системы отсчёта тележки. При этом заметим, что преобразование Галилея (2), как и любое кинематическое преобразование при переходе от одной системы отсчёта к другой, имеет смысл лишь тогда, когда рассматривается движение одной и той же точки относительно разных систем отсчёта.

Видим, что уравнения (1) и (3) движения одной и той же материальной точки в штрихованной и нештрихованной системе отсчёта, имеют разный вид. Это обусловлено отличием выражений для **одной и той же** равнодействующей силы взаимодействия материальной частицы с упругой средой и жидкостью в координатах различных систем отсчёта. Таким образом, наличие взаимного поступательного, равномерного и прямолинейного движения систем отсчёта не является достаточным признаком того, что они являются инерциальными.

Пусть вместе с тележкой движется другой, но такой же сосуд с колеблющейся материальной точкой. Тогда для этой материальной точки штрихованная система отсчёта тележки является уже инерциальной и

дифференциальное уравнение её колебаний в штрихованной системе отчёта имеет такой же вид, как и в нештрихованной

$$m\ddot{x}' = -cx' - \mu\dot{x}' \qquad (4)$$

Поскольку мы проводим идентичные опыты, то и начальные условия в штрихованной системе отсчёта назначаются такими же, как и в нештрихованной. Таким образом, уравнения движения в штрихованной инерциальной системе отсчёта получаются из уравнений движения в нештрихованной инерциальной же системы отсчёта заменой нештрихованных координат и времени на штрихованные. Именно в этом и заключается специфическая особенность и преимущество динамических инерциальных систем отсчёта по сравнению с неинерциальными. (Мы не касаемся здесь вопроса о «вложенных» инерциальных систем отсчёта, который требует отдельного рассмотрения – [3], [4]).

Ошибка вторая – определение инерциальных систем отсчёта по математическому критерию инвариантности уравнений движения относительно преобразования систем отсчёта.

Эта ошибка вытекает из предыдущей. Она связана с отождествлением динамического принципа относительности Галилея-Ньютона с инвариантностью математического выражения относительно кинематических преобразований Галилея: “*Оказывается, однако, что различные инерциальные системы отсчёта эквивалентны не только по отношению к свойствам свободного движения. Опыт показывает, что справедлив так называемый принцип относительности. Согласно этому принципу все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта. Другими словами (? – А. П.),* ***уравнения****, выражающие зако-*

ны природы, ***инвариантны*** *по отношению к преобразованию координат и времени от одной инерциальной системы отсчёта к другой. Это значит, что уравнения законов природы, будучи выражены через координаты и время в различных инерциальных системах отсчёта, имеют один и тот же вид…Принцип относительности Галилея* ***требует инвариантности*** *(? – А. П.) законов природы по отношению к преобразованию Галилея*" [9, С. 15-16]. Таким образом, утверждается: если в одной из инерциальных систем отсчета некоторый закон природы имеет вид $f(x, y, z, t) = 0$, то другая система отсчёта также будет инерциальной, если после преобразования Галилея (2), получим относительно неё тот же закон в том же виде, то есть $f(x', y', z', t) = 0$. Но инвариантность есть понятие математическое, связанное лишь с формой записи одного и того же уравнения движения одного и того же процесса относительно различных кинематических систем отсчёта. Один и тот же закон природы может быть записан как в инвариантной, так и в неинвариантной форме. Покажем это на примере.

Рассмотрим закон всемирного тяготения Ньютона для двух материальных частиц A и B, который формулируется безотносительно к каким-либо системам отсчёта

$$F = \gamma \frac{m_A \cdot m_B}{\left(\overline{AB}\right)^2} \qquad (5)$$

В координатной форме этот же закон, в общем случае, можно записать в виде

$$F = \gamma \frac{m_A \cdot m_B}{\left(\bar{r}_B - \bar{r}_A\right)^2} \qquad (6)$$

в частном же случае, когда начало системы координат совмещено с точкой A, в виде

$$F = \gamma \frac{m_A \cdot m_B}{\left(\bar{r}_B\right)^2} \qquad (7)$$

Обе эти формы записи правомерны. Однако, применяя преобразование Галилея

$$\bar{r} = \bar{v}_0 t + \bar{r}', \quad t = t' \qquad (8)$$

получим, что форма записи (6) закона всемирного тяготения (5) инвариантна относительно этого преобразования, в то время как форма записи (7) – неинариантна. Таким образом, один и тот же закон природы может быть записан как в инвариантной, так и в неинвариантной форме. Поэтому инвариантность относительно тех или иных кинематических преобразований систем отсчёта не может быть признаком их инерциальности. Ошибочным является также утверждение, что "*принцип относительности Галилея* ***требует инвариантности*** *законов природы по отношению к преобразованию Галилея*" [9].

Ошибка третья –выделение инерциальных систем отсчёта и " математическое доказательство" экспериментального принципа относительности Галилея как следствий из основного уравнения динамки относительного движения материальной точки.

Эта ошибка является следствием двух предыдущих. Известно, что основное уравнение динамики относительного движения точки доказывается с помощью кинематического соотношения для абсолютного ускорения точки при её сложном движении. Одна

из систем отсчёта (нештрихованная) принимается за неподвижную и с нею связывается геометрическая среда S. Вторая (штрихованная) система отсчёта принимается за подвижную и с нею связывается геометрическая среда $\sum$. Далее рассматривается движение **одной и той же** геометрической точки относительно каждой из этих систем отсчёта. В этом и только в этом случае остаётся верным преобразование

$$\bar{r} = \bar{r}_{0'} + \bar{r}', \qquad t = t' \tag{9}$$

где $\bar{r}$ и $\bar{r}'$ – радиус-векторы одной и той же точки в нештрихованной и штрихованной системах отсчёта, $\bar{r}_{0'}$ – радиус-вектор начала подвижной системы отсчёта относительно неподвижной.

Далее делается одно динамическое допущение: предполагается, что система отсчёта среды S является инерциальной. В таком случае, основное уравнение динамики материальной точки в этой системе отсчёта имеет вид:

$$m\bar{a}^a = \bar{F}(t, \bar{r}, \bar{v}) \tag{10}$$

Каких-либо иных дополнительных допущений не предполагается, а только используется кинематическое соотношение между абсолютным ускорением точки и её ускорениями переносным, относительным и кориолисовым

$$\bar{a}^a = \bar{a}^e + \bar{a}^r + \bar{a}^k, \tag{11}$$

которое получается с помощью преобразования (9). В результате получаем основное уравнение динамики точки относительно кинематической системы отсчёта среды $\sum$

$$m\bar{a}^r = \bar{F}(t', (\bar{r}_{0'} + \bar{r}'), (\bar{v}^e + \bar{v}^r)) + \bar{J}^e + \bar{J}^k \tag{12}$$

или

$$m\overline{a}^{r} = \overline{F}'(t', r', \overline{v}') + \overline{J}^{e} + \overline{J}^{k} \qquad (13)$$

где

$$\overline{F}'(t', \overline{r}', \overline{v}') = \overline{F}(t', (\overline{r}_{0'} + \overline{r}'), (\overline{v}^{e} + \overline{v}^{r})) \qquad (14)$$

Получили, что математические выражения для одной и той же силы $\overline{F}$, но через координаты разных систем отсчёта, различно. То есть, функция $\overline{F}$ меняет свой вид после преобразования (9). Подчеркнём, что меняется не сама физическая сила $\overline{F}$, а лишь её математическое выражение через координаты различных систем отсчёта.

Рассмотрим теперь тот частный случай, когда геометрическая среда $\sum$ движется поступательно, равномерно и прямолинейно со скоростью $\overline{v}_0$ относительно среды S. Тогда преобразование (9) становится преобразованием Галилея (8), а уравнение (13) принимает вид

$$m\overline{a}^{r} = \overline{F}'(t', r', \overline{v}') \qquad (15)$$

Из сравнения (10) и (15) видно, что в случае, когда кинематические системы отсчёта движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно некоторой инерциальной системы отсчёта, основное уравнение динамики материальной точки относительно них имеет такой же по форме записи вид, как и относительно исходной инерциальной. Выражение же для силы $\overline{F}$ согласно (14), свой вид не сохраняет. Если уравнение сохраняет свой вид при некоторых математических преобразованиях, но не сохраняет выражения для функций, которые содержатся в этом уравнении, то такое уравнение называется ковариантным от-

носительно данного преобразования. Таким образом, в этом случае основное уравнение динамики точки (10) лишь ковариантно относительно преобразований (8). Поэтому штрихованная система отсчёта, которая рассматривается в этом случае, не является инерциальной согласно сформулированному выше признаку.

В случае, когда сила $\overline{F}(t)$ не зависит от координат и скорости точки, то, согласно преобразованию (8), выражение для силы в штрихованных и нештрихованных координатах сохраняется. Если уравнение сохраняет не только свой вид при некоторых математических преобразованиях, но и сохраняет выражения для функций, которые содержатся в этом уравнении, то такое уравнение называется инвариантным относительно данного преобразования. Таким образом, в этом случае основное уравнение динамики (10) инвариантно относительно преобразований (8), т. е.

$$m\overline{a}^{r} = \overline{F}(t') \qquad (16)$$

Но и в этом случае кинематическая штрихованная система отсчёта не является инерциальной. Это объясняется тем, что если системы отсчёта инерциальные, то уравнение движения в одной из них получается из уравнения движения в другой заменой нештрихованных координат и времени на штрихованные независимо от формы записи этого уравнения – в явной или неявной. Если же мы от неявной (дифференциальной) формы уравнений движения (10) и (16) после их интегрирования перейдём к явной, то получим разные уравнения движения, так как одна и та же материальная точка относительно разных систем отсчёта, которые движутся друг относительно друга, никогда не будет иметь одинаковые начальные условия. Напри-

мер, дифференциальное уравнение движения груза относительно инерциальной системы отсчёта поверхности Земли имеет вид

$$m\overline{a} = m\overline{g}, \qquad \overline{g} = const. \qquad (17)$$

и инвариантно относительно преобразований Галилея для всех кинематических систем отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно поверхности Земли. Но начальные условия для этого груза в таких систем отсчёта будут разными. Поэтому, если относительно одной из них груз будет двигаться вдоль прямой, параллельной $\overline{g}$, то относительно других систем отсчёта будет наблюдаться движение вдоль параболических траекторий. Иногда утверждают: если мы, после того как доказали инвариантность уравнения движения одной и той же материальной точки относительно разных систем отсчёта, создадим для неё одинаковые начальные условия в каждой из этих систем отсчёта, то получим как принцип относительности Галилея так и критерий существования инерциальных систем отсчёта. Но такое утверждение ошибочно. Как только мы создали одинаковые начальные условия, то уже имеем дело с разными материальными точками, для которых как общее преобразование (9), так и частное преобразование (8), не выполняются. Таким образом, или мы имеем одну материальную точку и инвариантность, но тогда её начальные условия относительно разных систем отсчёта различны. Или мы имеем дело с одинаковыми начальными условиями для каждой из материальных точек в разных системах отсчёта, но тогда нет инвариантности.

Выводы

1. Необходимый и достаточный критерий того, что рассматриваемая система отсчёта является инерциальной, даёт только динамический, экспериментально установленный, принцип относительности Галилея. В уравнение движения любых физических процессов в каждой из инерциальных систем отсчёта никогда не входит скорость её движения относительно других систем отсчёта.

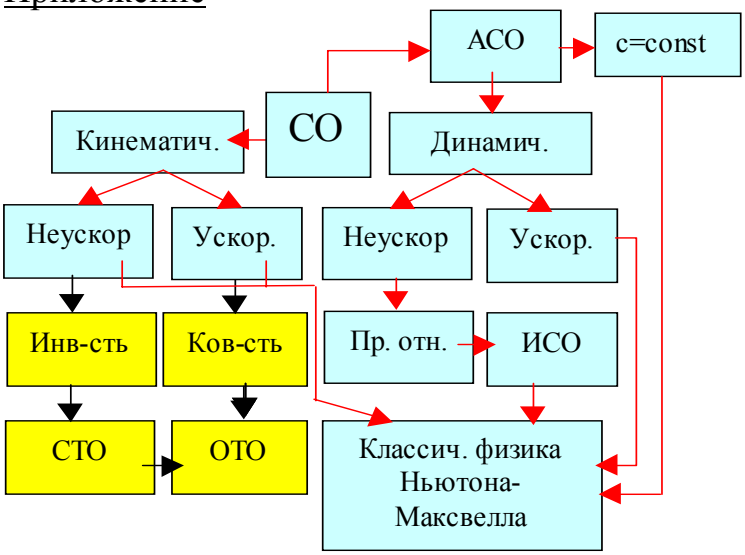
2. В фундамент *Классической физики Ньютона-Максвелла* заложено динамическое понятие *инерциальных систем отсчёта*. В фундамент же *Теории относительности Эйнштейна* заложено формально-математическое понятие *инвариантности (СТО)* и *ковариантности (ОТО)* уравнений движения одного и того же процесса относительно преобразования движущихся друг относительно друга неускоренно (СТО) или ускоренно (ОТО) кинематических систем отсчёта.

3. В *Теории относительности Эйнштейна* ошибочно отождествлён динамический (физический) принцип относительности Галилея с кинематической (математической) инвариантностью уравнений движения относительно преобразований систем отсчёта и, как следствие, ошибочно отождествлены динамические инерциальные системы отсчёта с кинематическими неускоренными системами отсчёта. Поэтому данная теория не является теорией динамической. Как следствие, предсказания этой теории о том, что кинематический конвективный ток электрического заряда возбуждает физически регистрируемое магнитное поле (СТО), а свободный гладкий шарик на гладком столе устремится от оси вращения при вращении стола (ОТО), противоречит эксперименту – [3], [4].

Л и т е р а т у р а:

1. Potyekhin A. F. // Hadronic Journal Supplement (USA).- 1999. – V. 14. – P. 297-313.
2. Потєхин А.Ф. Короткий курс теоретичної механіки в запитаннях та відповідях з аналізом базових понять. Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вузів. – Одеса: ОДМУ, 2000.
3. Потехин А.Ф. Классическая теория относительности. – Одесса: Маяк, 2003.
4. Potjekhin A. F. Relativity in Physics. – Odessa: Majak, 2003.
5. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М: Наука, 1989.
6. Суслов Г. К. Теоретическая механика. – М-Л: Гостехиздат, 1946.
7. Бухгольц Н.Н. Курс теоретической механики, часть 3.– М-Л: Оборонгиз, 1939.
8. Паули В. Теория относительности. – М.: Наука, 1991.
9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. Электродинамика. – М.: Наука, 1969.

Приложение



Структурная схема систем отсчёта (СО)
в Классической физике
и Теории относительности Эйнштейна

Пояснения к структурной схеме.

1. Абсолютной системой отсчёта (АСО) $\sum^0$ называется система отсчёта, относительно которой экспериментально обнаруженное в мировом пространстве 2,7 К. излучение является однородным и изотропным. В первом приближении по Ньютону, АСО реализуется Гелиоцентрической системой отсчёта Коперника, привязанной к звёздам нашей Галактики, в следующем приближении – к центрам Галактик, далее – к центрам групп Галактик и т. д. В динамическом отношении АСО является выделенной и часто называется «неподвижной».

2. Если рассматриваемая система материальных частиц движется вместе с системой отсчёта $\sum$, которая, в свою очередь, движется относительно АСО $\sum^0$, то $\sum$ называется динамической системой отсчёта для данного процесса.

3. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении совместно с системой отсчёта $\sum'$, то последняя называется кинематической для данного процесса.

4. Динамические ускоренные (неускоренные) СО движутся ускоренно (неускоренно) по отношению к выделенной по динамическому признаку АСО (опыт Ньютона с ведром с водой, которое вращается вокруг своей оси симметрии).

5. В кинематике все системы отсчёта равноправны и кинематические ускоренные (неускоренные) СО движутся ускоренно (неускоренно) друг по отношению к другу.

6. В *Классической физике Ньютона-Максвелла* накладывается ограничение на динамические неускоренные системы отсчёта: в них выполняется экспериментально установленный *принцип относительности Галилея*. Такие системы отсчёта называются инерциальными (ИСО).

7. В *Теории относительности Эйнштейна* накладывается ограничение на форму записи уравнений движения: они должны быть *инвариантны* в кинематических неускоренных (СТО) и *ковариантны* в кинематических ускоренных (ОТО) системах отсчёта.

Наукове видання

Потєхін Анатолій Федорович

Методологическое введение в динамику: ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА
Російською мовою

Редактор Н.П. Белєнькова
Технічний редактор Г.Л. Кадрова
Коректор Н.П. Белєнькова

Віддруковано з оригінал-макету. виготовленого в комп'ютерному центрі видавництва "Маяк» та редакції газети «РІНО». Підписано до друку – 28.01.2004. Формат 84х108 1/32. Гарнітура "Times New Roman" Ум. друк. арк. 1,5. Ум. фарбовідб 1,5. Обл-вид. арк. !,0.
Тираж 1000 прим.

Всеукраїнське державне багатопрофільне видавництво "Маяк"

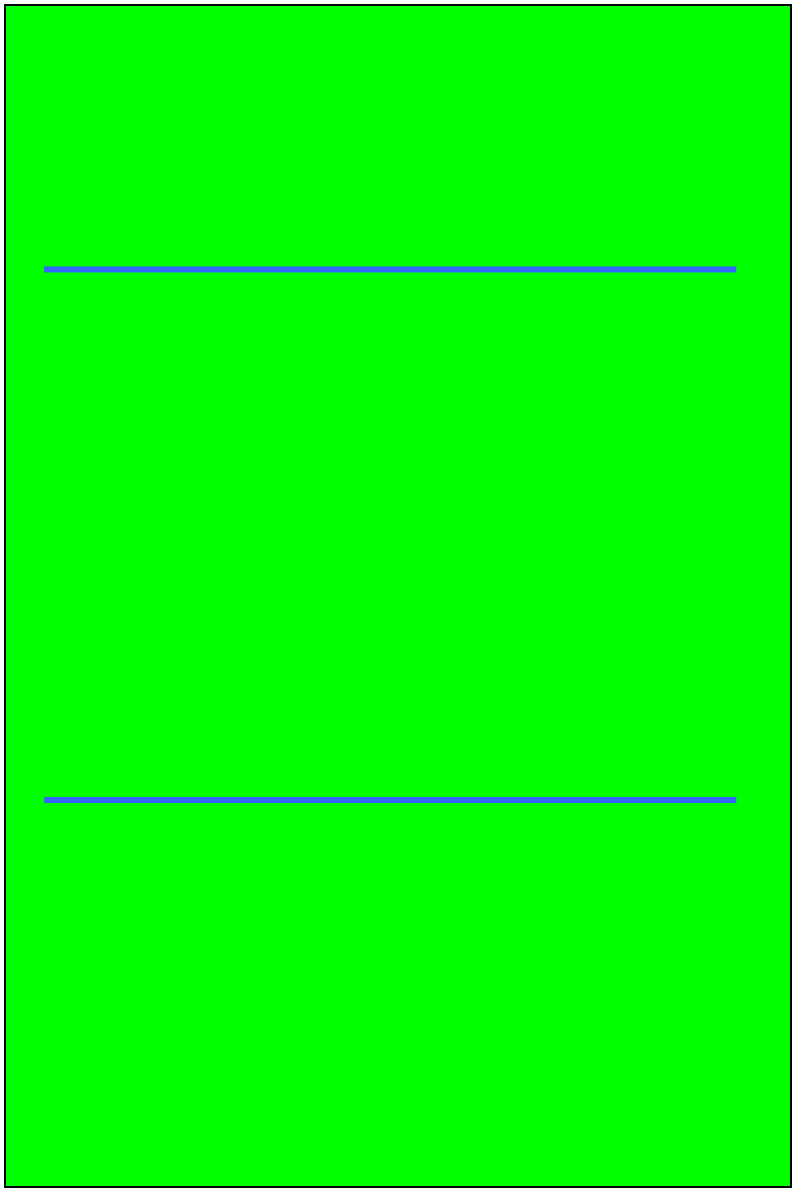
Редакція газети "РІНО" Тел.\факс 22-35-95
65026. м.Одеса. вул. Жуковського, 14
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи. Серія ДК №654 від 31.10.2001.

Потєхін Анатолій Федорович
П 22 Методологическое введение в динамику:
ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА: -
Одеса: Маяк, 2004. – 24 с.
ISBN 966-587-104-8

Проаналізовано поняття інерціальних систем відліку. Показано, що в фундамент *Класичної механіки Ньютона* закладено поняття динамічних інерціальних систем відліку, а в фундамент *Теорії відносності Ейнштейна* закладено математичне поняття інваріатності (СТВ) та коваріантності (ЗТВ) рівнянь руху в кінематичних неприскорених (СТВ) та кінематичних прискорених (ЗТВ) системах відліку.

П 1604030000-005 Без оголош.
217-2004

ББК 22.313
УДК 530.12+531.18+537.8



А. Ф. ПОТЕХИН

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Лекция по теме:

Основное уравнение динамики точки относительно движущихся систем отсчёта

ОДЕССА
«АСТРОПРИНТ»
2004

ББК 22.313
П642
УДК 531.31+531.32

Рассматривается два класса систем отсчёта – динамических и кинематических. Показано, что общепринятый вывод основного уравнения динамики точки в ускоренных системах отсчёта оказывается верным лишь в кинематических системах отсчёта. Дан вывод этого уравнения также и для динамических систем отсчёта. Выявлено, что в кинематических ускоренных системах отсчёта переносная и кориолисова силы инерции являются фиктивными (кинематическими), а в динамических системах отсчёта – реальными (динамическими).

Розглядається два класи систем відліку – кінематичних та динамічних. Показано, що загальноприйняте доведення основного рівняння динаміки точки в прискорених системах відліку є вірним лише в кінематичних системах відліку. Дається доведення цього рівняння також і для динамічних систем відліку. Виявлено, що в кінематичних прискорених системах відліку переносна та коріолісова сили інерції є фіктивними (кінематичними), а в динамічних системах відліку – реальними (динамічними).

$П\frac{1603000000-169}{318-2004}$ Без объявл.

ISBN 966–318–246–6 © А. Ф. Потехин, 2004

Введение

Представьте себе, что вы стоите на тротуаре и наблюдаете за проезжающими мимо автомобилями. Загорелся красный цвет светофора, автомобили остановились. Вы обратили внимание на забавную игрушку, висящую в салоне стоящего рядом автомобиля. Качания игрушки прекратились и нить, с помощью которой она подвешена к потолку, заняла вертикальное положение. Загорелся жёлтый, затем зелёный свет, автомобиль тронулся и стал наращивать свою скорость. Скажите, останется ли при этом нить в вертикальном положении, или отклонится? Если отклонится, то в какую сторону? (Студенты, отвечают, что нить отклонится в сторону, противоположную ускорению автомобиля).

Очень хорошо. Попытаемся объяснить это отклонение нити от вертикали. Вы неподвижны относительно поверхности Земли. По отношению к вам игрушка движется с ускорением. Следовательно, согласно второму закону Ньютона, к ней приложена сила. Единственным источником этой силы может быть только нить. А так как её верхний конец увлекается автомобилем, а нижний притормаживается в силу инертности массы игрушки, то она отклоняется от вертикали. В результате появляется горизонтальная компонента силы реакции нити, принуждающая игрушку двигаться ускоренно вместе с автомобилем. Зная это ускорение и массу игрушки, мы легко, опять таки согласно второму закону Ньютона, найдём горизонтальную компоненту, а затем и угол отклонения нити от вертикали.

Посмотрим, какое объяснение факту отклонения нити от вертикали даст пассажир автомобиля. Рас-

смотрим установившийся режим движения автомобиля с постоянным ускорением по ровной дороге, настолько гладкой, что не ощущается никаких толчков. Если окна кабины теперь зашторены, то пассажир даже не будет знать, что он движется. Он будет рассуждать так: “Мой автомобиль покоится. Но какая то сила прижимает меня к спинке сиденья. Такая же сила действует и на игрушку и отклоняет нить от вертикали”. Занявшись выяснением природы этой силы, он найдёт, что эта сила, как и сила тяжести, пропорциональна инертной массе тела. Эта силу назвали переносной силой инерции. И так как ещё Ньютон экспериментально доказал равенство гравитационной и инертной масс, то в этом случае мы приходим к выводу об эквивалентности переносной силы инерции и гравитационной силе.

Всё то, о чём мы говорили до сих пор, элементарно и известно нам из повседневного опыта. А теперь начинается самое интересное. Итак, наш пассажир считает, что он покоится. Открыв шторы своего салона, он обнаружит, что все предметы за окном с ускорением проносятся мимо него. Далее он рассуждает так же, как мы рассуждали выше. “Поскольку я неподвижен, – думает он, – а фонарь на столбе, подвешенный на тросе, движется по отношению ко мне ускоренно, то на него действует горизонтальная компонента силы натяжения троса и при этом возникнет переносная сила инерции. Следовательно, трос уличного фонаря должен отклонится от вертикали”. Все вы, конечно, ездили на автомобиле, трамвае, троллейбусе во время их разгона или торможения. Скажите, наблюдали ли вы, чтобы при этом, вследствие вашего

ускоренного движения, подвешенные уличные фонари отклонялись? (Следует ответ: “Нет, никогда!”).

Да, вы правы. Фонари в этом случае не отклоняются. А сидящие здесь в аудитории студенты не будут прижаты к спинкам своих стульев, несмотря на то, что сейчас мимо нас мчатся, ускоряются и замедляются автомобили, трамваи, ракеты и т. д. Дело в том, что та переносная сила инерции, о которой теперь говорит пассажир, есть сила кинематическая. Она обусловлена не ускорением тела относительно инерциальной системы отсчёта, а кажущимся ускорением тела (в данном случае покоящегося в инерциальной системе отсчёта Земли) относительно неинерциальной системы отсчёта автомобиля.

Взаимное движение тел может сопровождаться их взаимодействием или происходить без такого взаимодействия. Если брусок движется, а поверхность стола покоится, или наоборот, брусок покоится а поверхность стола движется, эффект их взаимодействия трением будет один и тот же. Это динамика и взаимодействие согласно третьему закону Ньютона. В кинематике же идёт речь об описании движения тела относительно движущейся системы координат, как математической конструкции. Ясно, что поскольку эта математическая конструкция никак не взаимодействует с нашим телом, то и никаких динамических (силовых) эффектов не возникнет – это кинематика. Вполне естественно ожидать, что уравнение движения материальной точки будет разным, в зависимости от того, взаимодействует она или не взаимодействует с тем телом, с которым связана система отсчёта, относительно которой движение этой материальной точки рассматривается.

Постановка задачи.

В динамике точки решается две основных задачи. Первая задача: при заданной массе m и известных кинематических параметрах движения материальной точки, найти силы, обуславливающие это движение. Вторая задача: при заданной массе и известных силах, найти кинематические параметры её движения. Для решения каждой из этих задач, необходимо знать уравнение, связывающее кинематические параметры движения точки с силами, приложенными к ней

$$f\left(m, \textit{кинемат. параметров}, \textit{сил}\right) = 0. \qquad (1)$$

Но из кинематики известно, что механическое движение тел есть понятие относительное. Одно и то же движение тела наблюдается и описывается по разному, в зависимости от выбора тела, по отношению к которому это движение наблюдается и описывается. Тогда возникает вопрос, какому телу и связанной с ним системе отсчёта отдать предпочтение при формулировке законов динамики точки? На первый взгляд, ответ очевиден, движение надо рассматривать относительно неподвижной системы отсчёта. Но в природе неподвижных тел нет. Корабль движется относительно поверхности Земли, которая вращается вокруг оси, совершая один оборот в сутки. Эта ось перемещается, примерно параллельно самой себе, по эллиптической орбите, делая один оборот в год в Гелиоцентрической системы отсчёте, которая, в свою очередь, движется, и так далее. На какой-то из этих систем отсчёта надо остановиться. Ньютон, основоположник динамики, предложил остановиться на Гелиоцентрической системе отсчёта и принять её за неподвижную (НСО). Тогда основное уравнение динамики точки (1) в этой системе отсчёта принимает вид

$$f\left(m, \textit{кинемат. параметров в НСО}, \textit{сил}\right) = 0. \qquad (2)$$

Для решаемой Ньютоном динамической задачи о движении планет относительно сферы удалённых звёзд, этого было вполне достаточно, Но Ньютон понимал всю условность неподвижности и этой системы отсчёта, заметив: “Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих” [1].

Итак, Ньютон сформулировал основные законы динамики точки, применение которых обеспечивало с очень большой точностью решение задачи о движении планет в Гелиоцентрической системе отсчёта. Однако наша практическая деятельность связана, прежде всего, с системой отсчёта, связанной с поверхностью Земли. Следовательно, возникает задача динамики точки в системах отсчёта, движущихся относительно Гелиоцентрической системы отсчёта

При обосновании основного уравнения динамики точки относительно подвижных систем отсчёта (ПСО) возникает дополнительная трудность. Наблюдаемое из подвижной системы отсчёта движение материальной точки, с одной стороны, обусловлено действием приложенных к ней сил, с другой стороны, движением самой подвижной системы отсчёта относительно системы отсчёта, принятой за неподвижную. Тогда основное уравнение динамики точки в движущихся системах отсчёта принимает вид

$$\begin{aligned} &f\left(m, \textit{кинемат. параметров точки в ПСО};\right. \\ &\textit{сил}; \textit{факторов}, \textit{учитывающих движение} \\ &\left.\textit{ПСО относительно НСО}\right) = 0. \end{aligned} \qquad (3)$$

Факторы, учитывающие влияние движения ПСО относительно НСО на относительное движение точки, проявляют себя двояко, в зависимости от того, взаимодействует или не взаимодействует эта материальная точка с тем телом, с которым связана данная ПСО. Или иначе, участвует или не участвует материальная точка в переносном движении того тела, с которым связана ПСО. В связи с этим, все системы отсчёта подразделяются на динамические и кинематические. Если рассматриваемая материальная точка взаимодействует с тем телом, с которым связана ПСО, вследствие чего эта точка участвует в переносном движении данной системы отсчёта, то такая система отсчёта для этой материальной точки является динамической (ДСО). В противном случае система отсчёта является кинематической. То есть, если рассматриваемая материальная точка не взаимодействует с тем телом, с которым связана ПСО, вследствие чего она не участвует в переносном движении этой системы отсчёта, то такая система отсчёта для этой материальной точки является кинематической (КСО). Очевидно, что одна и та же система отсчёта для одних материальных точек может быть динамической, для других– кинематической. В зависимости от того, является рассматриваемая система отсчёта для данной материальной точки кинематической или динамической, основное уравнение динамики точки будет разным.

Основное уравнение динамики точки в кинематических системах отсчёта

Основное уравнение динамики точки в неподвижной системе отсчёта $Oxyz$ имеет вид

$$m\bar{a} = \bar{F}(t, \bar{r}, \bar{v}) \tag{4}$$

где m – масса точки, $\bar{F}(t, \bar{r}, \bar{v})$ – равнодействующая активных сил и сил реакций связей, которая зависит от времени t, радиус-вектора точки $\bar{r}$ и её скорости $\bar{v}$.

Пусть $Ox'y'z'$ является произвольно движущейся относительно $Oxyz$ кинематической для точки m системой отсчёта. Тогда выполняется соотношение

$$\bar{r} = \bar{r}_{0'} + \bar{r}', \qquad t = t', \tag{5}$$

где $\bar{r}'$ – радиус-вектор точки в движущейся системе отсчёта, $\bar{r}_{0'}$ – радиус вектор начала подвижной системы отсчёта относительно неподвижной.

Дифференцируя векторное равенство (5) один раз, а затем второй раз, получим известные из кинематики соотношения для абсолютной скорости и абсолютного ускорения точки соответственно через её относительную и переносную скорости, относительное, переносное и кориолисово ускорения

$$\bar{v} = \bar{v}' + \bar{v}^e, \tag{6}$$

$$\bar{a} = \bar{a}' + \bar{a}^e + \bar{a}^{Cor}. \tag{7}$$

Подставляя (6) и (7) в (4), получим

$$m(\bar{a}' + \bar{a}^e + \bar{a}^{Cor}) = \bar{F}[t, (\bar{r}_{0'} + \bar{r}'), (\bar{v}' + \bar{v}^e)]. \tag{8}$$

В правой части этого уравнения выражение для той же самой равнодействующей силы, что и в исходном уравнении (4) записано теперь через кинематические параметры движения материальной точки относительно штрихованной системы отсчёта и кинематические параметры движения самой штрихованной системы отсчёта относительно неподвижной системы отсчёта. Обозначим

$$\overline{F}[t,(\overline{r}_{0'}+\overline{r}'),(\overline{v}'+\overline{v}^{e})]=\overline{F}'(t,\overline{r}',\overline{v}'), \qquad (9)$$

$$\overline{J}^{e}=-m\overline{a}^{e}, \qquad (10)$$

$$\overline{J}^{Cor}=-m\overline{a}^{Cor}, \qquad (11)$$

тогда уравнение (8) принимает вид

$$m\overline{a}'=\overline{F}'(t,\overline{r}',\overline{v}')+\overline{J}^{e}+\overline{J}^{Cor}, \qquad (12)$$

Уравнение (12) и есть основное уравнение динамики точки для движущихся кинематических систем отсчёта. Появившиеся в этом уравнении справа два члена учитывают тот факт, что относительно штрихованной системы отсчёта у материальной точка появилось движение, обусловленное чисто кинематическим эффектом – движением самой штрихованной системы отсчёта относительно неподвижной системы отсчёта. Исторически сложилось так, что их стали называть переносной $\overline{J}^{e}$ и кориолисовой $\overline{J}^{Cor}$ силами инерции. Поскольку эти «силы инерции» не является результатом физического взаимодействия материальной точки с другими телами или полями, то они не являются силами в общепринятом в механике смысле. Они не удовлетворяю третьему закону Ньютона, закону равенства действия и противодействия. Поэтому, в дальнейшем будем называть их силами фиктивными.

Пусть кинематическая система отсчёта движется поступательно. Тогда кориолисово ускорение равно нулю. Следовательно, равна нулю и кориолисова фиктивная сила инерции, и уравнение (12) принимает вид

$$m\overline{a}' = \overline{F}'(t, \overline{r}', \overline{v}') + \overline{J}^e. \qquad (13)$$

Пусть, кроме того, кинематическая система отсчёта движется не только поступательно, но и равномерно, прямолинейно со скоростью $\overline{u}$. Тогда не только кориолисова, но и переносная сила инерции равна нулю. Преобразование (5) в этом случае принимает вид

$$\overline{r} = \overline{u}t + \overline{r}', \qquad t = t'. \qquad (14)$$

Такое преобразование систем отсчёта называют преобразованием Галилея. Тогда (12) принимает вид

$$m\overline{a}' = \overline{F}'(t, \overline{r}', \overline{v}'). \qquad (15)$$

Это уравнение имеет тот же вид, что и уравнение (4). Но они отличаются тем, что функциональная зависимость одной и той же равнодействующей силы через радиус вектор и скорость материальной точки соответственно в неподвижной $\overline{F}$ и движущейся $\overline{F}'$ системе отсчёта – различны. В таком случае в математике говорят, что уравнение (4) ковариантно относительно преобразования (14) систем отсчёта.

Если равнодействующая сила $\overline{F}$ не зависит ни от радиус-вектора $\overline{r}$ точки, ни от её скорости $\overline{v}$, то уравнение (15) имеет вид

$$m\overline{a}' = \overline{F}(t). \qquad (16)$$

В этом случае уравнение (4) при преобразовании Галилея (14) сохраняет не только свой вид, но и выражение для входящих в него функций. В таком случае в

математике говорят, что уравнение (4) инвариантно относительно преобразования (14) систем отсчёта.

В основное уравнение динамики точки в кинематической системе отсчёта как в общем случае – (12), так и в частных случаях – (13), (15), (16) всегда входит переносная скорость движения этой точки относительно неподвижной системе отсчёта как в выражение (9) для равнодействующей силы, если она зависит от скорости, так и через начальные условия. Поэтому, по наблюдениям за движением материальной точки из кинематической системы отсчёта всегда можно обнаружить движение этой системы отсчёта относительно системы отсчёта, принятой за неподвижную.

Заметим, что в кинематической системе отсчёта рассматриваемая материальная точка никогда не может быть в состоянии покоя. Для того чтобы она была в состоянии покоя, её относительная скорость и относительное ускорение должны равняться нулю и тогда, уравнение (12) принимает вид

$$\overline{F}'(t,\overline{r}',\overline{v}')+\overline{J}^{e}=0 \qquad (17)$$

Но переносная сила инерции в кинематической системе отсчёта является фиктивной, поэтому она не может уравновесить реальную физическую силу $\overline{F}'$. Невозможность относительного покоя материальной в кинематической системе отсчёта следует также из того что если относительная скорость и относительное ускорение материальной точки в движущейся системе отсчёта равны нулю, то эта точка вовлекается в переносное движение данной системы отсчёта. Но тогда эта система отсчёта для такой материальной точки будет уже не кинематической, а динамической.

Основное уравнение динамики точки в динамических системах отсчёта

Рассмотрим произвольно движущееся относительно неподвижной системы отсчёта $Oxyz$ тело, с которым связана система отсчёта $Ox'y'z'$. Материальная точка M движется в неподвижной системе отсчёта $Oxyz$ согласно уравнению (4). Пусть точно такая же материальная точка M', во-первых, полностью вовлекается в движение системы отсчёта $Ox'y'z'$ и, во-вторых, находится под воздействием точно таких же сил, как и точка M в неподвижной системе отсчёта. В этом случае штрихованная система отсчёта для материальной точки M' является динамической. Получить основное уравнение динамики точки M' в штрихованной системе отсчёта из уравнения движения (4) в неподвижной системе отсчёта с помощью кинематического преобразования невозможно, так как две различные материальные точки M и M' уже не связаны преобразованием (5). Поэтому, основное уравнение динамики точки должно быть получено лишь на основе исходных законов Ньютона, сформулированных для неподвижной системы отсчёта.

Пусть вначале штрихованная, динамическая для материальной точки M', система отсчёта движется относительно неподвижной системы отсчёта поступательно, равномерно и прямолинейно. Такие динамические системы отсчёта называются инерциальными. Тогда, согласно динамическому принципу относительности Галилея, основное уравнение динамики точки M' в этой системе отсчёта с точностью до обозначения кинематических параметров совпадает с ос-

новным уравнением динамики (4) точки M в неподвижной системе отсчёта, то есть имеет вид

$$m\overline{a}' = \overline{F}(t, \overline{r}', \overline{v}') \qquad (18)$$

Обратим особое внимание на то, что уравнение (18) есть не результат кинематического преобразования уравнения (4), а является следствием экспериментального факта, установленного Галилеем и заложенного в фундамент классической механики Ньютоном.

Сообщим теперь этой динамической штрихованной системе отсчёта произвольное движение относительно неподвижной системы отсчёта. Материальная точка M', двигаясь относительно штрихованной системы отсчёта, участвует в ускоренном движении этой системы отсчёта. В таком случае, в направлении переносного и кориолисового ускорений эта материальная точка взаимодействует с тем телом, с которым связана штрихованная система отсчёта. Тогда в направлении её переносного ускорения действует сила реакции $\overline{N}^e$, а в направлении кориолисового ускорения действует сила реакции $\overline{N}^{Cor}$. Согласно второму закона Ньютона,

$$m\overline{a}^e = \overline{N}^e \qquad (19)$$

$$m\overline{a}^{Cor} = \overline{N}^{Cor} \qquad (20)$$

Складывая левые и правые части равенств (18) – (20), т. е. применяя принцип независимости действия сил в классической механике Ньютона, получим

$$m(\overline{a}' + \overline{a}^e + \overline{a}^{Cor}) = \sum \overline{F}_k + \overline{N}^e + \overline{N}^{Cor} \qquad (21)$$

или

$$m\overline{a} = \sum \overline{F}_k + \overline{N}^e + \overline{N}^{Cor}. \qquad (22)$$

Мы получили основное уравнение динамики точки M' в неподвижной системе отсчёта $Oxyz$. Следовательно, любую задачу динамики точки в произвольно движущейся динамической системе отсчёта, всегда можно решить, переходя к её рассмотрению в исходной неподвижной системе отсчёта. Однако решение таких задач, в большинстве случаев, значительно упрощается, если мы будем их рассматривать именно в движущихся динамических системах отсчёта. Кроме того, рассмотрение основного уравнения динамики точки в движущихся динамических системах отсчёта приобретает и особое методологическое значение при развитии общей физической теории релятивистского движения.

Представим уравнение (21) в виде

$$m\overline{a}' = \sum \overline{F}_k + \overline{N}^e + \overline{N}^{Cor} + \overline{F}^e + \overline{F}^{Cor}, \qquad (23)$$

где

$$\overline{F}^e = -m\overline{a}^e, \qquad (24)$$

$$\overline{F}^{Cor} = -m\overline{a}^{Cor} \qquad (25)$$

Уравнение (12) движения материальной точки в кинематической ускоренной системе отсчёта принципиально отличается от уравнения (23) в динамической неинерциальной системе отсчёта. Во-первых, уравнение (12) получено формально-математическим преобразованием систем отсчёта, в то время как уравнение (23) доказано на основании исходных принципов механики Ньютона. Во-вторых, в (12) переносная и кориолисова силы инерции является кинематическими или фиктивными, тогда как в (23) переносная и кориолисова силы инерции являются динамическими или

реальными, обусловленными соответствующими силами реакций $\overline{N}^e$ и $\overline{N}^{Cor}$.

И в этом случае можно найти вид уравнения (23) в некоторых частных случаях движения систем отсчёта, подобно тому, как это сделано выше для кинематических систем отсчёта. Найдём, например, условие относительного покоя точки в динамической подвижной системе отсчёта. Для этого в уравнении (23) следует положить $\overline{v}'=0, \overline{a}'=0$, и тогда получим

$$\sum \overline{F}_k + \overline{N}^e + \overline{F}^e = 0 \qquad (26)$$

Таким образом, для того чтобы материальная точка находилась в состоянии покоя в движущейся ускоренно динамической системе отсчёта, необходимо и достаточно, чтобы векторная сумма приложенных к ней всех активных, сил реакций связей, а также её переносной силы инерции равнялась нулю.

Пример 1. Рассмотреть затухающие линейные колебания математического маятника в системе отсчёта $O'x'y'$ (тележки), которая движется поступательно относительно неподвижной системы отсчёта Oxy поверхности Земли (лабораторной) с ускорением $\overline{q}$. Точка подвеса маятника и среда сопротивления неподвижны в лабораторной СО.

Решение.

С известной точностью, лабораторную систему отсчёта Oxy принимаем за неподвижную. Считаем, что в начальный момент времени начала неподвижной и подвижной штрихованной систем отсчёта совпадают с точкой подвеса маятника и их оси параллельны. Движение штрихованной системы отсчёта происходит в положительном направлении оси x. В этом случае

маятник не принимает участия в движении штрихованной системы отсчёта, поэтому эта система отсчёта для него является кинематической. Тогда основное уравнение динамики (13) груза маятника принимает вид

$$m\overline{a}' = \overline{P} + \overline{T} + \overline{R} + \overline{J}^{e} \qquad (27)$$

где $\overline{P}, \overline{T}, \overline{R}, \overline{J}^{e}$, соответственно сила тяжести груза, сила реакции нити, сила сопротивления среды и переносная фиктивная сила инерции груза.

В силу кинематического преобразования

$$\overline{r} = \frac{1}{2}\overline{q}t^{2} + \overline{r}', \quad t = t' \qquad (28)$$

получим

$$\overline{R} = -\mu\overline{v} = -\mu(\overline{q}t + \overline{v}'), \qquad \overline{J}^{e} = -m\overline{q} \qquad (29)$$

Проектируя (27) на направление касательной к траектории груза маятника в неподвижной системе отсчёта, с учётом соотношений $v'_{\tau} = v_{\tau} - q_{\tau}t$, $a'_{\tau} = a_{\tau} - q_{\tau}$, и принимая во внимание, что в силу преобразования (28) $\varphi = \varphi'$, получим уравнение колебаний маятника в штрихованной системе отсчёта.

$$\ddot{\varphi}' + 2n\dot{\varphi}' + k_1^{2}\varphi' = 0 \qquad (30)$$

Тогда

$$\varphi' = e^{-nt}\left(C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t\right), \qquad (31)$$

$$x' = l\sin\varphi' - \frac{qt^{2}}{2}, \quad y' = l\cos\varphi', \qquad (32)$$

$$T = ml\dot{\varphi}'^2 + P\cos\varphi'. \qquad (33)$$

Таким образом, из штрихованной системы отсчёта видны те же колебания маятника, что и из неподвижной системы отсчёта, но удаляющиеся с ускорением q в отрицательном направлении оси x'

<u>Пример 2.</u> Рассмотреть затухающие линейные колебания математического маятника в системе отсчёта $O'x'y'$ (тележки), которая движется поступательно относительно неподвижной системы отсчёта Oxy поверхности Земли (лабораторной) с ускорением $\overline{q}$. Точка подвеса маятника и среда сопротивления неподвижны в системе отсчёта тележки $O'x'y'$.

Решение.

Система отсчёта $O'x'y'$ является для маятника динамической. Основное уравнение динамики точки (23) в этом случае принимает вид

$$m\overline{a}' = \overline{P} + \overline{T} + \overline{R} + \overline{T}' + \overline{F}^e \qquad (34)$$

здесь $\overline{T}'$ – та часть силы реакции нити, которая обеспечивает перемещение груза маятника вместе с тележкой с ускорением $\overline{q}$ и , в силу чего, возникает реальная, физическая переносная сила инерции

$$\overline{F}^e = -mq \qquad (35)$$

Вводя полную силу реакции нити маятника

$$\overline{T}* = \overline{T} + \overline{T}' \qquad (36)$$

перепишем уравнение (34) в виде

$$m\overline{a}' = \overline{P} + \overline{T}^* + \overline{R} + \overline{F}^e \qquad (37)$$

Проектируя (37) на направление касательной к траектории груза маятника в штрихованной системе отсчёта, получим дифференциальное уравнение колебаний маятника

$$\ddot{\varphi}' + 2n\dot{\varphi}' + k_1{}^2\varphi' = -ql^{-1} \qquad (38)$$

решая которое, находим

$$\varphi' = e^{-nt}\left(C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t\right) - \frac{q}{lk_1{}^2}, \qquad (39)$$

$$x' = l \sin \varphi'; \quad y' = l \cos \varphi', \qquad (40)$$

$$N = ml\dot{\varphi}'^2 + P\cos\varphi' - mq\sin\varphi' \qquad (41)$$

Сравнение решения приведенных двух задач о колебаниях маятника в кинематической ускоренной и динамической ускоренной системах отсчёта выявляет их принципиальное различие. Во-первых, в динамической ускоренной системе отсчёта возникла дополнительная сила реакции нити T', приложенная к грузу маятника. Во-вторых, в динамической ускоренной системе отсчёта переносная сила инерции F^e является физической или реальной, которая привела к отклонению местной вертикали в системе отсчёта тележки на угол $\varphi_0 = -\dfrac{q}{lk_1^2}$ и проявляется она также как сила противодействия со стороны нити маятника на его точку подвеса.

Выводы

1. Динамический принцип относительности Галилея есть неотъемлемая часть исходных принципов классической механики Ньютона. Этот принцип является следствием экспериментальных фактов. Общепринятое в существующей учебной литературе утверждение о том, что динамический принцип относительности Галилея является одним из следствий основного уравнения динамики точки (12) в кинематических системах отсчёта, является ошибочным

2. Все подвижные системы отсчёта разделяются на два класса: динамические и кинематические. В каждом из этих классов, в свою очередь, системы отсчёта подразделяются на неускоренные и ускоренные друг по отношению к другу.

3. Динамические, неускоренные по отношению к сфере удалённых звёзд, системы отсчёта, следовательно, неускоренные и друг относительно друга, называются инерциальными. Во всех инерциальных системах отсчёта выполняется динамический принцип относительности Галилея, то есть, в каждой из них идентичные опыты протекают, наблюдаются и описываются одинаково. Или иначе: никакими опытами в инерциальных системах отсчёта нельзя обнаружить их поступательное, равномерное и прямолинейное движение друг относительно друга.

4. Динамические, ускоренные по отношению к инерциальным, системы отсчёта называются неинерциальными. В динамических неинерциальных системах отсчёта основное уравнение динамики точки формулируется точно так же, как и в инерциальных системах отсчёта: “Произведение массы материальной точки на вектор её ускорения равняется векторной

сумме всех фактически приложенных к ней сил, включая дополнительные силы реакций со стороны тела отсчёта данной неинерциальной системы отсчёта на материальную точку, а также её переносную и кориолисову силы инерции”.

5. Общепринятое с конца Х1Х столетия и по настоящее время отнесение всех неускоренных друг по отношению к другу систем отсчёта к инерциальным является ошибочным, так как опыты в кинематических неускоренных системах отсчёта позволяют обнаружить их движение относительно других систем отсчёта. Следовательно, динамический принцип относительности Галилея-Ньютона в таких системах отсчёта не выполняется.

Примечание

Если бы сто лет назад А. Эйнштейну, в его студенческие годы, была прочитана эта лекция! Тогда он не растратил бы силу своего гения на создание ошибочной в своей основе *Теории относительности* как специальной, так и общей. Всё началось с ошибочного отождествления в СТО кинематических неускоренных систем отсчёта с динамическими инерциальными системами отсчёт. Затем последовало отождествление инвариантности уравнений движения относительно кинематических преобразований Галилея и инвариантности уравнения фронта световой волны относительно кинематических преобразований Лоренца с динамическим принципом относительности Галилея. В ОТО – отождествление кинематических ускоренных систем отсчёта с динамическими ускоренными системами отсчёта; фиктивных кинематических сил инерции с реальными динамическими силами инерции; ко-

вариантности уравнений движения относительно произвольного кинематического преобразования систем отсчёта с неким, не имеющем под собой никакой экспериментальной основы, «общим принципом относительности движения». Понадобилось столетие, чтобы распутать клубок взаимной подмены принципиально различающихся между собой кинематических и динамических понятий и вернуть физическую науку на магистральное направление Ньютона-Максвелла.

Литература

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М.: Наука. – 1989. – 688с.

2. Потехин А. Ф. Краткий курс теоретической механики в вопросах и ответах с анализом базовых понятий (укр.) Рекомендовано Министерством образования и науки Украины для студентов вузов. Издание второе. – Львов: Новый свет. – 2004. – 200с.

3. Потехин А. Ф. Теоретическая механика. Методологическое введение в динамику: инерциальные системы отсчёта. – Одесса: Маяк. – 2004. – 24с.

4. Потехин А. Ф. К вопросу о принципе эквивалентности в ОТО Эйнштейна (англ). // Тез. докл. на международной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения Георгия Гамова «Astrophysics and Cosmology after Gamov – Theory and Observations», Одесса 8-14 августа 2004г. – Одесса: Астропринт, 2004. – С. 126.

5. Потехин А. Ф. О замкнутом круге понятий наука–образование–наука на примере физики. // Научный вестник Академии наук высшей школы Украины. – 2004. – №28. – С.112–120.

Содержание

Введение…… 3

Постановка задачи…… 6

Основное уравнение динамики точки
в кинематических системах отсчёта…… 9

Основное уравнение динамики точки
в динамических системах отсчёта…… 13

Пример 1…… 16

Пример 2…… 18

Выводы…… 20

Примечание…… 21

Литература…… 22

Потєхін А. Ф.

П 642 Теоретична механіка. Лекція на тему: Основне рівняння динаміки точки відносно систем відліку, що рухаються. – Одеса: Астропринт, 2004. – 24 с.

Рос. мовою.

ISBN 966–318–246–6

Розглядається два класи систем відліку – кінематичних та динамічних. Показано, що загальноприйняте доведення основного рівняння динаміки точки в прискорених системах відліку є вірним лише в кінематичних системах відліку. Дається доведення цього рівняння також і для динамічних систем відліку. Виявлено, що в кінематичних прискорених системах відліку переносна та коріолісова сили інерції є фіктивними (кінематичними), а в динамічних системах відліку – реальними (динамічними).

П $\frac{1603000000 - 169}{318 - 2004}$ Без оголош.

ББК 22.313

УДК 531.31 + 531.32

Навчальне видання

ПОТЄХІН Анатолій Федорович

Теоретична механіка

Лекція на тему:

Основне рівняння динаміки точки відносно систем відліку, що рухаються

Російською мовою

Зав. редакцією *Т.М. Забанова*

Голов. редактор *Ж. Б. Мельниченко*

Технічні редактори: *Р. М. Кучинська, М. М . Бушин*

Здано у виробництво 11.10.2004. Підписано до друку 26.11.2004

Формат 60×84/16. Папір офсетний. Гарнітура “Times”.

Друк офсетний. Ум. друк. арк. 1,39

Тираж 300 прим. Зам №805

Видавництво і друкарня “Астропринт”

(Свідоцтво ДК № 1373 від 28.05.2003 р.)

65026, м. Одеса, вул. Преображенська, 24

Тел: (0482) 26-98-82, 26-96-82, 37-14-25

www.astroprint.olessa.ua

Потехин А. Ф.

ФИЗИКА НА ПЕРЕЛОМЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЙ

Доклад

Представленный на Восьмую международную конференцию
"ФИЗИКА В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ"
Санкт-Петербург, 29 мая - 3 июня 2005

Критическая работа учёных по осмысливанию знаменитой теории А. Эйнштейна завершена. Сегодня уже никто из серьёзных учёных не может отстаивать его Теорию относительности. Гениальная по замыслу фундаментальная физическая теория оказалась ошибочной.

Естественно, возникает вопрос: как такое могло случиться? Безусловно, субъективные факторы сыграли в этом определённую роль, но не они явились главными. В основе лежат факторы объективные. Во второй половине X1X столетия произошёл рывок в экспериментальной физике, связанный с познанием полевой формой существования материи. Прежде всего, это электродинамические опыты Фарадея и знаменитый оптический эксперимент Майкельсона-Морли. Попытка осмыслить полученные результаты в понятиях классической механики Ньютона, связанной с принципиально иной формой существования материи, чем материя в форме вещества, привела к кризису теоретическую физику в конце X1X века. Например, к полевой форме существования материи бессмысленна по своей сути постановка вопроса об «эфирном ветре». Одной постановки этого вопроса и попыток дать на него ответ оказалось достаточным, чтобы завести физику в тупик.

Отличительная особенность гения в науке заключается в интуитивном ощущении и восприятии сути вещей и явлений, для научного раскрытия которых ещё не существует экспериментальных предпосылок. Таково, например, понятие абсолютного или неподвижного пространства у Ньютона [1]. За двести лет до того, как в науку было введено понятие физического поля, Ньютон предвосхитил его глобальное свойство в понятии абсолютного пространства. Сегодня мы можем сказать, что в этом понятии скрыто понятие всепроницающего, универсального, взаимодействующего с веществом, физического поля, отличительной особенностью которого является его неувлекаемость в движение того вещества, которое в совокупности это поле и создаёт. Или иначе, квант поля, фотон, не имеет массы покоя, поэтому первый закон Ньютона для вещества, закон инерции, к нему неприменим.

Как экспериментальный факт, сегодня мы признаём существование универсального физического поля, создаваемого всеми видами материи, которое проявляется в двух формах – как поле тяготения и фоновое поле [2]. Это поле называется гравитационным. Поле тяготения – это гравитационное поле в той его части (активной), которое обусловлено неоднородностью (градиентом) этого поля и проявляется как взаимное притяжение материальных частиц одна к другой, то есть как поле сил тяготения. Фоновое поле – это гравитационное поле в той его части (пассивной), которое обусловлено плотностью энергии этого поля и проявляется как взаимное отталкивание тяготеющих одна к другой свободных материальных частиц, то есть как поле сил инерции. Отсюда следует определение массы тела как меры его взаимодействия с гравитационным полем, которая проявляется, также в двух формах – как масса инертная во взаимодействии вещества с фоновым гравитационным полем, и как масса гравитационная во взаимодействии вещества с полем сил тяготения.

Фоновое, глобально однородное, гравитационное поле создаётся всей массой вещества Вселенной, поэтому становится понятной привязка Ньютоном «неподвижной» или «абсолютной системы отсчёта» к сфере звёзд. Вклад каждого отдельно взятого тела в плотность энергии (не путать с понятием энергии как меры движения!) фонового гравитационного поля на макро уровне пренебрежимо мал. Неоднородность же гравитационного поля, то есть гравитационное поле сил тяготения, носит островной характер и формируется в окрестности каждого из материальных тел.

Как экспериментальный факт следует признать, что движущаяся равномерно и прямолинейно относительно абсолютной системы отсчёта материальная частица с фоновым гравитационным полем не взаимодействует. Но с этим полем взаимодействует частица, движущаяся под дей-

ствием приложенной силы $\boldsymbol{F}$ с ускорением $\boldsymbol{a}$ относительно абсолютной системы отсчёта. В результате этого взаимодействия возникают объёмные или массовые сила инерции, приложенные к частицам тела. Но проявляются они как поверхностная сила инерции $\boldsymbol{J} = -m\boldsymbol{a}$, приложенная к связи, так что $\boldsymbol{F} + \boldsymbol{J} = 0$. Здесь существует полная аналогия с весом тела, который проявляется как поверхностная сила, приложенная к нити или опоре.

С того момента, как Эйнштейн отбросил понятие абсолютного пространства Ньютона, то есть не вовлекаемого в движение тел фонового гравитационного поля, он лишился возможности создания полноценной динамической теории, как в электродинамике, так и в гравитодинамике движущихся тел. Более того, он был обречён на путаницу и взаимную подмену динамических и кинематических понятий. Эта ошибка была предопределена его предшественниками, прежде всего Э. Махом. Как известно [1], Ньютон продемонстрировал существование динамически выделенной системы отсчёта наличием центробежных сил инерции в опыте с вращающимся ведром с водой в случае, когда жидкость вовлечена во вращательное движение ведра относительно сферы удалённых звёзд. Мах, возражая Ньютону, утверждал [3], что тот же эффект может быть достигнут, когда вода не будет вовлечена во вращательное движение ведра, но которое, вращаясь, делается всё более и более массивным, превратившись, в конечном итоге, в сферу удалённых звёзд. Известно, что по этой схеме даже выполнялись эксперименты (с отрицательным результатом). Мах был бы прав, если бы во вращение ведра (сферы удалённых звёзд) вовлекалось бы и создаваемое им фоновое гравитационное поле. Но поскольку это не так, то динамической обратимости данного опыта не существует. Можно, например, говорить об орбитальном кинетическом моменте планеты, как её динамической характеристики, во вращательном движении вокруг Солнца. Но мы совершим ошибку, если, кинематически обратив задачу, припишем Солнцу орбитальный кинетический момент в его вращательном движении вокруг «покоящейся» планеты. То есть, системы мира Коперника и Птолемея в динамическом отношении не равноправны, хотя в кинематическом отношении они равноправны.

Эйнштейн не только воспринял это ошибочное утверждение Маха, но и выхолостил из него остатки динамического содержания. Он отбросил понятие абсолютного пространства или фонового гравитационного поля как промежуточного полевого агента при взаимодействии тел. В результате остались лишь кинематические системы отсчёта, ускоренным движением которых Эйнштейн «создавал» гравитационные поля [4]: “Рассмотрим случай системы координат (! – А. П.), которая предполагается равномерно вращающейся по отношению к инерциальной (в ньютоновском смысле) системе. Силы (кинематические! – А. П.), являющиеся центробежными относительно этой системы должны быть, по Ньютону (нет! – А. П.), приписаны инерции. Но эти центробежные силы, подобно гравитационным, пропорциональны массе тел. Нельзя ли в таком случае рассматривать нашу систему координат как покоящуюся и центробежные силы как гравитационные? Такая интерпретация кажется почти очевидной (ошибочной! – А. П.); однако классическая механика её запрещает (и оказывается абсолютно правой, см. [5] – А. П.)”

Ошибочными утверждениями подобного рода кинематического обращения движения с последующей его динамической интерпретацией изобилует современная теоретическая физика. Ограничимся одним примером, в котором роль Солнца играет протон, а роль планеты – электрон. Рассматривается орбитальное движение электрона вокруг протона. Далее утверждается следующее [6]: “Наблюдатель, движущийся вместе с электроном по орбите вокруг протона, отметит, что протон обращается по такой же орбите вокруг электрона. При движении протона вокруг «покоящегося »электрона создаётся (! – А. П) магнитное поле с индукцией $\overline{B}$ … Взаимодействие, связывающее собственный магнитный момент вращающегося электрона с индукцией $\overline{B}$ магнитного поля (протона – А. П.), обусловленного орбитальным движением электрона, называется спин-орбитальным взаимодействием. Это взаимодействие является источником дополнительных энергетических уровней, которые и образуют тонкую структуру спектра (выводится формула!) ”. Итак, утверждается, что чисто кинематическое обращение движения в паре электрон –протон приводит к возникновению динамического поля с вектором магнитной индукции $\overline{B}$. Ошибочная логика кинематического релятивизма пронизывает всю современную теоретическую физику.

Ограничимся далее одним лишь перечнем ошибочной взаимной подмены кинематических и динамических понятий в современной физике [2], [5], [7]-[12]:

– кинематический принцип относительности Коперника и динамический принцип относительности Галилея;
– кинематическая инвариантность уравнений движения относительно преобразований Галилея и динамический принцип относительности Галилея;
– кинематическая инвариантность фронта световой волны относительно преобразований Лоренца и динамический принцип относительности Галилея;
– кинематические и динамические системы отсчёта;
– кинематические неускоренные и динамические инерциальные системы отсчёта;
– кинематические ускоренные и динамические неинерциальные системы отсчёта;
– электродинамические уравнения Максвелла в кинематических неускоренных и динамических инерциальных системах отсчёта;
– кинематический и динамический конвективный ток;
– основное уравнение динамики точки в кинематических ускоренных и динамических неинерциальных системах отсчёта;
– кинематические (фиктивные) и динамические (реальные) силы инерции;
– кинематическое (фиктивное) и динамическое (реальное) поле сил инерции.

Этот перечень можно было бы продолжить.

В заключение, разрешите остановиться на некоторых проблемных вопросах, которые, по мнению автора, предстоит решить в ближайшие десятилетия, срочно навёрстывая упущенное время – целое столетие.

1 Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М.: Наука. – 1989. – 688с.
2 Потехин А. Ф. Краткий курс теоретической механики в вопросах и ответах с анализом базовых понятий (укр.) Рекомендовано Министерством образования и наук Украины для студентов вузов. Издание второе. – Львов: Новый свет. – 2004. – 200с.
3 Мах Э. Механика. Историко-критический очерк развития. – Спб.– 1909.
4 Эйнштейн А. Собр.– Научн. тр. т. 2. – М.: Наука.– с. 717.
5 Потехин А. Ф. Теоретическая механика. Лекция по теме: Основное уравнение динамики точки относительно движущихся систем отсчёта. – Одесса: Астропринт. – 2004. – 24с.
6 В. Акоста, М. Кован, Б. Грэм. Основы современной физики. – М.: Просвещение – 1981. – с.232.
7 Потехин А. Ф. Классическая теория относительности. – Одесса: Маяк. – 2003. – 80с.
8 Potjekhin A. F. Relativity in Physics. – Odessa: Majak. – 2003. – 60 pg.
9 Потехин А. Ф. Теоретическая механика. Методологическое введение в динамику: инерциальные системы отсчёта. – Одесса: Маяк. – 2004. – 24с.
10 Потехин А. Ф. О динамических и кинематических системах отсчёта. // Изв. Вузов. Физика. – 2004. (в печати).
11 Потехин А. Ф. Объективные и субъективные аспекты принципа относительности в физике // Тез. докл. XYII международных чтений: Великие преобразователи естествознания: Анри Пуанкаре, Минск 28-29 ноября 2001г. – Минск: БГУ, 2001. –С. 91–94.
12 Потехин А. Ф. О замкнутом круге понятий наука–образование–наука на примере физики. // Научный вестник Академии наук высшей школы Украины. – 2004. – №28. – С.112–120.

ОТВЕТ ОРГКОМИТЕТА КОНФЕРЕНЦИИ

From: PSME <psme@herzen.spb.ru>
To: a_potjekhin@osmu.odessa.ua <a_potjekhin@osmu.odessa.ua>
Date: Wednesday, April 6, 2005, 11:52:12 PM
Subject: ФССО 05

Files: image001.png, image002.jpg, oledata.mso

--====---====---====---====---====---====---====---====---====---===--

Восьмая международная конференция
"ФИЗИКА В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ"
Санкт-Петербург, 29 мая - 3 июня 2005

Глубокоуважаемый(ая) Потехин А.Ф.

В адрес Оргкомитета международной конференции ФССО-05 поступило более 500 заявок на участие. Учитывая ограничения по возможному количеству участников конференции, Оргкомитет отобрал из числа поступивших около 300 материалов. При отборе материалов учитывались оригинальность представленных докладов, соответствие тематике конференции, ограничения на количество докладов от одного автора (не более 3-х). Кроме того, учитывалась своевременность предоставления материалов.

К сожалению, представленный Вами доклад: "Физика на переломе тысячелетий" Оргкомитет не счел возможным включить в программу конференции ФССО-05.

С уважением, по поручению
Оргкомитета ФССО-05 секретариат конференции.

=-=

Примечание автора

Итак, включив в программу работы конференции 300 докладов, Оргкомитет конференции посчитал все их более важными, чем доклад, посвящённый актуальным проблема Физики XX1 столетия (заметим, что доклад был представлен своевременно).

В качестве комментария остаётся лишь напомнить, что в первые годы перестройки, когда многое тайное стало явным, промелькнула статья профессора ЛПИ Денисова А.А., в которой, в частности, сказано, что "...более двадцати лет назад Президиум АН СССР принял постановление, в котором предлагалось не рассматривать никакие посягательства на Теорию относительности (Эйнштейна)" [Лит. газета от 28.02.90]. И учёные предпочитают быть обвинёнными в некомпетентности, но не в признании ошибочности Теории относительности Эйнштейна.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Научно-технический совет по физике
Российская академия наук
Комитет по образованию Администрации Волгоградской области
Волгоградский государственный педагогический университет
Волгоградский государственный технический университет
Волгоградский государственный университет
Российское научно-производственное объединение «Росучприбор»
Ассоциация кафедр физики технических вузов России
Объединённое физическое общество Российской Федерации
Московское физическое общество
Научно-технический центр «Владис»
Журнал «Физическое образование в вузах»

С О В Р Е М Е Н Н Ы Й Ф И З И Ч Е С К И Й

П Р А К Т И К У М

Сборник трудов IX Международной учебно-методической конференции

Под Редакцией Н. В. Калачёва и М. Б. Шапочкина

Г. Волгоград, 19-21 сентября 2006 г.

Издательский дом Московского физического общества

Москва

МФО – 2006

ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ ОПТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА МАЙКЕЛЬСОНА-МОРЛИ

А Ф. Потехин

Одесский Национальный морской университет

65029 Одесса, ул. Мечникова, 34. Украина

a_potjekhin@osmu.odessa.ua

Выявлено, что в оптическом эксперименте Майкельсона-Морли: а) допущена ошибка в общепринятом расчёте времени хода поперечного луча; б) поперечный луч не попадает в окуляр, куда поступает продольный луч. Сформулированы основные следствия, вытекающие из этих ошибок опыта Майкельсона-Морли:

1. Целью оптического эксперимента Майкельсона-Морли являлось измерение смещения интерференционных полос, величина которого имеет второй порядок малости по аберрации, в то время как расхождение лучей имеет величину первого порядка малости по аберрации.

2. В целом, расчётную схему, расчётные формулы и трактовку оптического эксперимента Майкельсона-Морли по обнаружению движения Земли относительно эфира, следует признать ошибочными.

3. Следствия, которые были сделаны из этого эксперимента, должны быть пересмотрены. Так, из этого эксперимента не следует, что свет от одного и того же источника распространяется с постоянной скоростью относительно всех инерциальных систем отсчёта, как это принято в СТО Эйнштейна. Поэтому опыт Майкельсона-Морли не является экспериментальной основой СТО Эйнштейна.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Научно-технический совет по физике
Российская академия наук
Комитет по образованию Администрации Волгоградской области
Волгоградский государственный педагогический университет
Волгоградский государственный технический университет
Волгоградский государственный университет
Российское научно-производственное объединение «Росучприбор»
Ассоциация кафедр физики технических вузов России
Объединённое физическое общество Российской Федерации
Московское физическое общество
Научно-технический центр «Владис»
Журнал «Физическое образование в вузах»

С О В Р Е М Е Н Н Ы Й Ф И З И Ч Е С К И Й

П Р А К Т И К У М

Сборник трудов IX Международной учебно-методической конференции

Под Редакцией Н. В. Калачёва и М. Б. Шапочкина

Г. Волгоград, 19-21 сентября 2006 г.

Издательский дом Московского физического общества

Москва

МФО – 2006

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ ТОЧКИ В УСКОРЕННЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЁТА

А. Ф. Потехин
Одесский Национальный морской университет
65029 Одесса, ул. Мечникова, 34, Украина
a_potjekhin@osmu.odessa.ua

Рассматривается два класса систем отсчёта – динамических и кинематических. Показано, что общепринятый вывод основного уравнения динамики точки в ускоренных системах отсчёта оказывается верным лишь в кинематических системах отсчёта. Дан вывод этого уравнения также и для динамических систем отсчёта. Выявлено, что в кинематических ускоренных системах отсчёта переносная и кориолисова силы инерции являются фиктивными (кинематическими), а в динамических системах отсчёта – реальными (динамическими). Сделаны следующие выводы.

1. Все подвижные системы отсчёта разделяются на два класса: динамические и кинематические. В каждом из этих классов, в свою очередь, системы отсчёта подразделяются на неускоренные и ускоренные друг по отношению к другу.

2. Динамические, неускоренные по отношению к сфере удалённых звёзд, системы отсчёта, следовательно, неускоренные и друг относительно друга, называются инерциальными. Во всех инерциальных системах отсчёта выполняется динамический принцип относительности Галилея

3. Динамические, ускоренные по отношению к инерциальным, системы отсчёта называются неинерциальными. В динамических неинерциальных системах отсчёта основное уравнение динамики точки формулируется точно так же, как и в инерциальных системах отсчёта: “Произведение массы материальной точки на вектор её ускорения равняется векторной сумме всех фактически приложенных к ней сил, включая дополнительные силы реакций со стороны тела отсчёта данной неинерциальной системы отсчёта на материальную точку, а также её переносную и кориолисову силы инерции”.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Научно-технический совет по физике
Российская академия наук
Комитет по образованию Администрации Волгоградской области
Волгоградский государственный педагогический университет
Волгоградский государственный технический университет
Волгоградский государственный университет
Российское научно-производственное объединение «Росучприбор»
Ассоциация кафедр физики технических вузов России
Объединённое физическое общество Российской Федерации
Московское физическое общество
Научно-технический центр «Владис»
Журнал «Физическое образование в вузах»

С О В Р Е М Е Н Н Ы Й Ф И З И Ч Е С К И Й П Р А К Т И К У М

Сборник трудов IX Международной учебно-методической конференции

Под Редакцией Н. В. Калачёва и М. Б. Шапочкина

Г. Волгоград, 19-21 сентября 2006 г.

Издательский дом Московского физического общества

Москва

МФО – 2006

ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ ОПТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА МАЙКЕЛЬСОНА-МОРЛИ И ИХ ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ, [1].

А Ф. Потехин

Одесский Национальный морской университет

65029 Одесса, ул. Мечникова, 34. Украина

a_potjekhin@osmu.odessa.ua

Выявлено, что в оптическом эксперименте Майкельсона-Морли: а) допущена ошибка в общепринятом расчёте времени хода поперечного луча; б) поперечный луч не попадает в окуляр, куда поступает продольный луч. Сформулированы основные следствия, вытекающие из этих ошибок опыта Майкельсона-Морли:

1. Целью оптического эксперимента Майкельсона-Морли являлось измерение смещения интерференционных полос, величина которого имеет второй порядок малости по аберрации, в то время как расхождение лучей имеет величину первого порядка малости по аберрации.

2. В целом, расчётную схему, расчётные формулы и трактовку оптического эксперимента Майкельсона-Морли по обнаружению движения Земли относительно эфира, следует признать ошибочными.

3. Следствия, которые были сделаны из этого эксперимента, должны быть пересмотрены. Так, из этого эксперимента не следует, что свет от одного и того же источника распространяется с постоянной скоростью относительно всех инерциальных систем отсчёта, как это принято в СТО Эйнштейна. Поэтому опыт Майкельсона-Морли не является экспериментальной основой СТО Эйнштейна.

ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ ОПТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА МАЙКЕЛЬСОНА-МОРЛИ И ИХ ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ, [1].

А. Ф.Потехин
Одесский Национальный морской университет
65029 Одесса, ул. Мечникова, 34. Украина
a_potjekhin@osmu.odessa.ua

Выявлено, что в оптическом эксперименте Майкельсона-Морли поперечный луч, строго перпендикулярный продольному, не попадает в окуляр, а общепринятая интерпретация результатов этого опыта является ошибочной. Проанализированы исторические предпосылки допущенных ошибок.

В 2006 году исполняется 125 лет с момента проведения Майкельсоном оптического эксперимента [2], целью которого было обнаружение эфирного ветра при орбитальном движении Земли. Исходная идея и предпосылки опыта известны. Эфир неподвижен в Гелиоцентрической системе отсчёта. Величина и направление скорости света относительно эфира не зависит от того, покоится источник или приёмник света в эфире или движется относительно него. Прибор покоится на поверхности Земли. Монохроматический луч раздваивается полупрозрачной призмой на два взаимно перпендикулярных луча, которые, пройдя разные пути, сходятся, образуя интерференционную картину. По смещению интерференционных полос при вращении прибора предполагалось определить скорость эфирного ветра.

При таких исходных предпосылках два луча, взаимно перпендикулярные в абсолютной системе отсчёта (АСО) эфира, останутся взаимно перпендикулярными в этой системе отсчёта вне зависимости от того, покоится или движется прибор относительно эфира. Однако, вследствие аберрации света, взаимная перпендикулярность этих лучей нарушится в относительной системе отсчёта (ОСО) движущегося вместе с Землёй прибора.

Произведём расчёт времени хода лучей отдельно в абсолютной и относительной системах отсчёта [3] при условии равенства плеч $PA = PB = l$.

а) Абсолютная система отсчёта (система отсчёта покоящегося эфира) – рис. 1.

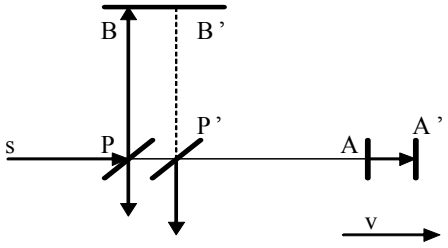


Рис. 1. Схема хода лучей в АСО.

Ход поперечного луча «туда-обратно» по PBP.

Скорость света в системе отсчёта покоящегося эфира равна c вне зависимости от направления его распространения. Пока продольный луч, испущенный в точке P, будет идти к зеркалу A, оно продвинется со скоростью v на расстояние vt'_1. Тогда время хода t'_1 этого луча на пути «туда», равно

$$t'_1 = \frac{l + vt'_1}{c} , \tag{1}$$

откуда находим

$$t'_1 = \frac{l}{c - v} . \tag{2}$$

Аналогично, время хода t''_1 этого луча на пути «обратно», равно

$$t''_1 = \frac{l - vt''_1}{c} , \tag{3}$$

тогда

$$t''_1 = \frac{l}{c + v} , \tag{4}$$

и время хода продольного луча «туда - обратно» равно

$$t_1 = t'_1 + t''_1 = 2\frac{l}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} . \tag{5}$$

Поперечный луч проходит расстояние $PB + BP = 2l$ за время

$$t_2 = 2\frac{l}{c} \ . \tag{6}$$

Общее время t_1 распространения продольного луча на пути «туда - обратно» превышает время t_2 распространения поперечного луча на величину

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 2\frac{l}{c}\frac{v^2}{c^2}\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \approx 2\frac{l}{c}\frac{v^2}{c^2} \ , \tag{7}$$

при этом поперечный луч проходит мимо окуляра на расстоянии

$$\Delta l = vt_2 = 2l\frac{v}{c}. \tag{8}$$

б) Относительная система отсчёта (система отсчёта движущегося прибора) – рис. 2.

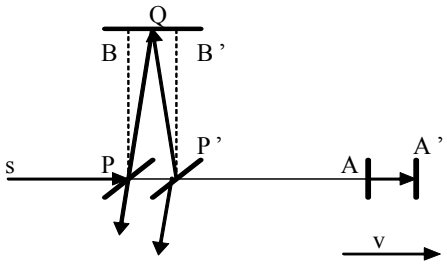


Рис. 2. Схема хода лучей в ОСО.

Ход поперечного луча «туда-обратно» по $P'QP$

Для пересчёта величины и направления скорости света от системы отсчёта эфира к системе отсчёта движущегося прибора применяется преобразование Галилея, согласно которому относительная скорость света c' равняется разности векторов абсолютной скорости света $\bar{c}$ и переносной скорости $\bar{v}$ движения прибора

$$\bar{c}' = \bar{c} - \bar{v} \ . \tag{9}$$

Отсюда следует, что алгебраическая величина относительной скорости света продольного луча на пути «туда» равна $c - v$, на пути «обратно» $c + v$. Тогда время хода продольного луча на пути «туда» совпадает с (2), «обратно» с (4) и суммарное время с (5).

Поперечный луч проходит со скоростью $c' = \sqrt{c^2 + v^2}$ расстояние «туда» $P'Q$, равное $\sqrt{(vt'_2)^2 + l^2}$. Тогда

$$t'_2 = \frac{\sqrt{(vt'_2)^2 + l^2}}{\sqrt{c^2 + v^2}} , \tag{10}$$

Откуда находим

$$t'_2 = \frac{l}{c} , \tag{11}$$

Такое же время затрачивает поперечный луч на пути QP «обратно», и общее время хода поперечного луча на пути «туда - обратно» совпадает с (6). Поэтому далее следуют те же результаты (7) и (8), как и должно быть, поскольку наблюдается один и тот же процесс, но из разных систем отсчёта.

Приведенный выше теоретический расчёт оптического опыта Майкельсона-Морли отличается от общепринятого расчёта в современной литературе. Во-первых, вопреки тому, что общепринято, поперечный луч, строго перпендикулярный продольному лучу в системе отсчёта эфира, не попадает в окуляр движущегося прибора. Это следует из схемы распространения лучей как в абсолютной – рис. 1, так и в относительной – рис. 2, системе отсчёта. Во-вторых, вопреки тому, что общепринято, ни в абсолютной, ни в относительной системе отсчёта поперечный луч не распространяется по пути PQP'. Наконец, в общепринятом расчёте найдено ошибочное время хода поперечного луча. Предыстория появления этих ошибок поучительна. Однако, говоря об этих ошибках, следует принять во внимание, что оптический эксперимент Майкельсона-Морли является чисто кинематическим, не имеющим никакого отношения к эфиру как динамической структуре. В этом эксперименте фигурируют лишь кинематические параметры – скорости $\bar{c}, \bar{c}', \bar{v}$ и нет никакого механизма физического взаимодействия эфира с движущимся телом, нет ни одного динамического параметра, например, плотности массы, энергии, тока и пр. Но во второй половине XIX столетия выделение кинематики в самостоятельный раздел физики только началось. Кинематические преобразования Галилея ещё не были вычленены, а кинематическая теорема Кориолиса с её понятиями абсолютного, относительного и переносного движения, скорости и ускорения ещё не стала рабочим инструментом физиков. Расчленение же некоторых понятий физики на их динамические и кинематические

компоненты продолжается до сих пор. Например, принцип относительности – динамический и кинематический; системы отсчёта – динамические и кинематические и т. д. [4], [5]. Поэтому не удивительно, что эфир, как динамическая компонента, в этом эксперименте фигурирует чисто фразеологически. Никакого вывода о том, есть эфир или нет, увлекается он или не увлекается движущимся телом, из этого эксперимента не может быть сделано, поскольку он является кинематическим по своей сути.

Первоначальный теоретический расчёт эксперимента Майкельсона 1881 года [2] основан на ошибочном предположении о том, что продольный и поперечный лучи, взаимно перпендикулярные в системе отсчёта прибора покоящегося в эфире, остаются взаимно перпендикулярными и в системе отсчёта прибора при его движении вместе Землёй. Но, несмотря на это, Майкельсон правильно определил время прохождения путей соответственно продольного (5) и поперечного (6) лучей “туда - обратно” при движущемся приборе. Это объясняется тем, что время хода продольного луча вычислялось им по относительной траектории луча (система отсчёта прибор) с учётом преобразования Галилея, а время хода поперечного луча – по абсолютной траектории луча (система отсчёта неподвижного эфира). Поэтому правильно была вычислена и разность времён хода продольного и поперечного лучей (7). Но Майкельсон не учёл явление аберрации света, поэтому он не увидел, что поперечный луч промахивается и не попадает в окуляр движущегося прибора.

При повторении данного опыта в 1887 году совместно с Морли, Майкельсон отметил: “При выводе формулы для измеряемой величины ранее было упущено из виду влияние движения Земли через эфир на путь луча, перпендикулярного этому движению. Ошибка была указана автору последней работы А.Потье (Париж) зимой 1881 г. Обсуждение этого упущения и всего эксперимента составляет предмет очень глубокого анализа Г. А. Лоренца, который выяснил, что данным эффектом ни в коем случае нельзя пренебрегать. Как следствие, в действительности величина, которая должна быть измерена, составляет только половину предполагавшейся величины, и, поскольку последняя уже была едва за пределами ошибок эксперимента, выводы, сделанные из результатов опыта, могли вполне основательно подвергнуться сомнению” [6]. Обратимся к анализу этого опыта Г. Лоренцем для уяснения сути его возражения.

Согласившись с правильностью расчёта времени хода продольного луча, Лоренц замечает: “Необходимо принять во внимание, что некоторый луч поперечного пучка, если даже он вернётся, как я это буду предполагать, в ту же самую точку пластины P, попадёт при этом уже в другую точку эфира, так как за тот промежуток времени, в течение которого свет прошёл

от P в B и обратно, упомянутая точка пластинки переместится со скоростью v в направлении движения Земли на некоторое расстояние, скажем, PP' - рис. 2. Если Q есть та точка эфира, в которой луч света встречает зеркало B, мы можем сказать с достаточным приближением, что точки P, Q, P' являются вершинами равнобедренного треугольника, высота которого есть l (так как отрезки PA и PB в приборе равны друг другу), а основание равно

$$PP' = 2v\frac{l}{c}. \tag{12}$$

Сумма сторон PQ и QP' имеет величину

$$2\sqrt{l^2 + \left(v\frac{l}{c}\right)^2}, \tag{13}$$

так что мы можем написать, что время пробега второго луча равно

$$t_2 = \frac{2l}{c}\sqrt{1+\left(\frac{v}{c}\right)^2} \approx \frac{2l}{c}\left(1+\frac{v^2}{2c^2}\right), \tag{14}$$

Отсюда вытекает, что вследствие движения между двумя лучами создаётся разность фаз

$$t_1 - t_2 = \frac{l}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^2, \tag{15}$$

которая, при длине l в несколько метров составит заметную долю периода колебаний” [7].

В этом рассуждении Лоренц, прежде всего, ошибается в траектории поперечного луча, направляя его по PQP' в системе отсчёта эфира – рис. 2. Далее Лоренц ошибочно полагает, что вектор скорости света в системе отсчёта движущегося прибора остаётся строго перпендикулярным к продольному лучу и величина этой скорости также остаётся неизменной и равной c. Здесь Лоренц делает молчаливое, ничем не оправданное предположение, что поперечный луч увлекается прибором, но это не относится к продольному лучу. Заметим также, что поскольку скорость продольного луча относительно прибора “туда - обратно” определялась согласно преобразованию Галилея, то и скорость поперечного луча должна определяться согласно этому же преобразованию. Тогда, даже если согласиться с утверждением Лоренца, что поперечный луч вовлекается в движение прибора и точка Q зеркала переместится в системе отсчета эфира в направлении движения Земли, то величина этой скорости должна быть равна

сумме двух взаимно перпендикулярных векторов скоростей (переносной и относительной), то есть равной $\sqrt{v^2 + c^2}$. Но у Лоренца и эта скорость света, направленная по гипотенузе PQ, принимается опять-таки равной c. В результате, с одной стороны, время хода поперечного луча, вычисленное в системе отсчёта прибора, получается у Лоренца равным $t_2 = \frac{2l}{c}$, и именно это время учтено в формулах (12), (13). С другой стороны, это же самое время, вычисленное в системе отсчёта эфира, даётся выражением (14). Противоречие налицо.

Лоренц авторитетнейший физик-теоретик конца XIX столетия. Майкельсон безоговорочно принимает замечания Лоренца и повторяет его ошибки. Он, без каких-либо комментариев, воспроизводит схему хода лучей и теоретический расчёт Лоренца для поперечного луча, ограничившись оговоркой: “длина другого пути, очевидно, равна”, и далее следует формула (13).

Указанное противоречие у Лоренца, связанное с вычислением времени хода поперечного луча, вскоре было замечено и исправлено. Так, М. Борн в своей книге [8], полностью сохранив схему хода лучей согласно Лоренцу, даёт ей при этом такое пояснение. “Майкельсон и Морли заставляли поперечный луч проходить расстояние, равное одной и той же величине вперёд и назад, но в обоих случаях по перпендикуляру к направлению движения Земли по орбите. Когда свет движется от P до B – рис. 2, Земля проходит короткое расстояние вперёд, так что точка B перемещается в точку Q в эфире. Таким образом, истинное расстояние, пройденное светом в эфире, равно PQ; если свету потребовалось время t'_2 для того, чтобы покрыть это расстояние, то $PQ = ct'_2$. За то же время точка P проходит расстояние $\frac{PP'}{2} = vt'_2$. Применяя теорему Пифагора к прямоугольному треугольнику, получим

$$\left(ct'_2\right)^2 = L^2 + \left(vt'_2\right)^2, \tag{16}$$

откуда

$$t'_2 = \frac{l}{c}\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} \tag{17}$$

… Таким образом, на путь туда и обратно свет затрачивает время

$$t_2 = \frac{2l}{c}\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}\text{”}. \qquad (18)$$

Таким образом, с учётом исходных предпосылок опыта, как у Лоренца согласно (14), так и у Борна, согласно (18), время хода поперечного луча найдено неверно, отличаясь от правильного значения (6).

Во всей современной учебной и научной литературе в различных вариациях повторяются указанные ошибки при рассмотрении опыта Майкельсона-Морли. Приведенный выше правильный расчёт показывает, что поперечный луч отстаёт от прибора, промахивается и не попадает в окуляр. В результате никакой интерференционной картины в окуляре не должно появиться. Но ведь интерференционная картина наблюдалась! Тогда, естественно, возникают, по крайней мере, два вопроса. Вопрос первый, чем обусловлено появление интерференционной картины в опыте Майкельсона-Морли? Вопрос второй, что фактически измерялось в опыте Майкельсона-Морли? Для ответа на эти вопросы необходимо обратиться к экспериментальной части этого опыта и тщательно проанализировать саму методику его проведения.

Выводы.

4. Выявлено, что в оптическом эксперименте Майкельсона-Морли: а) допущена ошибка в общепринятом расчёте времени хода поперечного луча; б) поперечный луч не попадает в окуляр, куда поступает продольный луч.
5. Целью оптического эксперимента Майкельсона-Морли являлось измерение смещения интерференционных полос, величина которого имеет второй порядок малости по аберрации, в то время как расхождение лучей имеет величину первого порядка малости по аберрации.
6. В целом, расчётную схему, расчётные формулы и трактовку оптического эксперимента Майкельсона-Морли по обнаружению движения Земли относительно эфира следует признать ошибочными.

Литература

1. Потехин А. Ф. Физические и математические ошибки оптического эксперимента Майкельсона-Морли. //Сборник трудов IX международной учебно-методической конференции «Современный физический практикум», Волгоград (Россия), 19-21 сентября 2006 г. – Волгоград: Издательский дом МФО, 2006. – С. 70.

2. Michelson A.A. The Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether. American Journal of Science, Ser. 3, 1881, vol. 22, p. 120-129.
3. Потехин А. Ф. Классическая теория относительности. – Одесса: Маяк. – 2003.– С.31-36. (см. Потехин А. Ф. Физические и математические ошибки оптического эксперимента Майкельсона-Морли. Сайт в Интернете http://potjekhin.narod.ru/).
4. Потехин А. Ф. Краткий курс теоретической механики в вопросах и ответах с анализом базовых понятий (укр.). Рекомендовано Министерством образования и науки Украины для студентов вузов. Издание второе. – Львов: Новый свет. – 2004. – 200 с.
5. Потехин А. Ф. О замкнутом круге понятий наука-образование-наука на примере физики.// Научный вестник Академии наук высшей школы Украины.– 2004. – №28. – С. 112-120. (Сайт в Интернете http://potjekhin.narod.ru/).
6. Michelson A. A., Morley E. On the relative motion of the Earth and the Luminiferous Ether. American Journal of Science, Ser. 3, 1887, vol. 34, p. 333-345.
7. Лоренц Г. А. Теория электронов и её применение к явлениям света и теплового излучения. – М.: Гостехиздат. – 1956. – С. 280-284.
8. Борн М. Эйнштейновская теория относительности. – М.: Мир – 1972. – С. 209-213.

Потехин А. Ф.

ОСНОВНОЕ ОТЛИЧИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ НЬЮТОНА-МАКСВЕЛЛА-ЛОРЕНЦА ОТ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА

Доклад,
представленный на Девятую международную конференцию
"ФИЗИКА В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ "
Санкт-Петербург, 4 – 8 июня 2007

ИСХОДНЫЕ ТЕЗИСЫ

Основное, главное, принципиальное отличие Классической физики Ньютона-Максвелла-Лоренца от Теории относительности Эйнштейна заключается в том, что Классическая физика базируется на признании выделенных в физическом (динамическом) отношении систем отсчёта, в то время как Теория относительности Эйнштейна целиком базируется на равноправии всех систем отсчёта как чисто геометрических (кинематических) конструкций .

В классической физике динамические инерциальные системы отсчёта (как физические конструкции) принципиально отличаются от кинематических (как геометрических конструкций) неускоренных систем отсчёта. В теории относительности Эйнштейна (СТО) такого различия нет. Как следствие, электродинамические уравнения Максвелла-Лоренца современная физика относит не только к динамическим, но и (ошибочно) к кинематическим неускоренным системам отсчёта. Отсюда ошибочно и возникло требование “Лоренц-инвариантности всех законов природы в неускоренных системах отсчёта” и “новый взгляд на пространство и время”. Но поскольку инженерная и экспериментально-физическая практика имеет дело с динамическими системами отсчёта, в которых подтверждается электродинамика Максвелла-Лоренца, то отсюда и возникло ошибочное заключение о том, что эксперимент подтверждает СТО Эйнштейна.

В классической физике динамические неинерциальные системы отсчёта (как физические конструкции) принципиально отличаются от кинематических (как геометрических конструкций) ускоренных систем отсчёта. В теории относительности Эйнштейна (ОТО) такого различия нет. Поэтому общепринятое сегодня в физике «Основное уравнение динамики точки в неинерциальных системах отсчёта» оказывается верным лишь в кинематических ускоренных системах отсчёта, которое современная физика относит (ошибочно) также к динамическим неинерциальным системам отсчёта. Как следствие, на протяжении XX столетия оставалась не решённой проблема «реальности и фиктивности» сил инерции, отсюда ошибочная формулировка Эйнштейном «принципа эквивалентности» фиктивных сил инерции реальным физическим силам гравитации и создание на этой базе ошибочной ОТО как теории гравитации.

В конечном итоге, современная физика по некоторым направлениям зашла столь далеко, что потеряла способность решать элементарные задачи динамики Ньютона и электродинамики Максвелла.

КОММЕНТАРИИ

Современная физика, обвинив Ньютона во введении понятия «абсолютного пространства», как некоего пустого и бессодержательного вместилища, выбросила вместе с этим понятием тот фундамент, на котором возведено всё грандиозное здание его Динамики. Проследим за процессом введения Ньютоном данного понятия [1].

Моряк находится в трюме корабля, совпадая в данный момент с некоторой точкой **А** неподвижного пространства корабля. В этот же момент времени точка **А** корабля совпадает с некоторой точкой **А’** неподвижного пространства поверхности Земли; точка **А’**, вследствие суточного вращения Земли, совпадает с некоторой точкой **А’’** неподвижного Геоцентрического пространства; **А’’**; точка **А’’,** в свою очередь, вследствие орбитального движения Земли, сов-

падает с некоторой точкой **A'''** неподвижного Гелиоцентрического пространства и так далее. Продолжая этот процесс до бесконечности, Ньютон, в конечном итоге, и водит понятие абсолютно неподвижного пространства, пока что, как чисто геометрического (кинематического) неподвижного пространства. При этом он замечает: "Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих" [1, с. 32.]. Можем ли мы сегодня что-либо возразить против введения Ньютоном абсолютно неподвижного пространства как сугубо теоретической, научной абстракции? Безусловно, нет.

Далее движение тел относительно абсолютного пространства Ньютон называет движением абсолютным, движение же относительно конкретных материальных тел, он называет относительным. При этом Ньютон прекрасно понимал, что в зависимости от рассматриваемой задачи, за абсолютную систему отсчёта принимается система отсчёта, привязанная к конкретным материальным телам – кораблю, поверхности Земли, и т. д. По крайней мере, со времён Ньютона и до сегодняшнего дня, наша практическая деятельность ограничивается Гелиоцентрической системой отсчёта как глобальной абсолютной системой отсчёта.

Ньютон строит Динамику, базовыми понятием которой являются «ускорительная сила» и «сила инерции». Он схватывает суть движения тел в единстве и противоборстве этих сил. И если причина ускорительной (в абсолютном пространстве!) силы есть взаимодействие тел, то поиск причины появления силы инерции (при движении в абсолютном пространстве!) привёл его к необходимости наделить введенное им абсолютное геометрическое пространство физическим (динамическим) атрибутом. Даже Эйнштейн был вынужден признать: "В динамике Ньютона пространство обладает реальностью – в противоположность геометрии и кинематике" [2].

"Проявления, которыми различаются абсолютное и относительное движения,- пишет Ньютон, – состоят в силах стремления удалиться от оси вращательного движения, ибо в чисто относительном вращательном движении эти силы равны нулю, в истинном же и абсолютном оно больше или меньше, сообразно количеству движения" [1, с.34]. И далее, в подтверждение сказанного, Ньютон приводит свой знаменитый эксперимент.

"Если на длинной нити подвесить сосуд и вращая его закрутить нить, пока она не станет совсем жёсткой, затем наполнить сосуд водой и, удержав сперва вместе с водою в покое, пустить, то под действием появляющейся силы сосуд начнёт вращаться, и это вращение будет поддерживаться достаточно долго раскручиванием нити. Сперва поверхность воды будет оставаться плоской как было до движения сосуда. Затем сосуд, силою, постепенно действующею на воду, заставит и её участвовать в своём вращении. По мере возрастания вращения вода будет постепенно отступать от середины сосуда и повышаться по краям его, принимая впалую форму поверхности (я сам это пробовал делать, пишет Ньютон); при усиливающемся движении она всё более будет подниматься по краям, пока она не станет обращаться в одинаковое время с сосудом и придёт по отношению к сосуду в относительный покой. Этот подъём воды указывает на стремление её частиц удалиться от оси вращения и по этому стремлению обнаруживается и измеряется истинное и абсолютное вращательное движение воды, которое, как видно, во всём противоположно относительному движению. В начале, когда относительное движение воды в сосуде было наибольшее, оно совершенно не вызывало стремления удалиться от оси – вода не стремилась к окружности и не повышалась у стенок сосуда, а её поверхность оставалась плоской и истинное вращательное движение ещё не начиналось. Затем, когда относительное движение уменьшилось, повышение её у стенок сосуда обнаруживало её стремление удалиться от оси и это стремление показывало её постепенно возрастающее истинное вращательное движение, и когда оно стало наибольшим, то вода установилась в покое относительно сосуда. Таким образом, это стремление не зависит от движения воды относительно окружающего тела, следовательно, по таким движениям нельзя определить истинного вращательного движения. Истинное круговое движение какого-либо тела может быть лишь одно в полном соответствии с силою стремления его от оси, относительных же движений в зависимости от того, к чему они относятся, тело может иметь бесчисленное множество" [1, с. 34-35].

В этом эксперименте Ньютон продемонстрировал существование динамически выделенной системы отсчёта наличием центробежных сил инерции материи лишь в случае, когда про-

исходит вращательное движение относительно сферы удалённых звёзд как глобальной абсолютной системы отсчёта. Можем ли мы сегодня что-либо возразить против наделения Ньютоном его абсолютно неподвижного пространства таким атрибутом? Безусловно, нет. Ньютон, по существу, предвосхитил появление такого понятия как «физическое поле». Моряк, корабль, Земля, Солнце, Звёзды излучают поля, как минимум, всепроникающее гравитационное поле. Чем к более глобальной абсолютной системе отсчёта мы переходим, тем более однородным и изотропным это универсальное поле становится, тем меньшим становится вклад в плотность энергии этого поля каждого отдельно взятого конкретного тела. Более того, назвав это поле «неподвижным», Ньютон предвосхитил неувлекаемость данного поля в движение формирующих его тел – фотон не имеет массы покоя, поэтому к нему первый закон Ньютона, закон инерции не применим. Как назвать это поле – абсолютным пространством, эфиром, физическим вакуумом, реликтовым излучением и т. д. – вопрос сугубо терминологический. На наш взгляд, в наибольшей степени сути дела соответствуют понятия «фоновое гравитационное поле», или «поле сил инерции».

Мах, возражая Ньютону, ошибочно утверждал, что описанный эффект может быть достигнут и тогда, когда вода не будет вовлечена во вращательное движение ведра, но которое, вращаясь, делается всё более и более массивным, превратившись, в конечном итоге, в сферу удалённых звёзд. “Основные законы механики вполне можно понимать таким образом, чтобы из них следовали центробежные силы и при относительных движениях” [3, с. 193.]. Мах был бы прав, если бы во вращение звёзд увлекалось и излучаемое ими фоновое гравитационное поле.

Эйнштейн не только воспринял это ошибочное утверждение Маха, но и выхолостил из него остатки динамического содержания. Он отбросил понятие абсолютного пространства Ньютона как динамически выделенной системы отсчёта, привязанной к сфере удалённых звёзд. В результате остались лишь кинематические системы отсчёта, ускоренным движением которых Эйнштейн «создавал» гравитационные поля – принцип эквивалентности Эйнштейна: “Гравитационное поле можно «создать» простым изменением координатной системы” [2,.т.I, с..457]. “Рассмотрим случай системы координат, которая предполагается равномерно вращающейся по отношению к инерциальной (в ньютоновском смысле) системе. Силы, являющиеся центробежными относительно этой системы должны быть, по Ньютону, приписаны инерции. Но эти центробежные силы, подобно гравитационным, пропорциональны массе тел. Нельзя ли в таком случае рассматривать нашу систему координат как покоящуюся и центробежные силы как гравитационные? Такая интерпретация кажется почти очевидной, однако классическая механика её запрещает” [2, т.II, с. 717]. И в противовес приведенному выше эксперименту, Эйнштейн приводит свой эксперимент.

“Представим себе серьёзного учёного, полагающего, что закон инерции можно подтвердить или опровергнуть прямыми экспериментами. Он толкает небольшие шарики по поверхности горизонтального стола, стараясь по возможности исключить трение. Он замечает, что движение становится всё более равномерным по мере того, как стол и шарики становятся всё более гладкими. И в тот 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, теперь, удалится от центра и возможно ближе подкатиться к стенкам комнаты”. [2, т. IY. с. 453].

Этот эксперимент Эйнштейн описывает уже в возрасте 60 лет, когда позади у него осталось столько острых баталий вокруг ОТО. И при этом Эйнштейн не замечает, что абсолютно гладкий шарик на абсолютно гладком столе не устремиться от оси вращения стола, коль скоро его вращение началось. Система отсчёта, связанная с вращающимся столом, является в данном случае для шарика кинематической. Шарик, действительно, будет вращаться относительно стола в направлении, противоположном вращению самого стола. Но его центробежная сила инерции при этом будет фиктивной, кинематической и она не вызовет стремления шарика удалиться от оси вращения. Для того чтобы шарик устремился от оси вращения, его необходимо вовлечь

во вращение стола, например, поместив в радиальный паз, вырезанный на поверхности стола. В таком случае, система отсчёта вращающегося стола станет для шарика уже динамической, а его центробежная сила инерции будет реальной, динамической, эквивалентной силе гравитации, в том смысле, что она пропорциональна массе шарика. Но в ОТО Эйнштейна нет различия между динамической и кинематической системами отсчёта, между относительным и абсолютным (по Ньютону) движением тела. Фундамент и СТО и ОТО – равноправие всех систем отсчёта!

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, приведём следующие определения.

Если рассматриваемая система материальных частиц движется вместе с системой отсчёта S , которая, в свою очередь, движется относительно Абсолютной системы отсчёта, то S называется динамической системой отсчёта для данного процесса.

Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении совместно с системой отсчёта S1, то последняя называется кинематической системой отсчёта для данного процесса.

Динамические системы отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно Абсолютной системы отсчёта, называются инерциальными системами отсчёта для заключенных в них тел.

Понятие динамических и кинематических систем отсчёта (по Ньютону) должно быть срочно заложено в фундамент курсов физики школ и вузов. Лишь новое поколение физиков, выращенное на этой основе, сможет переосмыслить научные достижения физики XX столетия и направить свои усилия на дальнейшее развитие физики в оправдавшем себя направлении Ньютона-Фарадея-Максвелла-Лоренца.

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М.: Наука, 1989.
2. Эйнштейн А. Собр.– Научн. тр. в 4-х т. – М.: Наука, 1965.
3. Мах Э. Механика. Историко-критический очерк развития. Спб. – 1909

КЛАССИФИКАЦИИ СИСТЕМ ОТСЧЁТА В ФИЗИКЕ

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

Выявлено, что отнесение в физике всех неускоренных 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. Рассмотрены задачи динамики движущихся тел, которые невозможно решить без этих недостающих уравнений физики.

Ключевые слова: динамические и кинематические системы отсчёта; неинерциальные и инерциальные системы отсчёта; неускоренные и ускоренные системы отсчёта.

Абсолютное пространство Ньютона

В начале XX столетия были отвергнуты понятия абсолютного пространства и абсолютного времени Ньютона и, в результате, оставлен тот прочный фундамент, на котором базировалась классическая физика до конца X1X века. Это привело к далеко идущим последствиям, вплоть до невозможности решить элементарные задачи динамики движущихся тел. Ограничимся двумя примерами.

Пример первый. Согласно современным релятивистским представлениям, поле покоящегося в физической лаборатории электрического заряда описывается в системе отсчёта движущегося с постоянной скоростью трамвая теми же уравнениями, что и поле такого же заряда, покоящегося в этом трамвае, относительно системы отсчёта лаборатории. Эксперимент это опровергает, регистрируя магнитное поле лишь во втором случае.

Пример второй. Согласно современным релятивистским представлениям, колебания математического маятника с неподвижной точкой подвеса в физической лаборатории описывается в системе отсчёта движущегося с постоянным ускорением трамвая тем же уравнением динамики относительного движения точки, что и колебания такого же математического маятника с неподвижной точкой подвеса в этом трамвае относительно системы отсчёта трамвая. Эксперимент это опровергает, регистрируя отклонение местной вертикали лишь во втором случае.

В заложенном Ньютоном в фундамент классической физики понятийном аппарате, понятия абсолютного или неподвижного пространства и абсолютного или универсального времени, играют особую роль. Введением этих понятий Ньютон, во-первых, устранил влияние выбора относительных пространства (тел отсчёта) и относительного времени (приближённо равномерного движения) на описание движения тел. Во-вторых, он учёл наличие в природе динамически выделенной системы отсчёта, вращение относительно которой сопровождается стремлением частиц удалиться от оси вращения (опыт Ньютона с вращающимся ведром с водой).

Поскольку факт вращения Земли относительно сферы удалённых звёзд Ньютону был известны, то в качестве абсолютной он практически использовал Гелиоцентрическую систему отсчёта. Однако Ньютон, вопреки тому, что ему приписывают, понимал всю условность выбора абсолютно неподвижной системы отсчёта: “*Может оказаться, что в действительности не*

существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих" [1]. Можно говорить лишь об иерархии «неподвижных» или «абсолютных», вложенных одна в другую, систем отсчёта по типу матрёшки: для движущегося корабля неподвижной является система отсчёта, связанная с поверхностью Земли; для поверхности Земли неподвижной является система отсчёта, начало которой совпадает с центром Земли, а оси направлены к удалённым звёздам; для этой, в свою очередь, неподвижной является Гелиоцентрическая система отсчёта и т. д. Таким образом, понятие абсолютной системы отсчёта (АСО) есть понятие относительное. По мере глобализации «неподвижных» систем отсчёта, мы приближаемся к абсолютному пространству Ньютона лишь в пределе. Критиковать абсолютное пространство и абсолютное время Ньютона так же бессмысленно, как критиковать другие научные абстракции, например, понятия идеальной жидкости или газа, абсолютно твёрдого тела или материальной точки.

О классификации систем отсчёта в современной физике.

Понятие системы отсчёта является фундаментальным в теоретической физике. Общепринятым [2], [3] и др., является следующее кинематическое определение: система координат, связанная с телом отсчёта и служащая для указания положения частиц в пространстве, вместе со связанной с этой системой часами, служащими для указания времени, называется системой отсчёта. Современная физика базируются на следующей кинематической процедуре разбиения систем отсчёта на два класса [2], [3] и др. Фиксируется одна из систем отсчёта, относительно которой материальная точка движется равномерно и прямолинейно. Далее, с помощью кинематических преобразований Галилея, доказывается теорема: если геометрическая точка движется равномерно и прямолинейно относительно одной из систем отсчёта, то существует и бесчисленное множество систем отсчёта, относительно которых эта же геометрическая точка будет двигаться равномерно и прямолинейно. Все такие системы отсчёта, движущиеся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, названы инерциальными. Системы отсчёта, которые движутся ускоренно относительно определённых таким образом инерциальных систем отсчёта, названы неинерциальными.

Такое кинематическое выделение класса инерциальных и неинерциальных систем отсчёта в современной физике является некорректным. Динамический аспект (движение материальной частицы по инерции относительно своего тела отсчёта при одновременном увлечении этой частицы в переносное движение данного тела отсчёта) введенных таким образом инерциальных систем отсчёта, упущен. Только в динамике, где проявляется такое свойство тел, как их инертность, может быть корректно введено понятие инерциальных и неинерциальных систем отсчёта. Поэтому введенные указанным выше кинематическим образом системы отсчета целесообразно называть кинематическими неускоренными и кинематическими ускоренными системами отсчёта или, для сокращения, просто неускоренными и ускоренными системами отсчёта.

Динамические и кинематические, инерциальные и неинерциальные системы отсчёта согласно Ньютону

В соответствии с динамическим [4] принципом относительности Галилея-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*"

Согласно Ньютону, все системы отсчёта должны быть разделены на два класса - динамические и кинематические. Если рассматриваемая система материальных частиц движется вместе с системой отсчёта $\sum$, которая, в свою очередь, движется относительно абсолютной системы отсчёта $\sum^0$, то $\sum$ называется динамической системой отсчёта для данного процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении совместно с системой отсчёта $\sum'$, то последняя называется кинематической для данного процесса. Следует подчеркнуть относительность этих понятий: одна и та же система отсчёта для одних процессов может быть динамической, для других – кинематической.

Динамические системы отсчёта, в свою очередь, подразделяются на два класса – инерциальные и неинерциальные. Именно в динамике появляется понятие инерциальных систем отсчёта. Согласно экспериментально установленному динамическому [4] принципу относительности Галилея, системы отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно сферы удалённых звёзд, следовательно, и друг относительно друга, называются динамическими инерциальными системами отсчёта. В каждой из таких систем отсчёта, согласно эксперименту, физические законы не только механики, но и электродинамики, 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 системы отсчёта, которые движутся ускоренно относительно динамических инерциальных систем отсчёта, называются неинерциальными динамическими системами отсчёта.

Именно введенные таким динамическим 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 а) отсутствие основного уравнения динамики материальной точки в динамических неинерциальных системах отсчёта в механике и б) отсутствие электродинамических уравнений Максвелла в кинематических неускоренных, по отношению к инерциальным, системах отсчёта в электродинамике. Ниже дан вывод этих недостающих уравнений физики и решены приведенные выше примеры.

Основной закон динамики относительного движения материальной точки в динамических неинерциальных системах отсчёта

Общепринятым в современной физике является следующий вывод основного уравнения динамики относительного движения точки в ускоренных системах отсчёта. Записывается основное уравнение динамики точки в инерциальной системе отсчёта $\sum$, которая принимается за неподвижную

$$m\bar{a} = \sum \bar{F}_k . \qquad (1)$$

Движение этой же самой материальной точки рассматривается относительно другой, произвольно движущейся системы отсчёта $\sum'$. Применяя известные кинематические преобразования систем отсчёта,

$$\bar{r} = \bar{r}_{0'} + \bar{r}', \qquad t = t', \qquad (2)$$

из (1) получают основное уравнение динамики точки в системе отсчёта $\sum'$

$$m\bar{a}' = \sum \bar{F}_k + \bar{J}^{tr} + \bar{J}^{Cor}, \qquad (3)$$

где

$$\bar{J}^{tr} = -m\bar{a}^{tr}, \qquad (4)$$

$$\vec{J}^{Cor} = -m\bar{a}^{Cor}. \qquad (5)$$

Уравнение (3) является лишь другой формой записи уравнения (1). Появившиеся в уравнении (3) переносная $\bar{J}^{tr}$ и Кориолисова $\vec{J}^{Cor}$ силы инерции есть результат чисто математического преобразования. Поэтому эти “силы инерции”, не являясь результатом динамического взаимодействия, есть силы фиктивные, появляющиеся вследствие взаимного движения систем отсчёта.

Рассмотрим теперь случай динамической неинерциальной системы отсчёта $\sum'$. Основной закон относительного движения материальной точки в этом случае не может быть получен с помощью кинематического преобразования (2) систем отсчёта, так-так то тело отсчёта, с которым связана система отсчёта $\sum'$, динамически взаимодействует с данной материальной точкой. Этот закон должен быть получен непосредственно с помощью исходных принципов Ньютона.

Пусть относительно динамической инерциальной системы отсчёта $\sum$, принимаемой за неподвижную (например, система отсчёта, связанная с поверхностью Земли), движется другая динамическая инерциальная система отсчёта $\sum'$ (например, система отсчёта, связанная с кораблём), которая для рассматриваемой материальной точки является динамической (например, математический маятник с неподвижной точкой подвеса в трюме корабля). Движение этой точки в $\sum'$ описывается уравнением

$$m\bar{a}' = \sum \bar{F}_k. \qquad (6)$$

Сообщим этой динамической штрихованной системе отсчёта $\sum'$ произвольное движение относительно $\sum$. Материальная точка (математический маятник в трюме корабля), двигаясь относительно штрихованной системы отсчёта $\sum'$, участвует в ускоренном движении этой системы отсчёта по отношению к $\sum$. В таком случае, в направлении переносного и Кориолисового ускорений материальная точка взаимодействует с тем телом, с которым связана система отсчёта $\sum'$. Тогда в направлении переносного ускорения действует сила реакции $\bar{N}^{tr}$, а в направлении кориолисового ускорения действует сила реакции $\bar{N}^{Cor}$. Согласно второму закона Ньютона,

$$m\bar{a}^{tr} = \bar{N}^{tr}, \qquad (7)$$

$$m\bar{a}^{Cor} = \bar{N}^{Cor}. \qquad (8)$$

Складывая левые и правые части равенств (6), (7), (8), т. е. применяя принцип независимости действия сил классической механике Ньютона, получим

$$m\bar{a}' = \sum \bar{F}_k + \bar{N}^{tr} + \bar{N}^{Cor} + \bar{F}^{tr} + \bar{F}^{Cor}, \qquad (9)$$

где

$$\bar{F}^{tr} = -m\bar{a}^{tr}, \qquad (10)$$

$$\bar{F}^{Cor} = -m\bar{a}^{Cor}. \qquad (11)$$

Уравнение (3) движения материальной точки в кинематической ускоренной системе отсчёта принципиально отличается от уравнения (9) в динамической неинерциальной системе отсчёта. Во-первых, уравнение (3) получено в результате формально-математичского преобразования систем отсчёта, в то время как уравнение (9) доказано на основании исходных принципов механики Ньютона. Во-вторых, в (3) переносная и Кориолисова силы инерции является кинематическими или фиктивными, тогда как в (9) переносная и Кориолисова силы инерции являются динамическими или реальными, обусловленными соответствующими силами реакций $\bar{N}^{tr}$ и $\bar{N}^{Cor}$.

Заметим, что, несмотря на выполнение математических равенств (7), (8), взаимно противоположные физические силы N^{tr}, $\overline{F}^{tr}$, и $\overline{N}^{Cor}$, $\overline{F}^{Cor}$ в уравнении (9) не компенсируются, так как силы реакции N^{tr} и $\overline{N}^{Cor}$ являются поверхностными силами, в то время, как $\overline{F}^{tr}$ и $\overline{F}^{Cor}$ являются силами объёмными.

Пример 1. Рассмотреть затухающие линейные колебания математического маятника в системе отсчёта $O'x'y'$ (тележки), которая движется поступательно относительно неподвижной системы отсчёта Oxy поверхности Земли (лабораторной) с ускорением $\overline{q}$. Точка подвеса маятника и среда сопротивления неподвижны в лабораторной системе отсчёта.

Решение.

С известной точностью, лабораторную систему отсчёта принимаем за неподвижную. Считаем, что в начальный момент времени начала неподвижной и подвижной штрихованной систем отсчёта совпадают с точкой подвеса маятника и их оси параллельны. Движение штрихованной системы отсчёта происходит в положительном направлении оси x. В этом случае маятник не принимает участия в движении штрихованной системы отсчёта, поэтому эта система отсчёта для него является кинематической. Тогда основное уравнение динамики (3) груза маятника принимает вид

$$m\overline{a}' = \overline{P} + \overline{T} + \overline{R} + \overline{J}^{tr} \qquad (12)$$

где $\overline{P}, \overline{T}, \overline{R}, \overline{J}^{tr}$, соответственно сила тяжести груза, сила реакции нити, сила сопротивления среды и переносная фиктивная сила инерции груза.

В силу кинематического преобразования

$$\overline{r} = \frac{1}{2}\overline{q}t^2 + \overline{r}', \qquad t = t' \qquad (13)$$

получим

$$\overline{R} = -\mu\overline{v} = -\mu(\overline{q}t + \overline{v}'), \qquad \overline{J}^{tr} = -m\overline{q} \qquad (14)$$

Проектируя (12) на направление касательной к траектории груза маятника в неподвижной системе отсчёта, с учётом соотношений $v'_\tau = v_\tau - q_\tau t$, $a'_\tau = a_\tau - q_\tau$, и принимая во внимание, что в силу преобразования (13) $\varphi = \varphi'$, получим уравнение колебаний маятника в штрихованной системе отсчёта.

$$\ddot{\varphi}' + 2n\dot{\varphi}' + k_1^{\,2}\varphi' = 0 \qquad (15)$$

Тогда

$$\varphi' = e^{-nt}\left(C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t\right), \qquad (16)$$

$$x' = l\sin\varphi' - \frac{qt^2}{2}, \quad y' = l\cos\varphi', \qquad (17)$$

$$T = ml\dot{\varphi}'^2 + P\cos\varphi'. \qquad (18)$$

Таким образом, из штрихованной системы отсчёта видны те же колебания маятника, что и из неподвижной системы отсчёта, но удаляющиеся с ускорением q в отрицательном направлении оси x

Пример 2. Рассмотреть затухающие линейные колебания математического маятника в системе отсчёта $O'x'y'$ (тележки), которая движется поступательно относительно неподвижной системы отсчёта Oxy поверхности Земли (лабораторной) с ускорением $\overline{q}$. Точка подвеса маятника и среда сопротивления неподвижны в системе отсчёта $O'x'y'$ тележки.

Решение.

Система отсчёта $O'x'y'$ является для маятника динамической неинерциальной. Основное уравнение динамики точки (9) в этом случае принимает вид

$$m\overline{a}' = \overline{P} + \overline{T} + \overline{R} + \overline{T}' + \overline{F}^{tr} \qquad (19)$$

здесь $\overline{T}'$ – та часть силы реакции нити, которая обеспечивает перемещение груза маятника вместе с тележкой с ускорением $\overline{q}$, в силу чего возникает реальная, физическая переносная сила инерции

$$\overline{F}^{tr} = -mq \qquad (20)$$

Вводя полную силу реакции нити маятника

$$\overline{T}* = \overline{T} + \overline{T}' \qquad (21)$$

перепишем уравнение (19) в виде

$$m\overline{a}' = \overline{P} + \overline{T}^* + \overline{R} + \overline{F}^{tr} \qquad (22)$$

Проектируя (22) на направление касательной к траектории груза маятника в штрихованной системе отсчёта, получим дифференциальное уравнение колебаний маятника

$$\ddot{\varphi}' + 2n\dot{\varphi}' + k_1{}^2\varphi' = -ql^{-1} \qquad (23)$$

решая которое, находим

$$\varphi' = e^{-nt}\left(C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t\right) - \frac{q}{lk_1{}^2}, \qquad (24)$$

$$x' = l\sin\varphi'; \quad y' = l\cos\varphi', \qquad (25)$$

$$T* = ml\dot{\varphi}'^2 + P\cos\varphi' - mq\sin\varphi'. \qquad (26)$$

Сравнение решения приведенных двух задач о колебаниях маятника в кинематической ускоренной и динамической неинерциальной системах отсчёта выявляет их принципиальное различие. Во-первых, в динамической ускоренной системе отсчёта возникла дополнительная сила реакции нити T', приложенная к грузу маятника. Во-вторых, в динамической ускоренной системе отсчёта переносная сила инерции $\overline{F}^{tr}$ является физической или реальной, которая привела к отклонению местной вертикали в системе отсчёта тележки на угол $\varphi_0 = -\frac{q}{lk_1^2}$ и проявляется она также как сила противодействия со стороны нити маятника на его точку подвеса.

Уравнения Максвелла в кинематических неускоренных системах отсчёта

Уравнения Максвелла в вакууме для электрического заряда плотности ρ_e^0, движущегося со скоростью $\overline{v}^0$ относительно абсолютной системы отсчёта $\sum^0$, имеют вид

$$div\,\overline{E}^0 = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e^0, \qquad (27)$$

$$rot\,\overline{E}^0 = -\frac{\partial B^0}{\partial t^0}, \qquad (28)$$

$$div\,\overline{B}^0 = 0, \qquad (29)$$

$$rot\,\overline{B}^0 = \mu_0\rho_e^0\overline{v}^0 + \frac{1}{c^2}\frac{\partial\overline{E}^0}{\partial t^0}, \qquad (30)$$

где ε_0, μ_0 - электрическая и магнитная постоянная, т. е.

$$\varepsilon_0 = const, \quad \mu_0 = const, \quad c = (\varepsilon_0 \mu_0)^{-1/2} = const, \qquad 31)$$

c - скорость распространения фронта электромагнитной волны (света) в $\sum^0$.

Пусть заряд ρ_e, движется вместе с некоторой инерциальной системой отсчёта $\sum$ и, одновременно, относительно этой системы отсчёта со скоростью $\bar{v}$, т. е., по отношению к рассматриваемому процессу, $\sum$ является динамической ИСО. В этом случае, согласно динамическому принципу относительности Галилея, уравнения Максвелла в ИСО $\sum$ имеют тот же вид, что и в $\sum^0$

$$div\,\bar{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e, \qquad (32)$$

$$rot\,\bar{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}, \qquad (33)$$

$$div\,\bar{B} = 0, \qquad (34)$$

$$rot\,\bar{B} = \mu_0 \rho_e \bar{v} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \qquad (35)$$

с теми же значениями констант согласно (31). Физический смысл константы c при этом остаётся тем же – это скорость света относительно $\sum^0$, которая, согласно эксперименту, не зависти от того, покоится или движется относительно $\sum^0$ источник света. Это является следствием того факта, что фотон не имеет массы покоя, поэтому первый закон Ньютона, закон инерции, к нему не применим. Фотон, в отличие от материальной частицы, не сохраняет скорости движения своего источника.

В теории движущихся зарядов возникла и другая задача: необходимо описать в кинематической неускоренной системе отсчёта $\sum'$ поле заряда ρ_e, движение которого задано в динамической ИСО $\sum$. При этом, $\sum'$ движется относительно ИСО $\sum$ со скоростью $\bar{u} = const$. Чтобы описать в $\sum'$ процесс, который происходит в ИСО $\sum$, применим кинематическое преобразование Галилея

$$\bar{r} = \bar{r}' + \bar{u}t, \qquad t = t' \qquad (36)$$

к системе уравнений (32-25).

Выведем некоторые вспомогательные соотношения. Применив к функции $f(\bar{r}, t)$ преобразования Галилея (36), получим

$$f(\bar{r}, t) = f(\bar{r}' + \bar{u}t', t') = f'(r', t'). \qquad (37)$$

Далее находим

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial f'}{\partial t'}\frac{\partial t'}{\partial t} + \frac{\partial f'}{\partial \bar{r}'}\frac{\partial \bar{r}'}{\partial t}. \qquad (38)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} = \frac{\partial f'}{\partial \bar{r}'}\frac{\partial \bar{r}'}{\partial \bar{r}}. \qquad (39)$$

Принимая также во внимание, что

$$\frac{\partial t'}{\partial t} = 1, \quad \frac{\partial r'}{\partial t} = -\bar{u}, \quad \frac{\partial \bar{r}'}{\partial \bar{r}} = \delta, (\delta_{ij} = 1, i = j; \ \delta_{ij} = 0, i \neq j), \qquad (40)$$

из (38) и (39) получаем следующие соотношения между операторами в штрихованной и не штрихованной системах отсчёта

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}\overline{\nabla}', \quad \overline{\nabla} = \overline{\nabla}'. \tag{41}$$

С учётом (41), уравнения Максвелла (32-35), после применения к ним кинематического преобразования Галилея, принимают следующий вид в неускоренной системе отсчёта $\sum'$

$$div\overline{E}' = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e, \tag{42}$$

$$rot\,\overline{E}' == -(\frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}\overline{\nabla}')\overline{B}', \tag{43}$$

$$div\,\overline{B}' = 0, \tag{44}$$

$$rot\,\overline{B}' = \mu_0\rho_e(\overline{u} + \overline{v}') + \frac{1}{c^2}(\frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}\overline{\nabla}')\overline{E}', \tag{45}$$

опять таки, с теми же значениями констант согласно (31). Выделим в последней системе уравнений члены, обуславливающие неинвариантность уравнений Максвелла относительно преобразований Галилея

$$div\overline{E}' = \frac{1}{\mu_0}\rho_e, \tag{46}$$

$$rot\,\overline{E}' == -\frac{\partial}{\partial t'}B' + \left[(u\nabla')\overline{B}'\right], \tag{47}$$

$$div\,\overline{B}' = 0, \tag{48}$$

$$rot\,\overline{B}' = \mu_0\rho_e\overline{v}' + \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t'}E' + \left[\mu_0\rho_e\overline{u} - \frac{1}{c^2}\left(\overline{u}\overline{\nabla}'\right)\overline{E}'\right]. \tag{49}$$

Как и следовало ожидать, неинвариантность обусловлена конвективным током и конвективной производной от векторов поля – члены в квадратных скобках.

<u>Пример.</u> Электрический заряд q' покоится в начале штрихованной ИСО $\sum'(x', y', z', t')$ движущегося трамвая, а заряд q покоится в начале нештрихованной ИСО $\sum(x, y, z, t)$ движущейся Земли. При этом, штрихованная система отсчёта движется вместе с нештрихованной и одновременно относительно неё со скоростью $\overline{u}$ в положительном направлении оси x. Найти поля этих зарядов в каждой из систем отсчёта.

а) Поле заряда q' в ИСО $\sum'$. $\sum'$ является для заряда q' динамической ИСО, поэтому следует применить систему уравнений Максвелла (32-35). В результате находим скалярный и векторный потенциалы

$$\phi' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q'}{r'}, \qquad \overline{A}' = 0. \tag{50}$$

б) Поле заряда q в ИСО $\sum$. Этот случай аналогичен предыдущему, т. е. $\sum$ является для заряда q динамической ИСО, поэтому следует применить систему уравнений Максвелла (32-35). В результате находим скалярный и векторный потенциалы

$$\phi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}, \qquad \overline{A} = 0. \tag{51}$$

в) Поле заряда q' в ИСО $\sum$. Заряд q' движется вместе с системой отсчёта $\sum$ и одновременно относительно неё со скоростью $\overline{v} = \overline{u}$. Следовательно, $\sum$ является для заряда q' динамической

ИСО, поэтому необходимо применить систему уравнений Максвелла (32-35). Применяя для решения этой системы уравнений предложенный Хевисайдом [5] и мощно развитый проф. Ефименко [6] метод запаздывающих интегралов, находим

$$\phi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q'}{\left[(x-ut)^2 + (1-\frac{u^2}{c^2})(y^2+z^2)\right]^{1/2}}, \qquad (52)$$

$$\overline{A} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q'\overline{v}}{c^2\left[(x-ut)^2 + (1-\frac{u^2}{c^2})(y^2+z^2)\right]^{1/2}}. \qquad (53)$$

г). Поле заряда q в $\sum'$. Заряд q не движется вместе с системой отсчёта $\sum'$, но относительно неё он движется со скоростью $\overline{v}' = -\overline{u}$. Следовательно, $\sum'$ является для заряда q кинематической, поэтому необходимо применить систему уравнений (42-45), которая в этом случае, принимает вид

$$div\overline{E}' = \frac{1}{\varepsilon_0} q\delta(x'-ut), \qquad (54)$$

$$rot\,\overline{E}' = 0, \qquad (55)$$

$$div\,\overline{B}' = 0, \qquad (56)$$

$$rot\,\overline{B}' = 0. \qquad (57)$$

Здесь учтено, что, так как поле заряда q в системе $\sum$ стационарно, то

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}\overline{\nabla}' = 0 \qquad (58)$$

и, кроме того, $\overline{u} + \overline{v}' = 0$. Из системы уравнений (54-57) находим

$$\phi' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\left[(x'+ut)^2 + y'^2 + z'^2\right]^{1/2}}, \qquad \overline{A}' = 0. \qquad (59)$$

Из (59) следует: а) эквипотенциальные поверхности

$$\left[(x'+ut)^2 + y'^2 + z'^2\right] = const \qquad (60)$$

заряда q в кинематической системе отсчёта $\sum'$ есть сферические поверхности, движущиеся вместе с этим зарядом в отрицательном направлении оси x'; б) конвективный ток, обусловленный движением кинематической системой отсчёта $\sum'$, магнитного поля не создаёт. Оба этих вывода согласуются с экспериментом и теорией Вильхльма. Следует отметить существенный вклад проф. Х. Вильхельма ([7] и др.) в создание Галилей-ковариантной теории электродинамики движущихся тел в абсолютном пространстве-времени.

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 $\sum$, которая, в свою очередь, движется относительно абсолютной системы отсчёта $\sum^0$, то $\sum$ называется динамической системой отсчёта для данного процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном

движении вместе с системой отсчёта $\sum$, 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 (АСО), 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 системами отсчёта. Следовательно, все неинерциальные системы отсчёта движутся ускоренно относительно о сферы удалённых звёзд (АСО).

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. Уравнение движения физического процесса в кинематической системе отсчёта всегда содержит скорость её движения относительно другой системы отсчёта, так что в разных кинематических системах отсчёта один и тот же закон формулируется и записывается неодинаково.

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии.– М.: Наука, 1989.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц. Курс теоретической физики. Т.1. Механика. – М.: Наука, 1973.
3. Китель Ч., Найт У., Рудерман М. Берклеевский курс физики. Т.1. Механика. – М.: Наука, 1975.
4. Potjekhin A. F. // Hadronic Journal Supplement. – 1999. – 14. – P. 297-313.
5. Heavicide O. //, The Electrician. – 1893. – 31. – P. 281-282.
6. O. D. Jefimenko, Electromagnetic Retardation and Theory Relativity. – West Virginia.: Star City, 1997
7. Wilhelm H. E. // Hadronic Journal Supplement. – 1996. – 19. – P. 1-39

****

The journal “Annalen der Physik”

From: Anatoliy Potjekhin [mailto:a_potjekhin@osmu.odessa.ua]
Sent: Mittwoch, 30. Januar 2008 12:18
To: Kramer
Cc: eckern@physik.uni-augsburg.de
Subject: Re[4]: Potjekhin A.F, Odessa, Ukraine

Hello Kramer,

Dear Editor, Prof. Dr. Bernhard Kramer,
(Cc: 'eckern@physik.uni-augsburg.de)

You teach all standard lectures in theoretical physics including
" Theoretical Mechanics
" Electrodynamics
" Theoretical Physics for teachers

So, You can understand the great Meaning of this my article CLASSIFICATION OF THE REFERENCE SYSTEMS IN PHYSICS.

I suppose, you recommend to publish this article in the Journal "Annalen der Physik"

Please, tell me that you had received and well opened this article.

Best wishes,
Prof. Potjekhin A.F.
****

From: Kramer <B.Kramer@jacobs-university.de>
To: 'Anatoliy Potjekhin' <a_potjekhin@osmu.odessa.ua>
Date: Monday, February 4, 2008, 4:21:48 PM
Subject: Potjekhin A.F, Odessa, Ukraine
Files: <none>
--====----====----====----====----====----====----====----====----====----====--

Dear Dr. Potjekhin,
I received your article which has now the ref number kr200801.
Best wishes
Bernhard Kramer

****

From: Kramer <B.Kramer@jacobs-university.de>
To: 'Anatoliy Potjekhin' <a_potjekhin@osmu.odessa.ua>
Date: Tuesday, March 4, 2008, 2:39:25 PM
Subject: Potjekhin A.F, Odessa, Ukraine
Files: <none>
--====----====----====----====----====----====----====----====----====----====--

Dear Dr. Potjekhin,

Thank you for sending your article on "Classification of the reference systems in physics" for publication in the Annalen der Physik.

Unfortunately, we cannot accept the paper. Its contents should much better fit the scope of other - possibly much more pedagogically oriented Journals. Therefore, we suggest that you send the paper to a more suitable journal for publication.

Best wishes
Bernhard Kramer

****

Материалы IY Всеукраинской научно-технической конференции
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ И ХИМИИ
Севастополь (Украина), 21-26 апреля 2008г.

УД К: 530.11
А.Ф.Потехин
Одесский национальный морской университет
ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029
a_potjekhin@osmu.odessa.ua

КОВАРИАНТНОСТЬ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ КАК АНАЛОГ ПРИНЦИПА ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ-НЬЮТОНА

Все движущиеся друг относительно друга системы отсчёта подразделяются на два класса – динамические и кинематические [1]. Если рассматриваемая система материальных частиц движется вместе с системой отсчёта $\sum$, то $\sum$ будет динамической для данного процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении вместе с системой отсчёта $\sum'$, то $\sum'$ будет кинематической для данного процесса.

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. В каждой из таких систем отсчёта, согласно экспериментальному принципу Галилея-Ньютона, физические законы формулируются и записываются одинаково с точностью до обозначения координат и времени. Уравнения движения физических процессов в инерциальных системах отсчёта $\sum$ никогда не содержат скорость их движения относительно других систем отсчёта. Динамические системы отсчёта, которые движутся ускоренно относительно инерциальных систем отсчёта, следовательно, и относительно сферы удалённых звёзд, называются неинерциальными.

Подразделение кинематических систем отсчёта на неускоренные и ускоренные условно, любая из них может быть принята за неподвижную. Если уравнение движения некоторого процесса относительно одной из систем отсчёта (исходной) известно, то уравнение движения этого же процесса относительно другой, кинематической для данного процесса, системы отсчёта получается преобразованием систем отсчёта. При этом вид данного преобразования определяется исходной гипотезой о кинематике – преобразование Галилея, Лоренца и пр. Уравнения движения одного и того же физического процесса в кинематических системах отсчёта $\sum'$ всегда содержит скорость их движения относительно исходной системы отсчёта.

Рассматривается и объясняется волновой эффект Доплера в средах с позиции приведенной выше классификации систем отсчёта в рамках классической (нерелятивистской) физики. Даётся обоснование ковариантности уравнения движения одного и того же процесса в кинематических системах отсчёта. Система отсчёта, в которой среда покоится, является инерциальной для происходящих в ней процессов, и в этом случае эффект Доплера несимметричен относительно движения источника или приёмника. Системы отсчёта, относительно которых среда движется, являются кинематическими для происходящих в этой среде процессов. Показано, что оптический эффект Доплера в этом случае симметричен относительно движения источника и приёмника, аналогично тому, как это имеет место в релятивистской механике.

Динамические инерциальные системы отсчёта равноправны в том смысле, что идентичные физические процессы в каждой из них протекают и описываются одинаково. Кинематические системы отсчёта равноправны в том смысле, что уравнения движения одного и того же процесса в них ковариантно относительно их взаимного преобразования, причём это преобразование обладает групповыми свойствами.

Библиографический список

1. Потехин А. Ф. К вопросу о принципе эквивалентности в ОТО Эйнштейна (англ). // Тез. докл. на международной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения Георгия Гамова «Astrophysics and Cosmology after Gamov – Theory and Observations», Одесса 8-14 августа 2004г. – Одесса: Астропринт, 2004. – С. 126.

CONFERENCE PROCEEDINGS
12-th International Conference of Mathematical Methods in Electromagnetic Theory
June 29 – July 02, 2008, Odesa, Ukraine

Оригинал статьи на англ.

ПОЛЕВЫЕ УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА ГАЛИЛЕЙ-КОВАРИАНТНЫ ВО ВСЕХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОТСЧЁТА

А. Потехин
Одесский национальный морской университет
Ул. Мечникова, 34, 65029, Одесса, Украина

Аннотация

Вводятся понятия о динамических и кинематических системах отсчёта [1], [2]. Получены полевые уравнения Максвелла в кинематических неускоренных (по отношению к инерциальным) системах отсчёта. Показано, что уравнения Максвелла, записанные в инерциальных системах отсчёта, не ковариантны относительно преобразований Галилея. Но эти уравнения Галилей-ковариантны во всех кинематических систем отсчёта.

О КЛАССИФИКАЦИИ СИСТЕМ ОТСЧЁТА В ФИЗИКЕ

Согласно Ньютону все подвижные системы отсчёта разделяются на два класса – динамические и кинематические [1], [2]. Если рассматриваемая система материальных частиц движется совместно с системой отсчёта $\sum$, которая, в свою очередь, движется относительно сферы удалённых звёзд, тогда $\sum$ является динамической системой отсчёта для данного процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении совместно с системой отсчёта $\sum'$, тогда она является кинематической системой отсчёта для данного процесса. Необходимо отметить относительность этих понятий: одна и та же система отсчёта для одних процессов может быть динамической, для других – кинематической.

Динамические системы отсчёта, в свою очередь, подразделяются на два класса – инерциальные и неинерциальные. Только в динамике появляется понятие инерциальных систем отсчёта. Динамические системы отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно сферы удалённых звёзд, следовательно, и друг относительно друга, являются инерциальными системами отсчёта. В каждой из таких динамических инерциальных систем отсчёта согласно экспериментально установленному динамическому принципу относительности Галилея-Ньютона, физические законы не только механики, но и электродинамики наблюдаются и описываются одинаково с точностью до обозначения координат. Уравнения движения физических процессов в динамических инерциальных системах отсчёта никогда не содержат скорости их движения относительно других систем отсчёта. Динамические системы отсчёта, которые движутся с ускорением относительно динамических инерциальных систем отсчёта, являются неинерциальными динамическими системами отсчёта.

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 Лоренца [3] или преобразованием Галилея. Уравнение движения физического процесса в кинематической системе отсчёта всегда содержит скорость её движения относительно другой системы отсчёта.

ПОЛЕВЫЕ УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА В ДИНАМИЧЕСКИХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОТСЧЁТА

Полевые уравнения Максвелла в некоторой инерциальной системе $\sum$ отсчёта имеют вид

$$div\,\overline{E} = 0 \tag{1}$$

$$rot\,\overline{E} = -\frac{\partial \overline{B}}{\partial t}, \tag{2}$$

$$div\,\overline{B} = 0, \tag{3}$$

$$rot\,\overline{B} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial \overline{E}}{\partial t} \tag{4}$$

Согласно динамическому принципу Галилея-Ньютона, в другой инерциальной системе отсчёт $\sum *$ уравнения Максвелла имеют тот же вид

$$div\,\overline{E}* = 0 \tag{5}$$

$$rot\,\overline{E}* = -\frac{\partial \overline{B}*}{\partial t}, \tag{6}$$

$$div\,\overline{B}* = 0, \tag{7}$$

$$rot\,\overline{B}* = \frac{1}{c^2}\frac{\partial \overline{E}*}{\partial t} \tag{8}$$

В электродинамической теории возникла и другая задача: необходимо описать поле (1) - (4) в кинематической неускоренной системе отсчёта. $\sum'$. При этом, $\sum'$ движется относительно ИСО $\sum$ со скоростью $\overline{u}' = const$. Чтобы описать в $\sum'$ процесс, который происходит в ИСО $\sum$, применим кинематическое преобразование Галилея

$$\overline{r} = \overline{r}' + \overline{u}'t, \qquad t = t' \tag{9}$$

к системе уравнений (1)-(4).

Выведем некоторые вспомогательные соотношения. Применив преобразования Галилея (9) к функции $f(\overline{r},t)$, получим

$$f(\overline{r},t) = f(\overline{r}' + \overline{u}'t',t') = f'(r',t') \tag{10}$$

Далее находим

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial f'}{\partial t'}\frac{\partial t'}{\partial t} + \frac{\partial f'}{\partial \overline{r}'}\frac{\partial \overline{r}'}{\partial t}, \tag{11}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \overline{r}} = \frac{\partial f'}{\partial \overline{r}'}\frac{\partial \overline{r}'}{\partial \overline{r}}. \tag{12}$$

Принимая также во внимание, что

$$\frac{\partial t'}{\partial t} = 1, \quad \frac{\partial r'}{\partial t} = -\overline{u}', \quad \frac{\partial \overline{r}'}{\partial \overline{r}} = \delta, \ (\delta_{ij} = 1, i = j; \ \delta_{ij} = 0, i \neq j) \tag{13}$$

из (11) и (12) получим следующие соотношения между операторами в штрихованной и не штрихованной системах отсчёта

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}'\overline{\nabla}', \quad \overline{\nabla} = \overline{\nabla}'. \tag{14}$$

С учётом (14), уравнения Максвелла (1)-(4), после применения к ним преобразования Галилея, принимают следующий вид в системе отсчёта $\sum'$

$$div\overline{E}' = 0, \tag{15}$$

$$rot\,\overline{E}' == -\frac{\partial}{\partial t'}\overline{B}' + \left[(\overline{u}'\overline{\nabla})\overline{B}'\right], \tag{16}$$

$$div\,\overline{B}' = 0, \tag{17}$$

$$rot\,\overline{B}' = \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t'}\overline{E}' - \left[\frac{1}{c^2}(\overline{u}'\overline{\nabla})\overline{E}'\right]. \tag{18}$$

Как и следовало ожидать, нековариантность уравнений Максвелла (1)-(4) и (15)-(18) обусловлена конвективным током и конвективной производной от векторов поля – члены в квадратных скобках.

В кинематических системах отсчёта существует математический (теоретический) принцип, аналогичный физическому (экспериментальному) принципу относительности Галилея-Ньютона в инерциальных системах отсчёта. Этот математический принцип формулируется так: “Уравнения движения некоторого процесса во всех кинематических системах отчёта ковариантны относительно некоторого преобразования этих систем отсчёта, причём данное преобразование образует группу”.

Пусть $O''x''y'z''$ будет другой кинематической системой отсчёта. Тогда, согласно преобразованию Галилея,

$$\overline{r} = \overline{u}''t + \overline{r}'' \quad t = t'' \tag{19}$$

и уравнения (1)- (4) в $O''x''y''z''$ принимают вид

$$div\overline{E}'' = 0, \tag{20}$$

$$rot\,\overline{E}'' == -\frac{\partial}{\partial t'}\overline{B}'' + \left[(\overline{u}''\overline{\nabla})\overline{B}''\right], \tag{21}$$

$$div\,\overline{B}' = 0, \tag{22}$$

$$rot\,\overline{B}'' = \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t'}\overline{E}'' - \left[\frac{1}{c^2}(\overline{u}''\overline{\nabla})\overline{E}''\right]. \tag{23}$$

где $\overline{u}'' = const$ - скорость движения системы отсчёта $O''x''y'z''$ относительно $Oxyz$.

Преобразование Галилея

$$r' = \mathrm{v}t + r'', \quad t' = t'' = t, \tag{24}$$

где v - относительная скорость систем отсчёта $O'x'y'z'$ and $O''x''y'z''$,

$$\mathrm{v} = u'' - u' \tag{25}$$

приводит уравнения (15)- (18) к уравнениям (20)- (23),, что подтверждает групповые свойства преобразования Галилея.

Мы пришли к выводу, что в электродинамике, как и в механике:

а) Динамические инерциальные системы отсчёта равноправны в том смысле, что идентичные физические процессы в каждой из них протекают и описываются одинаково.

б) Кинематические системы отсчёта равноправны в том смысле, что уравнения движения одного и того же процесса в них ковариантны относительно их взаимного преобразования, причём это преобразование обладает групповыми свойствами.

Ссылки

[1.] A. F. Potjekhin, “To the Question of the Principle of Equivalence in the Einstein’s GTR”, in *Gamow Memorial International Conference Dedicated to 100-th Anniversary of Georg Gamow «Astrophysics and Cosmology after Gamow – Theory and Observations», Odessa, August 8-14, 2004,* Odessa, Astroprint, 2004, pg. 126.

[2.] 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

[3.] А. Эйнштейн Собрание научных трудов, I, Наука, М., 1965, pp. 7-35.

Пленарный доклад на II Всеукраинской конференции «Актуальные проблемы физики»
20-23 октября 2008, Кременчуг-Луганск (Украина)

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 трёмя 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 ($\bar{v} = \overline{const}$) 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 СО. 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 $\sum$

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

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 $\sum$ 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

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

то есть

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

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 $\sum$ 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 посылках - 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 механика 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 пространства 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 $\sum$, которая, в свою очередь, движется относительно Гелиоцентрической системы отсчёта $\sum^0$, то $\sum$ называется динамической системой отсчёта для данного процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении совместно с системой отсчёта $\sum'$, 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 выявилось, 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 систем 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» (Випуск 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 $\sum$, которая, в свою очередь, движется относительно Гелиоцентрической системы отсчёта $\sum^0$, то $\sum$ называется динамической системой отсчёта для данного процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении вместе с системой отсчёта $\sum$, 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.

<u>Приложение к докладу (задачи)</u>

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, стремиться 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. IY. – 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 ω – угловая скорость вращения корпуса корабля. Эта сила инерции заставит все <u>незакреплённые</u> 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 <u>незакреплённые</u> 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 приемник. 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 поля 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 XYII Международных чтений “Великие преобразователи естествознания: А. Пуанкаре” – Минск, 2001. – С. 91 – 94.
4. Потєхін 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 (MMET*08). – Odessa, 2008. – P. 256-258
8. Потехин А. Ф. Ковариантность уравнений движения как аналог принципа относительности Галилея-Ньютона. // Материалы IY 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.

ВІСНИК
Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського
Випуск 5/2008 (52). Частина 1

УДК: 530.11+530.12

О КЛАССИФИКАЦИИ СИСТЕМ ОТСЧЁТА В КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ НЬЮТОНА-МАКСВЕЛЛА

Потехин А.Ф., к.т.н., проф.
Одесский Национальный морской университет
Ул. Мечникова, 34, Одесса, Украина, 65029.
a_potjekhin@osmu.odessa.ua

Выведены недостающие в современной физике основное уравнение динамики материальной точки в динамических неинерциальных системах отсчёта в механике, а также электродинамические уравнения Максвелла в кинематических неускоренных (по отношению к инерциальным) системах отсчёта в электродинамике. Обоснован эффект Доплера для электромагнитной волны в кинематических системах отсчёта. Показано, что все инерциальные системы отсчёта идентичны по динамическому принципу относительности Галилея-Ньютона, а все кинематические системы отсчёта идентичны относительно преобразования Галилея.

Ключевые слова: системы отсчёта кинематические, динамические, инерциальные, неинерциальные, эффект Доплера.

Введение

Анализ понятийного аппарата фундаментальной теории представляет собой важную проблему, решение которой может способствовать дальнейшему развитию самой этой теории. Рассмотрим в этом контексте понятие о системах отсчёта в физике и их классификацию.

Цель работы. В современной физике принята классификация систем отсчёта по кинематическому признаку [1], [2] и др. Вначале, по определению, вводится понятие системы отсчёта – это система координат, связанная с телом отсчёта и служащая для указания положения частиц в пространстве, вместе со связанной с этой системой часами, служащими для указания времени. Затем фиксируется одна из систем отсчёта, относительно которой выполняется первый закон Ньютона, закон инерции, то есть, относительно которой изолированная материальная точка движется равномерно и прямолинейно. Но поскольку величина массы этой материальной точки в первом законе Ньютона при этом во внимание не принимается, то по существу, фиксируется система отсчёта, относительно которой геометрическая точка движется равномерно и прямолинейно. Далее, с помощью кинематических преобразований Галилея, доказывается теорема: если геометрическая точка движется равномерно и прямолинейно относительно одной из систем отсчёта, то существует и бесчисленное множество систем отсчёта, относительно которых эта же геометрическая точка будет двигаться равномерно и прямолинейно. Все такие системы отсчёта, движущиеся друг относительно друга поступательно, равномерно и прямолинейно, называются инерциальными. Системы отсчёта, которые движутся ускоренно относительно определённых таким образом инерциальных систем отсчёта, называются неинерциальными. Однако, динамический аспект (движение материальной частицы по инерции относительно своего тела отсчёта при одновременном увлечении этой частицы в переносное движение данного тела отсчёта) введенных таким образом инерциальных систем отсчёта упущен.

Совершенно иной подход к классификации систем отсчёта у Ньютона [3] основоположника 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? Ответ на этот вопрос, т. е. ответ на вопрос выбора систем отсчёта в динамике, данный Ньютоном, проясняет как основы классической физики Ньютона-Максвелла, так и те трудности и противоречия, с которыми столкнулась современная физика [4]-[11], в которой проигнорированы динамические аспекты при классификации систем отсчёта.

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 $\sum$, которая, в свою очередь, движется относительно базовой, Гелиоцентрической системы отсчёта $\sum^0$, то $\sum$ называется динамической системой отсчёта для данного

процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении совместно с системой отсчёта $\sum'$, 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 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. Динамические, для данной совокупности тел, системы отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно сферы удалённых звёзд, следовательно, и друг относительно друга, называются инерциальными системами отсчёта для этой совокупности тел. В каждой из таких систем отсчёта, согласно динамическому принципу относительности Галилея, физические законы формулируются и записываются одинаково. В уравнения движения физических процессов в инерциальных системах отсчёта никогда не входит скорость их движения относительно других систем отсчёта. Динамические, для данной совокупности тел, системы отсчёта, которые движутся ускоренно относительно инерциальных систем отсчёта, являются неинерциальными системами отсчёта для этой совокупности тел.

В связи с классификацией систем отсчёта в современной физике по кинематическому признаку, оставались незамеченными: а) отсутствие основного уравнения динамики материальной точки в динамических неинерциальных системах отсчёта в механике; б) отсутствие уравнений электродинамики в кинематических неускоренных системах отсчёта; в) ковариантность законов классической физики относительно преобразования Галилея в кинематических системах отсчёта.

Основной закон динамики материальной точки в неинерциальных системах отсчёта

Общепринятым в современной физике является следующий вывод основного уравнения динамики относительного движения материальной точки в ускоренных системах отсчёта. Записывается основное уравнение динамики точки в инерциальной системе отсчёта $\sum$, которая принимается за неподвижную

$$m\bar{a} = \sum \bar{F}_k \qquad (1)$$

Движение этой же самой материальной точки рассматривается относительно другой, произвольно движущейся системы отсчёта $\sum'$. Применяя кинематические преобразования систем отсчёта

$$\bar{r} = \bar{r}_{0'} + \bar{r}', \qquad t = t', \qquad (2)$$

из (1) получают основное уравнение динамики точки в системе отсчёта $\sum'$

$$m\bar{a}' = \sum \bar{F}_k + \bar{J}^{tr} + \bar{J}^{Cor}, \qquad (3)$$

где

$$\bar{J}^{tr} = -m\bar{a}^{tr}, \qquad (4)$$

$$\overset{\cup}{J}{}^{Cor} = -m\bar{a}^{Cor}. \qquad (5)$$

Уравнение (3) является лишь другой формой записи уравнения (1). Появившиеся в уравнении (3) переносная $\bar{J}^{tr}$ и кориолисова $\overset{\cup}{J}{}^{Cor}$ силы инерции есть результат чисто математического преобразования. Поэтому эти “силы инерции”, не являясь результатом динамического взаимодействия, есть силы фиктивные, появляющиеся лишь вследствие взаимного движения систем отсчёта.

Рассмотрим теперь случай динамической неинерциальной системы отсчёта $\sum'$. Основной закон относительного движения материальной точки в этом случае не может быть получен с помощью кинематического преобразования (2) систем отсчёта, так-так то тело отсчёта, с которым связана система отсчёта $\sum'$, динамически взаимодействует с данной материальной точкой. Этот закон должен быть получен непосредственно с помощью исходных принципов Ньютона.

Пусть относительно динамической инерциальной системы отсчёта $\sum$, принимаемой за неподвижную (например, система отсчёта, связанная с поверхностью Земли), движется другая система отсчёта $\sum'$ (например, система отсчёта, связанная с кораблём), которая является динамической инерциальной, например, для математического маятника с неподвижной точкой подвеса в трюме корабля. Движение этой точки в $\sum'$, согласно динамическому принципу относительности Галилея, описывается таким же уравнением, как и уравнение (1) в $\sum$

$$m\bar{a}' = \sum \bar{F}_k \qquad (6)$$

Сообщим этой динамической штрихованной системе отсчёта $\sum'$ ускоренное движение относительно $\sum$. Материальная точка (математический маятник в трюме корабля), двигаясь относительно штрихованной системы отсчёта $\sum'$, вовлекается в ускоренное движении этой системы отсчёта по отношению к $\sum$. В таком случае, в направлении переносного и кориолисового ускорений материальная точка взаимодействует с тем телом, с которым связана система отсчёта $\sum'$. Тогда, в направлении переносного ускорения материальной точки, действует сила реакции $\bar{N}^{tr}$, а в направлении кориолисового ускорения действует сила реакции $\bar{N}^{Cor}$. Согласно второму закона Ньютона,

$$m\bar{a}^{tr} = \bar{N}^{tr}, \qquad (7)$$

$$m\bar{a}^{Cor} = \bar{N}^{Cor}. \qquad (8)$$

Складывая левые и правые части равенств (6), (7), (8), т. е. применяя принцип независимости действия сил классической механике Ньютона, получим

$$m\bar{a}' = \sum \bar{F}_k + \bar{N}^{tr} + \bar{N}^{Cor} + \bar{F}^{tr} + \bar{F}^{Cor}, \qquad (9)$$

где

$$\bar{F}^{tr} = -m\bar{a}^{tr} \qquad (10)$$

$$\bar{F}^{Cor} = -m\bar{a}^{Cor} \qquad (11)$$

Уравнение (3) движения материальной точки в кинематической ускоренной системе отсчёта принципиально отличается от уравнения (9) в динамической неинерциальной системе отсчёта. Во-первых, уравнение (3) получено в результате формально-математического преобразования систем отсчёта, в то время как уравнение (9) доказано на основании исходных принципов механики Ньютона. Во-вторых, в (3) переносная и кориолисова силы инерции является кинематическими или фиктивными, тогда как в (9) переносная и кориолисова силы инерции являются динамическими или реальными, обусловленными соответствующими силами реакций $\bar{N}^{tr}$ и $\bar{N}^{Cor}$.

Заметим, что, несмотря на выполнение математических равенств (7), (8), взаимно противоположные физические силы $\bar{N}^{tr}$, $\bar{F}^{tr}$, и $\bar{N}^{Cor}$, $\bar{F}^{Cor}$ в уравнении (9) не компенсируются, так как силы реакции $\bar{N}^{tr}$ и $\bar{N}^{Cor}$ являются поверхностными силами, в то время, как $\bar{F}^{tr}$ и $\bar{F}^{Cor}$ являются силами объёмными.

Уравнения Максвелла в кинематических неускоренных системах отсчёта

Уравнения Максвелла для электрического заряда плотности ρ_e^0, движущегося со скоростью $\bar{v}^0$ относительно инерциальной системы отсчёта Σ^0, в которой проводились опыты Фарадея, имеют вид

$$div\,\bar{E}^0 = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e^0, \qquad (12)$$

$$rot\,\bar{E}^0 = -\frac{\partial B^0}{\partial t^0}, \qquad (13)$$

$$div\,\bar{B}^0 = 0, \qquad (14)$$

$$rot\,\bar{B}^0 = \mu_0 \rho_e^0 \bar{v}^0 + \frac{1}{c^2}\frac{\partial \bar{E}^0}{\partial t^0}, \qquad (15)$$

где ε_0, μ_0 - электрическая и магнитная постоянная,

$$\varepsilon_0 = const, \quad \mu_0 = const,$$
$$c = (\varepsilon_0 \mu_0)^{-1/2} = const \qquad (16)$$

c - средняя скорость распространения фронта электромагнитной волны (света) в Σ^0 на пути “туда-обратно”, которую принято называть скоростью света в вакууме.

Пусть некоторая система отсчёта Σ движется поступательно, равномерно и прямолинейно относительно Σ^0. Пусть заряд ρ_e, движется вместе с системой отсчёта Σ и, одновременно, относительно этой системы отсчёта со скоростью $\bar{v}$, т. е., по отношению к рассматриваемому процессу Σ является динамической ИСО. В этом случае, согласно динамическому принципу относительности Галилея, уравнения Максвелла в ИСО Σ имеют тот же вид, что и в Σ^0

$$div\,\bar{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e, \qquad (17)$$

$$rot\,\bar{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}, \qquad (18)$$

$$div\,\bar{B} = 0, \qquad (19)$$

$$rot\,\bar{B} = \mu_0 \rho_e \bar{v} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \qquad (20)$$

с теми же значениями констант согласно (16). Физический смысл константы c при этом остаётся тем же – это средняя скорость света относительно Σ^0 на пути “туда-обратно”, которая, согласно эксперименту, не зависти от того, покоится или движется относительно Σ^0 источник света. Это является следствием того факта, что фотон не имеет массы покоя, поэтому первый закон Ньютона, закон инерции, к нему не применим. Фотон, в отличие от материальной частицы, не сохраняет скорости движения своего источника.

В теории движущихся зарядов возникла и другая задача: необходимо описать в кинематической неускоренной системе отсчёта Σ' поле заряда ρ_e, движение которого задано в динамической ИСО Σ, принятой за неподвижную. При этом Σ' движется относительно ИСО Σ со скоростью $\bar{u} = const$. Чтобы описать в Σ' процесс, который происходит в ИСО Σ, применим кинематическое преобразование Галилея

$$\bar{r} = \bar{u}t + \bar{r}', \qquad t = t' \qquad (21)$$

к системе уравнений (17-20).

Выведем далее некоторые вспомогательные соотношения.

Применив к функции $f(\bar{r}, t)$ преобразования Галилея (21), получим

$$f(\bar{r}, t) = f(\bar{r}' + \bar{u}t', t') = f'(r', t') \qquad (22)$$

Далее находим

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial f'}{\partial t'}\frac{\partial t'}{\partial t} + \frac{\partial f'}{\partial \bar{r}'}\frac{\partial \bar{r}'}{\partial t} \qquad (23)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} = \frac{\partial f'}{\partial \bar{r}'}\frac{\partial \bar{r}'}{\partial \bar{r}} \qquad (24)$$

Принимая также во внимание, что

$$\frac{\partial t'}{\partial t}=1,\quad \frac{\partial r'}{\partial t}=-\bar{u},$$
$$\frac{\partial \bar{r}'}{\partial \bar{r}}=\delta,(\delta_{ij}=1, i=j;\ \delta_{ij}=0, i\neq j) \tag{25}$$

из (23) и (24) получаем следующие соотношения между операторами в штрихованной и не штрихованной системах отсчёта

$$\frac{\partial}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial t'}-\bar{u}\bar{\nabla}',\quad \bar{\nabla}=\bar{\nabla}'. \tag{26}$$

С учётом (26), уравнения Максвелла (17-20), после применения к ним кинематического преобразования Галилея, принимают следующий вид в системе отсчёта $\sum'$

$$div\bar{E}'=\frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e, \tag{27}$$

$$rot\,\bar{E}'==-(\frac{\partial}{\partial t'}-\bar{u}\bar{\nabla}')\bar{B}', \tag{28}$$

$$div\,\bar{B}'=0, \tag{29}$$

$$rot\,\bar{B}'=\mu_0\rho_e(\bar{u}+\bar{v}')+\frac{1}{c^2}(\frac{\partial}{\partial t'}-\bar{u}\bar{\nabla}')\bar{E}', \tag{30}$$

с теми же значениями констант согласно (16).

Выделим в последней системе уравнений члены, обуславливающие нековариантность уравнений Максвелла относительно преобразований Галилея

$$div\bar{E}'=\frac{1}{\varepsilon_0}\rho_e, \tag{31}$$

$$rot\,\bar{E}'==-\frac{\partial}{\partial t'}\bar{B}'+[\bar{u}\bar{\nabla}')\bar{B}'], \tag{32}$$

$$div\,\bar{B}'=0, \tag{33}$$

$$rot\,\bar{B}'=\mu_0\rho_e\bar{v}'+\frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t'}E'+[\mu_0\rho_e\bar{u}-\frac{1}{c^2}(\bar{u}\bar{\nabla}')\bar{E}'] \tag{34}$$

Как и следовало ожидать, нековариантность обусловлена конвективным током и конвективной производной от векторов поля – члены в квадратных скобках.

Законы классической физики ковариантны относительно преобразования Галилея в кинематических системах отсчёта

Кинематическая теорема: Первый закон Ньютона, закон инерции, ковариантен относительно преобразования Галилея.

Запишем уравнение движения по инерции свободной материальной точки M, испущенной с начальной скоростью $\bar{v}$ из точки с начальними координатами (a,b,c), относительно лабораторной, инерциальной по Ньютону, системы отсчёт $\sum$

$$\bar{v}=C(const) \tag{35}$$

Так как мы рассматриваем инерциальную систему отсчёта по Ньютону, то данная материальная точка участвует также и в переносном движении этой системы отсчёта.

Рассмотрим теперь движение этой же материальной точки относительно другой системы отсчёта $\sum'$, связанной с тележкой, которая движется поступательно равномерно и прямолинейно со скоростью $\bar{u}=const$ относительно $\sum$. Материальная точка M не принимает участия в движении системы отсчёта $\sum'$, поэтому эта система отсчёта для M является кинематической. Согласно кинематическому преобразованию Галилея, относительная скорость $\bar{v}'$ точки в $\sum'$ равна разности абсолютной и переносной скоростей

$$\bar{v}'=\bar{v}-\bar{u}=C'(const) \tag{36}$$

или

$$\bar{v}'=C'(const) \tag{37}$$

Сравнивая (35) и (3 7) видим, что уравнение (35) ковариантно относительно преобразования Галилея

$$\bar{v}=\mathrm{cov}\,ariant \tag{38}$$

то есть, уравнения (35) и (37) имеют одинаковый вид: скорость одной и той же точки M относительно каждой из рассматриваемых здесь двух систем отсчёта равна константе. Но значения констант в уравнении (35) и уравнении (37) – разные! 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 дифференциального уравнения движения свободной материальной точки

$$\frac{d^2\bar{r}}{dt^2}=0, \tag{39}$$

будут разными. Так что глубоко ошибочным является общепринятое в современной физике утверждение: “Если на частицу не действуют никакие силы и система $\sum$ инерциальная, то скорость $\bar{v}$ частицы в этой системе будет постоянной (верное утверждение - ПАФ). Отсюда следует, что скорость $\bar{v}'$ частицы в системе $\sum'$ тоже оказывается постоянной (также верное утверждение - ПАФ). Это означает, что система $\sum'$ также инерциальная (ошибочный вывод при верных посылках - ПАФ)” [12]. 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”.

Первый закон Ньютона есть утверждение о том, что в каждой из инерциальных, по Ньютону, систем отсчёта $\sum$ скорость свободной материальной точки остаётся постоянной до тех пор, пока действием некоторой силы, приложенной именно к этой материальной точке, она не будет выведена из данного состояния. Скорость же материальной точки M относительно кинематической системы отсчёта тележки $\sum'$ может быть изменена и без приложения к M

силы, для этого, говорит Ньютон, достаточно приложить такую силу к тележке: “Причины происхождения, которыми различаются истинные (динамические) и кажущиеся (кинематические) движения суть те силы, которые надо к телам приложить, чтобы произвести эти движения. Истинное движение не может ни произойти, ни измениться иначе как от действия сил, приложенных непосредственно к самому движущемуся телу, тогда как относительное движение может быть и произведено, и изменено без приложения сил к самому телу, достаточно, чтобы силы были приложены к тем телам, по отношению к которым это движение определяется”. Это утверждение является фундаментальным для выбора системы отсчёта в динамике, которое, к сожалению, было проигнорировано в современной физике.

Кинематическая теорема: Основное уравнение динамики точки классической механики Ньютона в инерциальных системах отсчёта не ковариантно относительно преобразования Галилея, но ковариантно относительно этого преобразования во всех кинематических системах отсчёта, которые движутся относительно $\sum$ поступательно, равномерно и прямолинейно.

Запишем основное уравнение динамики материальной точки M в инерциальной системе отсчёта $\sum$ при некоторых начальных условиях

$$m\bar{a} = F(t, \bar{r}, \bar{\mathrm{v}}) \qquad (40)$$

Пусть $\sum'$ будет одна из кинематических (для материальной точки M) неускоренных относительно $\sum$ систем отсчёта. Тогда, согласно преобразованию Галилея

$$\bar{r} = \bar{u}'t + \bar{r}', \quad t = t', \quad \bar{\mathrm{v}} = \bar{u}' + \bar{\mathrm{v}}', \qquad (41)$$

уравнение (40) в $\sum'$ принимает вид

$$m\bar{a}' = \bar{F}(t, \bar{u}'t + \bar{r}', u' + \mathrm{v}'), \qquad (42)$$

где $\bar{u}' = const$ - скорость движения кинематической штрихованной системы отсчёта относительно инерциальной нештрихованой.

Пусть $\sum''$ будет другая кинематическая система отсчёта для той же материальной точки M. Тогда, согласно преобразованию Галилея

$$\bar{r} = \bar{u}''t + \bar{r}'' \quad t = t'', \quad \bar{\mathrm{v}} = \bar{u}'' + \bar{\mathrm{v}}'' \qquad (43)$$

уравнение (40) в $\sum''$ принимает вид

$$m\bar{a}'' = \bar{F}(t, \bar{u}''t + \bar{r}'', u'' + \mathrm{v}'') \qquad (44)$$

где $\bar{u}'' = const$ - скорость движения системы отсчёта $\sum''$ относительно $\sum$.

Сравнивая (40) с (42) и (44), видим, что уравнение движения материальной точки (40) в инерциальной системе отсчёта $\sum$ не ковариантно относительно преобразования Галилея. Но уравнение (42), записанное в одной из кинематических систем отсчёта, ковариантно относительно преобразования Галилея во всех других кинематических системах отсчёта, причём это преобразование обладает групповыми свойствами. Докажем это утверждение.

Преобразование Галилея

$$r' = \bar{V}t + r'', \quad t' = t'' = t, \quad \mathrm{v}' = \bar{\mathrm{V}} + \mathrm{v}'' \qquad (45)$$

где V - относительная скорость систем отсчёта $\sum'$ и $\sum''$

$$\bar{V} = \bar{u}'' - \bar{u}' \qquad (46)$$

приводит уравнение (42) к виду

$$m\bar{a}'' = \bar{F}[(t, (u'' - V)t + (\bar{V}t + \bar{r}''), \\ (u'' - V) + (V + \mathrm{v}'')] \qquad (47)$$

и мы получили уравнение (44), что подтверждает групповые свойства преобразований Галилея.

Кинематическая теорема: Полевые уравнения Максвелла, записанные в инерциальной системе отсчёта $\sum$, не ковариантны относительно преобразования Галилея, но ковариантны относительно этого преобразования во всех кинематических системах отсчёта, которые движутся относительно $\sum$ поступательно, равномерно и прямолинейно, [13].

Согласно (17-20), полевые уравнения Максвелла в некоторой инерциальной системе отсчёта $\sum$ имеют вид

$$div\,\bar{E} = 0, \qquad (48)$$

$$rot\,\bar{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}, \qquad (49)$$

$$div\,\bar{B} = 0, \qquad (50)$$

$$rot\,\bar{B} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \qquad (51)$$

Согласно (31-34), полевые уравнения Максвелла в некоторой кинематической системе отсчёта $\sum'$, которая движется относительно $\sum$ со скоростью $\bar{u}' = const$ имеют вид

$$div\bar{E}' = 0, \qquad (52)$$

$$rot\,\bar{E}' == -\frac{\partial}{\partial t'}\bar{B}' + \left[(\bar{u}'\bar{\nabla}')\bar{B}'\right], \qquad (53)$$

$$div\,\bar{B}' = 0, \qquad (54)$$

$$rot\,\bar{B}' = \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t'}\bar{E}' - \left[\frac{1}{c^2}(\bar{u}'\bar{\nabla}')\bar{E}'\right], \qquad (55)$$

то есть, полевые уравнения Максвелла в инерциальной системе отсчёта не ковариантны относительно преобразования Галилея. По причине, которая станет ясной из дальнейшего изложения, систему уравнений (52)-(55) будем называть уравнениями Максвелла Доплера.

Пусть $\sum''$ будет другой кинематической системой отсчёта, которая движется относительно $\sum$ со скоростью $\bar{u}'' = const$. Тогда, согласно преобразованию Галилея

$$\bar{r} = \bar{u}''t + \bar{r}'' \quad t = t'' \qquad (56)$$

уравнения (48)- (51) принимают ковариантный с (52)- (55) вид

$$div\overline{E}'' = 0, \quad (57)$$

$$rot\,\overline{E}'' == -\frac{\partial}{\partial t'}\overline{B}'' + \left[(\overline{u}''\overline{\nabla})\overline{B}''\right], \quad (58)$$

$$div\,\overline{B}' = 0, \quad (59)$$

$$rot\,\overline{B}'' = \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t'}\overline{E}'' - \left[\frac{1}{c^2}(\overline{u}''\overline{\nabla})\overline{E}''\right]. \quad (60)$$

Применением преобразования Галилея

$$r' = \overline{V}t + r'', \quad t' = t'' = t, \quad (61)$$

де V - относительная скорость систем отсчёта $\sum'$ и $\sum''$

$$V = u'' - u' \quad (62)$$

уравнения (52)- (55) приводятся к уравнениям (57)-(60), что подтверждает групповые свойства преобразования Галилея.

Эффект Доплера,
как следствие уравнений Максвелла

Рассмотрим одно из следствий, вытекающее из уравнений Максвелла-Доплера.

Аналогично тому, как и из полевых уравнений Максвелла (48)-(51) получаются волновые уравнения в системе отсчёта $\sum$ для векторов полей $\overline{E}, \overline{B}$

$$\Delta\overline{E} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\overline{E}, \quad (63)$$

$$\Delta\overline{B} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\overline{B}, \quad (64)$$

так из уравнений полевых уравнений Максвелла-Доплера (52)-(55) получаем волновые уравнения в системе отсчёта $\sum'$ для векторов полей $\overline{E}', \overline{B}'$

$$\Delta\overline{E}' = \frac{1}{c^2}\left(\frac{\partial}{\partial t} - \overline{u}\overline{\nabla}\right)^2\overline{E}', \quad (65)$$

$$\Delta\overline{B}' = \frac{1}{c^2}\left(\frac{\partial}{\partial t} - \overline{u}\overline{\nabla}\right)^2\overline{B}'. \quad (66)$$

Ограничимся далее случаем плоской электромагнитной волны, возбуждаемой источником, покоящемся в инерциальной системы отсчёта $\sum$, следовательно, участвующим в её переносном движении. Волна движется в положительном направлении оси x, при этом $E_x = E_z = 0$ и $H_x = H_y = 0$ и тогда $E_y = E$ и $H_z = H$. Кроме того, система отсчёта $\sum'$ движется вдоль оси x относительно системы отсчёта $\sum$ со скоростью $\overline{u} = const$, так что $u_x = \pm u,\ u_y = u_z = 0$. Тогда волновые уравнения (63)-(64) принимают вид

$$\Delta E_y = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}E_y, \quad (67)$$

$$\Delta B_z = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}B_z. \quad (68)$$

а уравнения (65)-(66), в случае движения системы отсчёта $\sum'$ в положительном направлении оси x, соответственно принимают вид

$$\Delta E'_y = \frac{1}{c^2}\left(\frac{\partial}{\partial t} - u\frac{\partial}{\partial x}\right)^2 E'_y, \quad (69)$$

$$\Delta B'_z = \frac{1}{c^2}\left(\frac{\partial}{\partial t} - u\frac{\partial}{\partial x}\right)^2 B'_z. \quad (70$$

Уравнения (67)-(68), как известно, имеют решения

$$E_y = E_0 \sin[\omega(t - \frac{x}{c}) + \alpha], \quad (71)$$

$$B_z = B_0 \sin[\omega(t - \frac{x}{c}) + \alpha], \quad (72)$$

Найдём аналогичные решения уравнений (69)-(70). Возведём в квадрат скалярный оператор в скобках уравнения (69). Тогда, это уравнение приводится к виду

$$K\frac{\partial^2 E'_y}{\partial x^2} + 2L\frac{\partial^2 E'_y}{\partial x \partial t} + M\frac{\partial^2 E'_y}{\partial t^2} = 0, \quad (73)$$

где

$$K = -(1 - \frac{u^2}{c^2}), \quad (74)$$

$$L = -\frac{u}{c^2}, \quad (75)$$

$$M = \frac{1}{c^2}. \quad (76)$$

Поскольку

$$L^2 - KM = \frac{1}{c^2}\ \phi\ 0 \quad (77)$$

то уравнение (73) принадлежит к гиперболическому типу. Далее находим характеристики уравнения (73)

$$x' - (c - u)t = const_1, \quad (78)$$

$$x' + (c - u)t = const_2. \quad (79)$$

В таком случае, волновые уравнения (69)-(70) имеют решения

$$E'_y = E'_0 \sin[\omega'(t - \frac{x'}{c - u}) + \alpha], \quad (80)$$

$$B'_z = B'_0 \sin[\omega'(t - \frac{x'}{c - u}) + \alpha]. \quad (81)$$

Согласно преобразованию Галилея

$$c' = c - u \quad (82)$$

где c' скорость электромагнитной волны относительно системы отсчёта $\sum'$. Тогда уравнения (80)-(81) принимают вид

$$E'_y = E'_0 \sin[\omega'(t - \frac{x'}{c'}) + \alpha], \quad (83)$$

$$B'_z = B'_0 \sin[\omega'(t - \frac{x'}{c'}) + \alpha]. \quad (84)$$

Получили, что волновые уравнения (71)-(72) и (83)-(84) ковариантны, то есть, они имеют одинаковый вид, но разные значения входящих в них величин c, c' и ω, ω'.

Выведем соотношение, связывающее частоты ω, ω'. Для этого, с учётом преобразования Галилея

$$x = ut + x', \qquad t = t' \tag{85}$$

преобразуем выражение для фазы в (83)-(84)

$$\omega'(t - \frac{x'}{c'}) = \omega'(t - \frac{x - ut}{c - u}) = \omega' \frac{ct - ut - x + ut}{c(1 - \frac{u}{c})} = \\ = \omega'(1 - \frac{u}{c})^{-1}(t - \frac{x}{c}) \tag{86}$$

Сравнивая (86) с выражением для фазы в (71)-(72), получим

$$\omega = \omega'(1 - \frac{u}{c})^{-1} \tag{87}$$

Отсюда следует, что если система отсчёта $\sum'$ движется в направлении распространения волны, то частота волны ω' в этой системе отсчёта определяется через частоту ω волны в инерциальной системе отсчёта $\sum$ согласно соотношению

$$\omega' = \omega(1 - \frac{u}{c}) \tag{88}$$

Если система отсчёта $\sum'$ движется в направлении, противоположном направлению распространения волны, то частота волны ω' в этой системе отсчёта определяется через частоту ω волны в инерциальной системе отсчёта $\sum$ согласно соотношению

$$\omega' = \omega(1 + \frac{u}{c}) \tag{89}$$

Таким образом, эффект Доплера для электромагнитных волн, есть непосредственное следствие применения преобразования Галилея к исходным уравнениям Максвелла в инерциальной системе отсчёта. При движении системы отсчёта $\sum'$ в направлении распространения волны, частота в этой системе отсчёта, согласно (88), уменьшается. При движении же системы отсчёта $\sum'$ в направлении, противоположном направлению распространения волны, частота в этой системе отсчёта, согласно (89), увеличивается. В частном случае, движущаяся система отсчёта $\sum'$ может быть связана либо с движущимся источником, либо с движущимся приёмником. В любом случае эффект Доплера определяется одним из соотношений (88) или (89) и зависит лишь от относительной скорости $\bar{u}$ источника и приёмника. При этом, поскольку рассматривается сугубо кинематический эффект, нет никакой необходимости принимать во внимание наличие или отсутствие той среды, в которой распространялась бы электромагнитная волна.

Вывод

Классификация систем отсчёта, с учётом как кинематических, так и динамических аспектов, существенно расширяет возможности современной физики как в плане постановки и решения новых задач, так и в плане осмысливания её результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – М: Наука, 1988. – С. 13.
2. Айзерман М.А. Классическая механика. – М: Наука, 1980. – С. 40.
3. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М: Наука, 1989. – 688 с.
4. Потехин А. Ф.О роли понятийного аппарата в фундаментальной науке // Статті за матеріалами доповідей п’ятої Української науково-методичної конференції «Нові інформаційні технології навчання в учбових закладах України», Одеса (Україна), 1997. – С. 62-64
5. 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.
6. Potjekhin A.F. On the Evolution of the Relativity Principle from Copernicus to Einstein // Hadronic Journal Supplement (USA), Vol. 14, 1999. – P. 297-313.
7. Потехин А.Ф. Объективные и субъективные аспекты принципа относительности в физике // Тез. докладов XYII Международных чтений “Великие преобразователи естествознания: А. Пуанкаре” – Минск, 2001. – С. 91-94.
8. Потєхін 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.
9. 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, (Ukraine) 2004. – P. 126.
10. 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
11. Потехин А. Ф. Физические и математические ошибки оптического эксперимента Майкельсона-Морли и их исторические предпосылки. // Сборник трудов IX международной учебно-методической конференции «Современный физический практикум», Волгоград (Россия) – Москва, 2006. – С. 70
12. Савельев И. В. Курс физики. В 3-х т. – М.: Наука, 1989. –Т 1, С. 34-35.
13. Potjekhin A.F. Maxwell Field Equations are Galileo Covariant for all Kinematic Reference Systems. // Proc. Int. Conf. Mathematical Methods in EM Theory (MMET*08). – Odessa, 2008. – P. 256-258

Стаття надіслана 30.09.2008р.
Рекомендовано до друку д. ф-м. н. проф.
Єлізаровим О.І.

Материалы
Y Международной
научно-технической
конференции

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ БИОФИЗИКИ ФИЗИКИ И ХИМИ

Б Ф Ф Х *– 2009*

Севастополь (Украина), 21-25 апреля 2009 г.

Полный текст пленарного доклада [1] на Y Международной конференции

«Актуальные вопросы теоретической и прикладной

биофизики, физики и химии»

21-25 апреля 2009 г., Севастополь (Украина)

УД К: 530.11+530.12

А.Ф.Потехин, профессор, канд. тех. наук
Одесский национальный морской университет
ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029
a_potjekhin@osmu.odessa.ua

МЕТОДОЛЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЗИКИ В КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОТСЧЁТА, [1]

Введение.

Под системой отсчёта (СО) в современной теоретической физике понимают геометрическую систему координат, служащую для указания положения частицы в пространстве как функции времени. Вопрос о взаимодействии такой бестелесной кинематической системы отсчёта с материальными телами и физическими полями, которые задействованы в рассматриваемом процессе, лишён физического смысла. Отдавая дань динамике Ньютона, те кинематические СО, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно сферы удалённых звёзд, следовательно, и друг относительно друга, относятся к инерциальным системам отсчёта (ИСО), поскольку в них, якобы, выполняется первый закон Ньютона – закон инерции: “Существуют системы отсчёта, в которых свободное движение тел, т. е. движение тел, не находящихся под действием внешних сил, происходит с постоянной скоростью. Такие СО носят название инерциальных” [2]. Однако эти СО следует называть кинематическими неускоренными или псевдо-инерциальными, поскольку свободное движение тела с постоянной скоростью относительно СО есть, по Ньютону, лишь необходимое, но недостаточное условие отнесения их к инерциальным. По Ньютону, должно выполняться ещё одно условие: если СО инерциальная для данного свободного тела, то оно может быть ускоренно относительно этой СО отсчёта тогда и только тогда, когда именно к нему приложены внешние силы: “Всякое тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние” [3]. Относительно же псевдо-инерцальной СО ускорение тела может быть вызвано не только приложением к нему внешних сил, но и ускорением самой этой СО относительно ИСО: “Для этого достаточно, чтобы силы были приложены к тем телам, по отношению к которым это движение определяется” [3].

Согласно Ньютону СО, связанная с каютой корабля, который движется поступательно, равномерно и прямолинейно относительно берега, является ИСО для всех тел, участвующих в переносном движении этого корабля, как следствие взаимодействия с ним. Система отсчёта другого корабля, который также движется поступательно, равномерно и прямолинейно относительно берега, является ИСО для всех тел, участвующих в переносном движении этого другого корабля, как следствия взаимодействия с ним. Эти две ИСО друг относительно друга также движутся поступательно, равномерно и прямолинейно. Отличительной особенностью таких динамически выделенных ИСО является факт, отмеченный впервые Га-

лилеем: если мы проведём какой-либо опыт в каюте одного корабля и точно такой же опыт в каюте другого корабля, то оба этих опыта в своей каюте будут протекать, наблюдаться и описываться одинаково. То есть, в этих ИСО выполняется динамический принцип относительности Галилея-Ньютона. Выполнение этого принципа есть экспериментальный факт. В таких и только в таких динамически выделенных ИСО, на базе экспериментов в них, сформулированы как законы динамики Ньютона, так и уравнения электродинамики Максвелла

Таким образом, следуя Ньютону, мы приходим к следующей классификации систем отсчёта [4]. Если рассматриваемая система взаимодействующих между собой материальных частиц движется вместе с системой отсчёта $\sum$, которая, в свою очередь, движется относительно Гелиоцентрической системы отсчёта $\sum^0$, то $\sum$ называется динамической системой отсчёта для данного процесса. Если рассматриваемая система материальных частиц не принимает участия в переносном движении совместно с системой отсчёта $\sum'$, 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 корабле и перемещающихся вместе с ним, система отсчёта корабля будет динамической. Для всех же тел, находящихся вне 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. Динамические (для данной совокупности тел) системы отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно сферы удалённых звёзд, следовательно, и друг относительно друга, называются инерциальными системами отсчёта. Динамические (для данной совокупности тел) системы отсчёта, которые движутся ускоренно относительно инерциальных систем отсчёта, называются неинерциальными системами отсчёта.

Аналогично, кинематические системы отсчёта подразделяются на два класса. Кинематические (для данной совокупности тел) системы отсчёта, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно динамических ИСО, следовательно, и друг относительно друга, называются неускоренными или псевдо-инерциальными системами отсчёта. Кинематические (для данной совокупности тел) системы отсчёта, которые движутся ускоренно относительно псевдо-инерциальных систем отсчёта, называются ускоренными или псевдо-неинерциальными системами отсчёта.

В практической деятельности возникла необходимость рассмотрения законов и уравнений движения не только в динамических, но и в кинематических СО. Если законы и уравнения движения в динамических СО уже найдены, то для того, чтобы сформулировать эти же законы и уравнения движения в кинематических СО, достаточно применить формально-математические преобразования систем отсчёта. Вид этих преобразований зависит от той кинематики, которая положена в основу описания физических процессов. В классической физике – это преобразования Галилея в кинематике Ньютона, в СТО Эйнштейна – это преобразование Лоренца в кинематике Минковского. Именно Эйнштейну мы обязаны последовательному изучению физических процессов в кинематических СО, продемонстрированному им вначале в СТО, а затем, и в ОТО. Причём, именно Эйнштейном был найден тот принцип, которым следовало руководствоваться при описании физических процессов в кинематических СО – требование ковариантной формы записи физических законов и уравнений движения. Принцип ковариантности Эйнштейна в кинематических СО является аналогом принципа относительности Галилея-Ньютона в динамических ИСО.

Рассмотрим некоторые физические процессы с учётом классификации систем отсчёта по Ньютону

Несимметричность акустического эффекта Доплера

Известно, что акустический эффект Доплера не симметричен, а оптический эффект Доплера симметричен относительно движения источника и приёмника. Современная физика этот факт констатирует, но не объясняет. Физические предпосылки этого эффекта могут быть поняты лишь с позиции динамических и кинематических СО.

Исходный случай. Невозмущённая среда, источник и приёмник волн неподвижны относительно лабораторной системы отсчёта и участвуют в переносном движении этой системы отсчёта. Для динамических процессов, происходящих в среде, лабораторная система отсчёта (с известной точностью) является инерциальной. Источник колебаний, динамически воздействуя на частицы среды, возбуждает в ней волну с частотой, равной его собственной частоте колебаний n_0. Приёмник регистрирует волновой процесс в лабораторной ИСО. Фазовая скорость волны u, её частота n_0 и длина l_0 связаны соотношением

$$u = l_0 n_0 \tag{1}$$

Случай 1. Источник волн движется, приёмник покоится относительно среды. И в этом случае приёмник, покоящийся относительно среды, регистрирует волновой процесс в лабораторной ИСО. Параметры волны связаны соотношением

$$u = l_* n_* \tag{2}$$

Здесь учтено, что фазовая скорость волны u определяется только физическими свойствами среды, и не зависит от того, покоится источник в среде или движется относительно неё. Но длина волны l_* при движущемся со скоростью v_* источнике и её частота n_* уже будут отличаться от длины волны и частоты при покоящемся источнике. Время прохождения волной расстояния, равного длине волны при неподвижном источнике, равно l_0/u. За это время источник продвинется на расстояние $\mathrm{v}_*(l_0/u)$. Тогда длина волны, при движущемся в направлении волны источнике, уменьшится и будет равна

$$l_* = l_0 - \mathrm{v}_*(l_0/u) = l_0[1-(\mathrm{v}_*/u)] \tag{3}$$

Исключая параметр волны u из равенств (1) и (2), с учётом (3), находим

$$n_* = n_0[1-(\mathrm{v}_*/u)]^{-1} \tag{4}$$

Таким образом, эффект Доплера для случая, когда источник волн движется, а приёмник покоится относительно среды, обусловлен динамическим процессом взаимодействия источника волн и среды.

Случай 2. Источник волн покоится, приёмник движется относительно среды. В этом случае волновой процесс, который происходит в лабораторной ИСО, регистрируется в системе отсчёта, связанной с движущимся со скоростью v приёмником. Приёмник тем точнее регистрирует данный процесс, чем меньшее возмущение в этот процесс он вносит. В идеале, рассматриваем движущийся приёмник, который не взаимодействует со средой и не изменяет физических параметров волны в среде. Но движение системы отсчёта приёмника относительно среды обусловит изменение таких регистрируемых в этой системе отсчёта параметров волны, как её скорость u' и частота волны n'. Длина волны при этом остаётся такой же, как и в исходном случае, то есть l_0. Параметры волны теперь связаны соотношением

$$u' = l_0 n'. \tag{5}$$

Если приёмник движется в направлении движения волны, то согласно преобразованию Галилея

$$u' = u - \mathrm{v}. \tag{6}$$

Исключая из равенств (1) и (5) параметр l_0, с учётом (6) находим

$$n'=n_0[1-(\mathrm{v}/u)]. \tag{7}$$

Таким образом, эффект Доплера для случая, когда источник волн покоится, а приёмник движется относительно среды, обусловлен кинематической относительностью наблюдаемого процесса.

Случай 3. Источник волн и приёмник движутся относительно среды

И в этом случае волновой процесс, который происходит в лабораторной ИСО, регистрируется в системе отсчёта, связанной с движущимся приёмником. При этом, вследствие движения источника, физические параметры установившейся в среде волны удовлетворяют соотношению (2). Измеряемые же движущимся приёмником параметры удовлетворяют соотношению

$$u' = l_* n' \tag{8}$$

то есть, остаётся неизменной длина волны в среде l_* при движущемся источнике. Исключая из равенств (2) и (8) параметр l_*, с учётом (4) и (6), получим

$$n'=n_0[1-(\mathrm{v}/u)][1-(\mathrm{v}_*/u)]^{-1} \tag{9}$$

Таким образом, эффект Доплера для случая, когда источник волн и приёмник движутся относительно среды одновременно, с одной стороны, обусловлен динамическим процессом взаимодействия источника волн и среды вследствие движения источника, с другой стороны – кинематической относительностью наблюдаемого процесса вследствие движения приёмника.

Симметричность оптического эффекта Доплера

Отличительной особенностью эффекта Доплера в материальных средах является то, что источник и приёмник движутся не только относительно среды, но и принимают участие в общем переносном движении вместе со средой, с которой связана ИСО. Этим эффект Доплера в материальных средах отличается от его проявления в физических полях. В последнем случае, у нас нет основания утверждать, что источник и приёмник участвуют в общем переносном движении со средой, как носителем волн, с которой можно было бы связать ИСО. Даже если предположить, что такая среда существует, не существует, однако, экспериментальных методов измерения скорости движения источника и приёмника относительно этой среды. Скорость волн в таких средах может быть измерена лишь в среднем на пути “туда – обратно”. В таком случае, остаётся одна возможность: выразить эффект Доплера через скорость волны на пути “туда – обратно” и относительную скорость движения источника и приёмника.

В системе отсчёта источника параметры волны в оптической среде удовлетворяют соотношению

$$c=n_0 l_0, \tag{10}$$

где c - скорость свет в среде (вакууме).

Движущий источник, взаимодействуя с оптической средой, возбуждает в ней волны. При этом длина волны в системе отсчёта оптической среды, при движущемся в направлении волны источнике со скоростью v_*, аналогично акустической волне, уменьшится по сравнению с длиной волны l_0 в системе отсчёта источника на величину $\mathrm{v}_*(l_0/c)$. Но приёмник и источник, в отличие от акустического случая, не принимают участи в переносном движении среды. Тогда в системе отсчёта приёмника уменьшение длины оптической волны в среде (вследствие движения источника) при движущемся в направлении волны со скоростью v приёмнике частично компенсируется, и длина волны увеличится на величину $\mathrm{v}(l_0/c)$.

В результате, вследствие движения источника и приёмника с разными скоростями относительно светоносной среды, приёмником будет зарегистрирована следующая длина оптической волны

$$l = l_0 - \frac{l_0}{c}\mathrm{v}_* + \frac{l_0}{c}\mathrm{v} = l_0(1-\frac{V}{c}), \tag{11}$$

где относительная скорость движения источника и приёмника равна

$$V = \mathrm{v}_* - \mathrm{v}. \tag{12}$$

Среднеарифметический период регистрируемых приёмником волн на пути света “туда – обратно” будет равен

$$T_\oplus = \frac{1}{2}(\frac{l}{c-V} - \frac{l}{c+V}) = l\,c^{-1}(1-\frac{V^2}{c^2})^{-1}. \tag{13}$$

Тогда регистрируемая приёмником частота оптических волн равна

$$n_\oplus = T_\oplus^{-1} = l^{-1}c(1-\frac{V^2}{c^2}). \tag{14}$$

Подставляя в (14) значение длины волны согласно (11), находим

$$n_\oplus = n_0[1+(V/c)]. \tag{15}$$

Заметим, что из (14) следует

$$c_\oplus = l\,n_\oplus, \tag{16}$$

где $c_\oplus$ – среднеарифметическая скорость волны относительно приёмника

$$c_\oplus == c(1-\frac{V^2}{c^2}). \tag{17}$$

Установим также эффект Доплера по среднеквадратичному периоду колебаний регистрируемых приёмником волн на пути света “туда – обратно”

$$T_\otimes = \frac{l}{\sqrt{(c-V)(c+V)}} = l\,c^{-1}(1-\frac{V^2}{c^2})^{-1/2}. \tag{18}$$

Тогда регистрируемая приёмником частота оптических волн равна

$$n_\otimes = T_\otimes^{-1} = l^{-1}c(1-\frac{V^2}{c^2})^{1/2}. \tag{19}$$

Подставляя в (19) значение длины волны согласно (11), находим

$$n_\otimes = n_0\sqrt{\frac{1+(V/c)}{1-(V/c)}}. \tag{20}$$

Заметим, что из (19) следует

$$c_\otimes = l\,n_\otimes, \tag{21}$$

где $c_\otimes$ – среднеквадратичная скорость волны относительно приёмника

$$c_\otimes == c(1-\frac{V^2}{c^2})^{1/2}. \tag{22}$$

Таким образом, не выходя за пределы классических представлений кинематики Ньютона о пространстве и времени и преобразований Галилея, нами получена как классическая (15), так и релятивистская (20) формулы для оптического эффекта Доплера в кинематических

СО. Различие в формулах объясняется тем, что классическому случаю соответствует среднеарифметическая, а релятивистскому случаю – среднеквадратичная скорость света, измеренная в кинематической СО по эффекту Доплера на пути “туда – обратно”.

Основное уравнение динамики точки
в кинематических ускоренных системах отсчёта

Выявленная на примере эффекта Доплера возможность разделения описания физического процесса в кинематических СО на динамическую и кинематическую части подлежит обобщению. Действительно, основное уравнение динамики точки в динамической ИСО преобразованием к кинематической ускоренной СО приводится к виду

$$m\bar{a}' = \bar{F} + \bar{N} + \bar{J}^{tr} + \bar{J}^{Cor}, \tag{23}$$

которое можно переписать в виде

$$m(\bar{a}'_{din} + \bar{a}'_{kin}) = \bar{F} + \bar{N} + \bar{J}^{tr} + \bar{J}^{Cor}, \tag{24}$$

где a'_{din} динамическая часть относительного ускорения материальной точки, обусловленная приложенными к ней силами и a'_{kin} – кинематическая часть относительного ускорения, обусловленная ускоренным движением самой кинематической системы отсчёта относительно исходной ИСО. Уравнение (24) распадается на два уравнения

$$m\bar{a}'_{din} = \bar{F} + \bar{N}, \tag{25}$$

$$m\bar{a}'_{kin} = \bar{J}^{tr} + \bar{J}^{Cor}, \tag{26}$$

где $\bar{J}^{tr}$, $\bar{J}^{Cor}$ – соответственно переносная и Кориолисова псевдо-силы инерции. Первое из этих уравнений (25) описывает динамическую часть относительного движения материальной точки, обусловленную приложенными к ней силами. Второе уравнение (26) описывает кинематическую часть относительного движения материальной точки, обусловленную ускоренным движением самой кинематической системы отсчёта.

Аналогично, основное уравнение динамики точки в неинерциальной СО [4]

$$m\bar{a} = \bar{F} + \bar{N} + \bar{N}^{tr} + \bar{F}^{tr} + \bar{N}^{Cor} + \bar{F}^{Cor} \tag{27}$$

преобразованием к кинематической ускоренной системе отсчёта приводится к виду

$$m(\bar{a}'_{din} + \bar{a}'_{kin}) = \bar{F} + \bar{N} + \bar{N}^{tr} + \bar{F}^{tr} + \bar{N}^{Cor} + \bar{F}^{Cor} + \bar{J}^{tr} + \bar{J}^{Cor}, \tag{28}$$

которое также распадается на две части

$$m\bar{a}'_{din} = \bar{F} + \bar{N} + \bar{N}^{tr} + \bar{F}^{tr} + \bar{N}^{Cor} + \bar{F}^{Cor} \tag{29}$$

$$m\bar{a}'_{kin} = \bar{J}^{tr} + \bar{J}^{Cor}, \tag{30}$$

где $\bar{F}^{tr}$, $\bar{F}^{Cor}$ – соответственно динамическая переносная и Кориолисова силы инерции и $\bar{J}^{tr}$, $\bar{J}^{Cor}$ – кинематическая переносная и Кориолисова псевдо-силы инерции. При этом заметим, что $\bar{F}^{tr}$, $\bar{F}^{Cor}$ определяются ускорением динамической неинерциальной СО относительно исходной инерциальной СО, а $\bar{J}^{tr}$, $\bar{J}^{Cor}$ определяются ускорением рассматриваемой кинематической СО относительно данной неинерциальной СО. Например, в знаменитом опыте Ньютона с вращающимся ведром с водой, система отсчёта, связанная с ведром, в переходном процессе вовлечения частиц воды во вращение ведра, частично является динамической – этому соответствует уравнение (29), частично кинематической – уравнение (30), в совокупности – уравнение (28).

Электродинамические уравнения Максвелла
в кинематических псевдо-инерциальных системах отсчёта

Запишем электродинамические уравнения Максвелла в ИСО $\sum$

$$div\overline{E} = \frac{1}{e_0} r_e, \tag{31}$$

$$rot\overline{E} = -\frac{\partial}{\partial t}\overline{B}, \tag{32}$$

$$div\overline{B} = 0, \tag{33}$$

$$rot\overline{B} = m_0 r_e \overline{v} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t}\overline{E}. \tag{34}$$

Применив к этим уравнениям преобразование Галилея, получим электродинамические уравнения в псевдо-инерциальной СО $\sum'$ [4]

$$div\overline{E}' = \frac{1}{e_0} r_e, \tag{35}$$

$$rot\overline{E}' = -(\frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}\overline{\nabla}')\overline{B}', \tag{36}$$

$$div\overline{B}' = 0, \tag{37}$$

$$rot\overline{B}' = m_0 r_e(\overline{u} + \overline{v}') + \frac{1}{c^2}(\frac{\partial}{\partial t'} - \overline{u}\overline{\nabla}')\overline{E}', \tag{38}$$

где $\overline{u} = const$– скорость движения псевдо-инерцальной системs отсчёта $\sum'$ относительно ИСО $\sum$, $\overline{v}'$ – скорость движения заряда относительно $\sum'$.

Разложим относительную скорость заряда $\overline{v}'$ на две компоненты

$$\overline{v}' = \overline{v}'_{din} + \overline{v}'_{kin}, \tag{39}$$

где $\overline{v}'_{din}$ та часть относительной скорости заряда, которая обусловлена его движением относительно ИСО $\sum$ и $\overline{v}'_{kin}$ та часть относительной скорости заряда, которая обусловлена движением самой кинематической СО $\sum'$ относительно ИСО $\sum$.

Разложим вектора полей $\overline{E}'$ и $\overline{B}'$ на такие же компоненты

$$\overline{E}' = \overline{E}'_{din} + \overline{E}'_{kin}, \tag{40}$$

$$\overline{B}' = \overline{B}'_{din} + \overline{B}'_{kin}, \tag{41}$$

где $\overline{E}'_{din}$, $\overline{B}'_{din}$– вектора полей, обусловленные наличием зарядов и их движением в ИСО $\sum$, а $\overline{E}'_{kin}$, $\overline{B}'_{kin}$– вектора псевдо-полей, обусловленные движением самой кинематической СО $\sum'$ относительно ИСО $\sum$. Примем также во внимание, что переносная скорость

заряда $\bar{u}$ обусловлена только движением кинематической СО $\sum'$ относительно ИСО $\sum$, так что

$$\bar{\nabla}'_{\text{kin}} = -\bar{u}\,. \tag{42}$$

С учётом (39)-(42), система уравнений (35)- (38) распадается на две системы уравнений

$$div\bar{E}'_{din} = \frac{1}{e_0} r_e, \tag{43}$$

$$rot\bar{E}'_{din} = -\frac{\partial}{\partial t'}\bar{B}'_{din} + \bar{u}\bar{\nabla}'\bar{B}'_{din}, \tag{44}$$

$$div\bar{B}'_{din} = 0, \tag{45}$$

$$rot\bar{B}'_{dun} = m_0 r_e \bar{\nabla}'_{\text{din}} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t'}\bar{E}'_{din} - \frac{1}{c^2}\bar{u}\bar{\nabla}'\bar{E}'_{din}, \tag{46}$$

и

$$div\bar{E}'_{kin} = 0, \tag{47}$$

$$rot\bar{E}'_{kin} = -(\frac{\partial}{\partial t'} - \bar{u}\bar{\nabla}')\bar{B}'_{kin}, \tag{48}$$

$$div\bar{B}'_{kin} = 0, \tag{49}$$

$$rot\bar{B}'_{kin} = \frac{1}{c^2}(\frac{\partial}{\partial t'} - \bar{u}\bar{\nabla}')\bar{E}'_{Kin}, \tag{50}$$

Поскольку движение кинематической системы отсчёта не может изменить динамических параметров физической системы, то конвективные производные в уравнениях (44), (46) от динамических компонент поля равны нулю, и тогда эта система уравнений принимает вид

$$div\bar{E}'_{din} = \frac{1}{e_0} r_e, \tag{51}$$

$$rot\bar{E}'_{din} = -\frac{\partial}{\partial t'}\bar{B}'_{din}, \tag{52}$$

$$div\bar{B}'_{din} = 0, \tag{53}$$

$$rot\bar{B}'_{dun} = m_0 r_e \bar{\nabla}'_{\text{din}} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial}{\partial t'}\bar{E}'_{din}, \tag{54}$$

что с точностью до обозначений совпадает с исходными электродинамическими уравнениями (31)-(34). В таком случае, уравнения (51)-(54) относятся к системе отсчёта $\sum'$, покоящейся относительно исходной ИСО $\sum$.

Таким образом, решение электродинамических уравнений (35)-(38) для векторов поля $\bar{E}'$, $\bar{B}'$ в псевдо-инерцальной системе отсчёта получается из решения соответствующей системы исходных электродинамических уравнений (31)-(34) с последующим применением к этому решению преобразования Галилея. При этом, если рассматриваемый физический

процесс является нестационарным, то к полученному решению следует прибавить решение системы уравнений (47)-(50), отражающим, как показано в [4], эффект Доплера .

Пример 1. Заряд Q покоится, а заряд q движется со скоростью $\bar{\mathrm{v}}$ в положительном направлении оси x лабораторной ИСО $\sum$. Найти поле заряда Q в псевдо-инерциальой для него системе отсчёта $\sum'$, связанной с движущимся зарядом q.

В системе отсчёта $\sum$ поле заряда Q – это поле Кулона

$$f = \frac{1}{4pe_0}\frac{Q}{(x^2+y^2+z^2)^{1/2}}, \qquad \bar{A} = 0. \tag{55}$$

Применив к (55) преобразование Галилея

$$x = x' + \bar{\mathrm{v}}t \quad y = y', \quad z = z'. \tag{56}$$

получим

$$f' = \frac{1}{4pe_0}\frac{Q}{[(x'+\mathrm{v}t)^2+y'^2+z'^2]^{1/2}}, \qquad \bar{A}' = 0. \tag{57}$$

Из (57) следует: эквипотенциальные поверхности

$$(x'+\mathrm{v}t)^2+y'^2+z'^2 = const \tag{58}$$

заряда Q в кинематической СО $\sum'$ есть сферические поверхности, движущиеся вместе с этим зарядом в отрицательном направлении оси x'

Пример 2. Заряд Q движется со скоростью $\bar{u}$, а заряд q со скоростью $\bar{\mathrm{v}}$ в положительном направлении оси x лабораторной ИСО $\sum$. Найти поле заряда Q в псевдо-инерциальой для него системе отсчёта $\sum'$, связанной с движущимся заряда q.

В системе отсчёта $\sum$ поле заряда Q даётся выражением

$$f = \frac{1}{4pe_0}\frac{Q}{[(x-ut)^2+(1-\frac{u^2}{c^2})(y^2+z^2)]^{1/2}}, \tag{59}$$

$$\bar{A} = \frac{1}{4pe_0}\frac{Q\bar{u}}{c^2[(x-ut)^2+(1-\frac{u^2}{c^2})(y^2+z^2)]^{1/2}}. \tag{60}$$

Применив к (59), (60) преобразование Галилея (56), получим

$$f' = \frac{1}{4pe_0}\frac{Q}{[(x'+\mathrm{v}'t)^2+(1-\frac{u^2}{c^2})(y'^2+z'^2)]^{1/2}}, \tag{61}$$

$$\bar{A}' = \frac{1}{4pe_0}\frac{Q\bar{u}}{c^2[(x'+\mathrm{v}'t)^2+(1-\frac{u^2}{c^2})(y'^2+z'^2)]^{1/2}}, \tag{62}$$

где $\bar{\mathrm{v}}'$ – относительная скорость зарядов Q и q

$$\bar{v}' = \bar{v} - \bar{u}\,. \tag{63}$$

Получили, что в этом случае эквипотенциальные поверхности

$$(x' + v't)^2 + (1 - \frac{u^2}{c^2})(y'^2 + z'^2) = const \tag{64}$$

заряда Q в кинематической СО $\sum'$ есть эллипсоиды вращения, сжатые с масштабным коэффициентом $(1 - \frac{u^2}{c^2})^{1/2}$ в направлении его движения, движущиеся вместе с этим зарядом со скоростью $\bar{v}'$.

Полагая в уравнениях (61), (62)

$$\bar{v} = \bar{u}\,, \tag{65}$$

получим уравнение поля заряда Q в сопутствующей псевдо-инерциальой для него системе отсчёта $\sum'$

$$f' = \frac{1}{4pe_0} \frac{Q}{[x'^2 + (1 - \frac{u^2}{c^2})(y'^2 + z'^2)]^{1/2}}\,, \tag{66}$$

$$\bar{A}' = \frac{1}{4pe_0} \frac{Q\bar{v}}{c^2[x'^2 + (1 - \frac{u^2}{c^2})(y'^2 + z'^2)]^{1/2}}\,, \tag{67}$$

то есть эквипотенциальные поверхности

$$x'^2 + (1 - \frac{u^2}{c^2})(y'^2 + z'^2) = const \tag{68}$$

заряда Q в кинематической сопутствующей СО $\sum'$ есть покоящиеся в этой СО эллипсоиды вращения, сжатые с масштабным коэффициентом $(1 - \frac{u^2}{c^2})^{1/2}$ в направлении его движения. При этом в сопутствующей для заряда Q системе отсчёта $\sum'$ возникает магнитное поле, обусловленное движением этого заряда относительно исходной ИСО $\sum$, что соответствует эксперименту по взаимодействию двух проводников с параллельными токами. Факт сближения или удаления таких проводников с токами, как результат их взаимодействия, есть факт абсолютный, не зависящий от выбора системы отсчёта.

Заключение

До конца XIX века физика развивалась в русле преставлений динамической теории Ньютона. В основе этой теории заложен принцип относительности Галилея, обобщённый Ньютоном в его формулировке первого закона динамики точки - закона инерции и, как следствие, выделение динамических инерциальных систем отсчёта. Физика в этих системах отсчёта, это физика логики здравого смысла, поскольку она соответствует системе отсчёта обитания мыслящего субъекта: он перемещается вместе со своей системой отсчёта (Земля) и одновременно относительно неё. Также тела солнечной системы: эти тела перемещаются вместе со своей системой отсчёта (Солнце) и одновременно относительно неё. Особняком стояла оптика, не вызывая пока особой тревоги. Первым настораживающим сигналом был

эффект Доплера (1842 г.). Оптический эффект Доплера определялся лишь взаимной скоростью движения источника и приёмника волн, чем принципиально отличался от акустического эффекта Доплера. Но и это не вызвало у физиков тревоги. Положение кардинально изменилось лишь в последней трети Х1Х века. Электродинамические уравнения Максвелла и следствия из них не укладывались в рамки здравого смысла логики классической физики Ньютона, поскольку в физике появился новый объект исследования – электромагнитное поле. Возникла, в частности, проблема эфира и электродинамики движущихся тел. Выход из создавшегося кризиса в физике, в конечном итоге, предложил Эйнштейн. Интуитивно, не осознавая всей глубины проблемы, он, по существу, отказывается от принципа относительности Галилея, от первого закона Ньютона и, как следствие, от инерциальных систем отсчёта Ньютона. Вместо принципа относительности Галилея в динамических инерциальных систем отсчёта Эйнштейн вводит в физику новый принцип – требование ковариантной формы записи уравнений, описывающих законы природы, в неускоренных (СТО), а затем и в ускоренных (ОТО) системах отсчёта. Но, к сожалению, ни Эйнштейн, ни его последователи, так и не смогли до конца осознать, что требование записи уравнений движения в ковариантной форме является не физическим, а математическим, и оно справедливо и оправданно только и только в тех системах отсчёта, которые были изъяты Ньютоном из его динамической теории. Это кинематические системы отсчёта, относительно которых может возникнуть ускоренное движение материальной частицы без приложения к ней сил, что обусловлено тем, поясняет Ньютон, что такие силы приложены к материальным телам, по отношению к которым данное движение частицы наблюдается. Требование Эйнштейна ковариантной формы записи уравнений движения в кинематических системах отсчёта логически оправдано, и обусловлено тем, что в кинематике, в противоположность динамике, все системы отсчёта равноправны. Требование ковариантности уравнений Максвелла в электродинамике полностью оправдывается при описании процессов в свободном электромагнитном поле без зарядов и токов, в частности, в оптике – эффект Доплера. И это явилось объективной предпосылкой возникновения релятивистской теории относительности Эйнштейна. Но за этим последовало ничем не оправданное требование такой же ковариантной формы записи динамических уравнений движения с зарядами, токами, массами и в инерциальных (по Ньютону) системах отсчёта. Для этого пришлось, как говорят физики “руками” ввести преобразование зарядов, токов и масс, что, как показал Лоренц, не является непосредственным следствием преобразований Лоренца. В результате были отождествлены все неускоренные друг относительно друга системы отсчёта без подразделения их на динамические и кинематические. А ведь Ньютон столько усилий приложил к тому, чтобы обосновать недопустимость такого отождествления! Но, с лёгкой руки Маха, об этом было забыто, и результаты, полученные в Теории относительности Эйнштейна в кинематических системах отсчёта, стали переносить, выискивая соответствующую интерпретацию, на динамические системы отсчёта Ньютона. Однако осталось не замеченным, что при этом нарушается закон сохранения и превращения энергии. Энергия есть количественная, скалярная мера движения материи в тех процессах, где речь идёт о превращении одной формы движения материи в другую. Закон сохранения и превращения энергии проявляется лишь при взаимодействии различных форм существования материи, то есть в динамике. Нет взаимодействия, нет действия и противодействия – нет и превращения энергии. Причём в природе не существует первопричины, первоисточника движения. Существует лишь круговорот и превращение во взаимодействии одной формы движения материи в другую. Обычно, мы разрываем эту замкнутую цепочку взаимопревращений и называем первопричиной рассматриваемого явления ближайшую предшествующую форму движения материи. Так, например, такой ближайшей первопричиной возникновения магнитного поля электрического тока является работа сторонних сил, поддерживающих движение электрических зарядов.

Те движения материи, которые обусловлены лишь движением кинематических систем отсчёта, не сопровождаются превращением энергии, и такие кинематические движения не изменяют энергию наблюдаемой физической системы. Согласно же современной интер-

претации СТО Эйнштейна, при наблюдении из движущейся кинематической системы отсчёта за покоящимися в инерциальной системе отсчёта зарядами, также должно возникнуть магнитное поле поля. “Ясно,- пишет Эйнштейн в своей основополагающей статье 1905 года,- что те же результаты получаются для тел, находящиеся в покое в «покоящейся» системе, но рассматриваемые из системы, которая равномерно движется” [5]. В связи с эти Лоренц заметил: “Следует обратить особое внимание на замечательную обратимость, на которую указал Эйнштейн, До сих пор исследованиями явлений в неподвижной системе занимался только наблюдатель А0, тогда как наблюдатель А ограничивался подвижной системой S… Обратимость заключается в том, что если наблюдатель А начнёт совершенно таким же способом описывать поле неподвижной системы, он опишет его вполне точно” [6]. Однако при этом осталось не замеченным, что такая замечательная обратимость Эйнштейна приводит к нарушению закона сохранения и превращения энергии. Теория, которая предсказывает эффекты, противоречащие закону сохранения и превращения энергии, в физике отвергается. Теорию относительности Эйнштейна отвергать не понадобится, но придётся её переосмыслить как теорию в кинематических системах отсчёта. Предвидение французского учёного Пенлеве о судьбе Теории относительности Эйнштейна оказались пророческими: “Я полагаю, что от этого учения останется много формул, которые без труда будут включены в классическую науку. Но принципы или научно-философские следствия, которые при различном мнении представляются либо как скандал, либо как чудо теории относительности, не сохранятся” [7].

Исторический урок: “Распознание истинных (динамических) движений отдельных тел, и точное их разграничение от кажущихся (кинематических) весьма трудно, ибо части того неподвижного пространства, о которых говорилось, и в которых совершаются истинные движения тел, не ощущаются нашими органами чувств. Однако это дело не вполне безнадёжное. Основания для суждений можно заимствовать частью из кажущихся движений, представляющих разность истинных, частью из сил, представляющих причины и проявления истинных движений… Нахождение же истинных движений тел по причинам их производящим, по их проявлениям и по разностям кажущихся движений, и, наоборот, нахождение по истинным или кажущимся движениям их причин и проявлений излагается подробно в последующем” [3].

Библиографический список

1. Потехин А. Ф. Методологические основы физики в кинематических системах отсчёта. // Материалы Y Международной конференции «Актуальные вопросы теоретической и прикладной биофизики, физики и химии» – Севастополь (Украина), 21-25 апреля 2009 – С. 11-14. – Режим доступа: (http://potjekhin.narod.ru/).
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. / Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц – М.: Наука, 1988. – 510с.
3. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. / И. Ньютон – М.: Наука, 1989. – 688с.
4. Потехин А.Ф. О классификации систем отсчёта в классической физике Ньютона-Максвелла (Пленарный доклад на II Всеукраинской конференции «Актуальные проблемы физики»). / А.Ф. Потехин // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла. Остроградського. Випуск 5/2008 (52), частина 1 – Кременчук (Україна). 2008. – С. 118-124. – Режим доступа: (http://potjekhin.narod.ru/).
5. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. В 4-х т. – М.: Наука, 1974. –Т 1, с. 18.
6. Г.А. Лорентц. Теория электронов и её применение к явлениям света и теплового излучения. – М.: Гостехиздат, 1956. – С. 328.
7. Спасский Б. И. История физики. Т.II. – М.: Высшая школа, 1977. – С.187.

Приложение:

СПОНТАННО ВОЗНИКШАЯ ПЕРЕПИСКА ПО ДАННОМУ ДОКЛАДУ

От: Потехин А.Ф.
Кому: rybakovag2001@mail.ru
Написано: 24 апреля 2009 г., 10:38:23
Тема: БФФХ - 2009
Файлы: <none>
--==========

Здравствуйте, Владимир Леонидович (Лучин)!
Прибыл домой. Спасибо ещё раз за приём и организацию конференции!
Меня заинтриговало вскользь сделанное вами замечание при прощании. Вы сказали, что жаль, что не было на конференции одного из членов вашей кафедры, который получил результаты по эффекту Доплера, аналогичные моим. Пожалуйста, СРОЧНО сообщите Ф.И.О, этого члена кафедры и контактный адрес электронной почты для связи с ним. Есть ли среди представленных на эту конференцию докладов и его доклад?
С наилучшими пожеланиями, А. Потехин

От: Alexandr Rybakov <rybakovag2001@mail.ru>
Кому: Потехин А.Ф.
Написано: 24 апреля 2009 г., 11:40:08
Тема: БФФХ - 2009
Файлы: <none>
--==========

Уважаемый Анатолий Федорович!
Владимир Леонидович в данный момент на экскурсии в Массандре, поэтому отвечаю я. Упомянутый сотрудник нашей кафедры - это к.ф.-м.н., доцент Леонтович Александр Львович. На нашей конференции в этом году его доклада, к сожалению, не было.
С наилучшими пожеланиями и до встречи в следующем году, Д.П. Воронин

От: Потехин А.Ф.
Кому: Alexandr Rybakov <rybakovag2001@mail.ru>
Написано: 24 апреля 2009 г., 12:47:57
Тема: Письмо Леонтовичу
Файлы: <none>
--==========

Уважаемый, Александр Львович (Леонтович!
Владимир Леонидович (Лучин) сообщил мне (на второй день после моего доклада на конференции БФФХ - 2009), что в той части моего доклада, что касается эффекта Доплера, вы получили результаты, аналогичные моим. Более того, что вы уже ранее направили статью по этому вопросу в один из журналов. Пожалуйста, посмотрите мою статью в материалах конференции БФФХ - 2009 и сообщите по E-mail, в какой степени ваши результаты пересекаются с полученными мною.
С уважением, профессор Потехин А.Ф.

От: Alexandr Rybakov <rybakovag2001@mail.ru>
Кому: Потехин А.Ф.
Написано: 27 апреля 2009 г., 13:36:15

Тема: Ответ Леонтовича
Файлы: <none>
--==========--==========--==========--==========--==========--==========--==========--==========--

Уважаемый Анатолий Федорович!
Я передал Ваше письмо Александру Львовичу. Вот его дословный ответ: "Наши работы не пересекается, у меня совершенно другой подход. Как только выйдет моя статья, я обязательно перешлю ее Вам для ознакомления."
С уважением, Дмитрий Воронин

От: Потехин А.Ф
Кому: Alexandr Rybakov <rybakovag2001@mail.ru>
Написано: 27 апреля 2009 г., 14:23:36
Тема: Мой последний вопрос к А.Л. Леонтовичу
Файлы: <none>
--==========--==========--==========--==========--==========--==========--==========--==========--

Уважаемый, Александр Львович!
Признателен вам за ответ. Откровенно говоря, несколько удивлён тем, что вы не представили вашу работу по эффекту Доплера на конференцию международного масштаба, организованную вашей же кафедрой, не приняли участия в этой конференции и не пожелали войти со мной в контакт для обсуждения этого эффекта, хотя заранее знали о полученных мною результатах по эффекту Доплера из представленных мною тезисов доклада задолго до открытия конференции. Вызывает удивление также и тот факт, что закрывая дискуссию по моему докладу, Владимир Леонидович Лучин, ваш зав. кафедрой, ничего не сказал о том, что аналогичные результаты получены вами, и это при том, что я обратил внимание аудитории на то, что релятивистская формула эффекта Доплера нигде и никем ещё не была получена исходя из классической (дорелятивистской) физики. И лишь на второй день после моего доклада, прощаясь со мной, Владимир Леонидович вскользь заметил, что аналогичные результаты по эффекту Доплера, получили вы. Какие именно результаты - уточнено не было. Поэтому, мой последний к вам вопрос: получили ли вы релятивистскую формулу для эффекта Доплера исходя из классической (дорелятивистской) физики? Ответ может быть кратким: ДА или НЕТ.
С уважением, А. Потехин

ОТВЕТА НЕ ПОСЛЕДОВАЛО!

Заключение по данной переписке

Признателен зав. кафедрой физики Севастопольского национального технического университета Владимиру Леонидовичу Лучину, как основного организатора данной конференции, за своевременное предупреждение о возможности скрытого плагиата по материалам моего доклада, что подорвало бы авторитет данного вуза и лишило бы его возможности проведения этой конференции в дальнейшем.
Профессор Потехин А.Ф.

Материалы
Y Международной
научно-технической
конференции

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ БИОФИЗИКИ ФИЗИКИ И ХИМИ

Б Ф Ф Х *– 2009*

Севастополь (Украина), 21-25 апреля 2009 г.

УД К: 530.11+530.12
А.Ф.Потехин, профессор, канд. техн. наук
Одесский национальный морской университет
ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029
a_potjekhin@osmu.odessa.ua

МЕТОДОЛЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЗИКИ В КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОТСЧЁТА, [1]

Под системой отсчёта (СО) в современной теоретической физике понимают геометрическую систему координат, служащую для указания положения частицы в пространстве как функции времени. Вопрос о взаимодействии такой бестелесной кинематической конструкции с теми материальными телами, которые задействованы в рассматриваемом процессе, лишён физического смысла. Классификация таких СО ограничивается их подразделением на ускоренные и неускоренные друг по отношению к другу. Отдавая дань динамике Ньютона, те кинематические СО, которые движутся поступательно, равномерно и прямолинейно относительно сферы удалённых звёзд, следовательно, и друг относительно друга, относятся к инерциальным системам отсчёта (ИСО), поскольку в них, якобы, выполняется первый закон Ньютона – закон инерции: “Существуют системы отсчёта, в которых свободное движение тел, т. е. движение тел, не находящихся под действием внешних сил, происходит с постоянной скоростью. Такие СО носят название инерциальных” [2]. Однако эти СО следует называть кинематическими псевдо-инерциальными, поскольку свободное движение тела с постоянной скоростью относительно СО есть, по Ньютону, лишь необходимое, но недостаточное условие отнесения их к инерциальным. По Ньютону, должно выполняться ещё одно условие: если СО инерциальная для данного свободного тела, то оно может быть ускоренно относительно этой СО отсчёта тогда и только тогда, когда именно к нему приложены внешние силы: “Всякое тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, **пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние**” [3]. Относительно же псевдо-инерцальной СО ускорение тела может быть вызвано не только приложением к нему внешних сил, но и ускорением самой этой СО относительно ИСО: “Для этого достаточно, чтобы силы были приложены к тем телам, по отношению к которым это движение определяется” [3].

Согласно Ньютону СО, связанная с каютой корабля, который движется поступательно, равномерно и прямолинейно относительно берега, является ИСО для всех тел, участвующих в переносном движении этого корабля, как следствие взаимодействия с ним. Система отсчёта другого корабля, который также движется поступательно, равномерно и прямолинейно относительно берега, является ИСО для всех тел, участвующих в переносном движении этого другого корабля, как следствия взаимодействия с ним. Эти две ИСО друг относительно друга также движутся поступательно, равномерно и прямолинейно. Отличительной особенностью таких динамически выделенных ИСО является факт, отмеченный впервые Галилеем: если мы проведём какой-либо опыт в каюте одного корабля и точно такой же опыт в каюте другого корабля, то оба этих опыта в своей каюте будут протекать, наблюдаться и описываться одинаково. То есть, в этих ИСО выполняется динамический принцип относительности Галилея-Ньютона. Выполнение этого принципа

есть экспериментальный факт. В таких и только в таких динамически выделенных ИСО, на базе экспериментов в них, сформулированы как законы динамики Ньютона, так и уравнения электродинамики Максвелла

В практической деятельности возникла необходимость рассмотрения законов и уравнений движения не только в динамических, но и в кинематических СО. Если законы и уравнения движения в динамических СО уже найдены, то для того, чтобы сформулировать эти же законы и уравнения движения в кинематических СО, достаточно применить формально-математические преобразования систем отсчёта. Вид этих преобразований зависит от той кинематики, которая положена в основу описания физических процессов. В классической физике – это преобразования Галилея в кинематике Ньютона, в СТО Эйнштейна – это преобразование Лоренца в кинематике Минковского. Именно Эйнштейну мы обязаны последовательному изучению физических процессов в кинематических СО, продемонстрированному им вначале в СТО, а затем, и в ОТО. Причём, именно Эйнштейном был найден тот принцип, которым следовало руководствоваться при описании физических процессов в кинематических СО – требование ковариантной формы записи физических законов и уравнений движения. Этот принцип ковариантности является прямым следствием того факта, что все кинематические СО равноправны и любая из них может быть принята за неподвижную. Принцип ковариантности Эйнштейна в кинематических СО является аналогом принципа относительности Галилея-Ньютона в динамических ИСО. Значимость развития теории в кинематических СО не вызывает сомнения, особенно в теории физических полей. Однако важность таких СО этим не ограничивается.

Известно, что эффект Доплера в материальных средах (звук) не симметричен, а в физических полях (свет) симметричен относительно движения источника и приёмника. Современная физика этот факт констатирует, но не объясняет. Физические предпосылки этого эффекта могут быть поняты лишь с позиции динамических и кинематических СО.

Если источник движется относительно материальной среды, а приёмник покоится, то эффект Доплера обусловлен динамическим взаимодействием источника со средой. Вследствие движения источника, меняются такие физические параметры, как частота и длина волны. Регистрация этого эффекта осуществляется в динамической ИСО покоящейся среды.

Эффект Доплера в материальной среде при неподвижном источнике и движущемся приёмнике обусловлен кинематикой процесса. При этом меняются такие кинематические параметры как частота и скорость волны. Регистрация этого эффекта осуществляется в кинематической системе отсчёта движущегося приёмника.

В случае одновременного движения с разными скоростями источника и приёмника, эффект Доплера в материальной среде обусловлен частично динамикой процесса, вследствие движения источника, частично кинематикой процесса, вследствие движения приёмника. Регистрация эффекта осуществляется в кинематической системе отсчёта приёмника.

С учётом названных факторов, получаются известные формулы для эффекта Доплера в каждом из перечисленных выше случаев. Но ни в одном из этих случаев не удаётся выразить эффект Доплера только через относительную скорость движения источника и приёмника.

Отличительной особенностью эффекта Доплера в материальных средах является то, что источник и приёмник движутся не только относительно среды, но и принимают участие в общем переносном движении вместе со средой, с которой связана ИСО. Этим эффект Доплера в материальных средах принципиально отличается от его проявления в физических полях. В последнем случае у нас нет основания утверждать, что источник и приёмник участвуют в общем переносном движении со средой, как носителем волн, с которой можно было бы связать ИСО. Даже если предположить, что такая среда существует, не существует, однако, экспериментальных методов измерения скорости движения источника и приёмника относительно этой среды. Скорость волн в таких средах может быть

измерена лишь в среднем на пути “туда – обратно”. В таком случае, остаётся одна возможность: выразить эффект Доплера через скорость волны на пути “туда – обратно” и относительную скорость движения источника и приёмника. Учёт этих факторов позволяет обосновать, в пределах кинематики Ньютона и преобразований Галилея, релятивистскую формулу для эффекта Доплера в физических полях, не прибегая к уравнениям Максвелла. При этом, проявляется возможность формально-математической интерпретации таких кинематических эффектов в физических полях (и только!), как сокращение длины и замедление периода колебаний волн.

Выявленная на примере эффекта Доплера возможность разделения описания физического процесса в кинематических СО на динамическую и кинематическую части подлежит обобщению. Действительно, основное уравнение динамики точки в динамической ИСО преобразованием к кинематической ускоренной СО приводится к виду

$$m\boldsymbol{a}^{отн} = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{N} + \boldsymbol{J}^{пер} + \boldsymbol{J}^{Кор}, \tag{1}$$

которое можно переписать в виде

$$m(\boldsymbol{a}^{отн}_{дин} + \boldsymbol{a}^{отн}_{кин}) = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{N} + \boldsymbol{J}^{пер} + \boldsymbol{J}^{Кор}, \tag{2}$$

где $\boldsymbol{a}^{отн}_{дин}$ динамическая часть относительного ускорения материальной точки, обусловленная приложенными к ней силами и $\boldsymbol{a}^{отн}_{кин}$ – кинематическая часть относительного ускорения, обусловленная ускоренным движением самой кинематической системы отсчёта относительно исходной ИСО. Уравнение (2) распадается на два уравнения

$$m\boldsymbol{a}^{отн}_{дин} = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{N}, \tag{3}$$

$$m\boldsymbol{a}^{отн}_{кин} = \boldsymbol{J}^{пер} + \boldsymbol{J}^{Кор}, \tag{4}$$

где $\boldsymbol{J}^{пер}$, $\boldsymbol{J}^{Кор}$ – соответственно переносная и Кориолисова псевдо-силы инерции. Первое из этих уравнений (3) описывает динамическую часть относительного движения материальной точки, обусловленную приложенными к ней силами. Второе уравнение (4) описывает кинематическую часть относительного движения материальной точки, обусловленную ускоренным движением самой кинематической системы отсчёта.

Аналогично, основное уравнение динамики точки в неинерциальной СО [1]

$$m\boldsymbol{a}^{отн} = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{N} + \boldsymbol{N}^{пер} + \boldsymbol{F}^{пер}_{дин} + \boldsymbol{N}^{Кор} + \boldsymbol{F}^{Кор}_{дин} \tag{5}$$

преобразованием к кинематической ускоренной системе отсчёта приводится к виду

$$m(\boldsymbol{a}^{отн}_{дин} + \boldsymbol{a}^{отн}_{кин}) = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{N} + \boldsymbol{N}^{пер} + \boldsymbol{F}^{пер}_{дин} + \boldsymbol{N}^{Кор} + \boldsymbol{F}^{Кор}_{дин} + \boldsymbol{J}^{пер}_{кин} + \boldsymbol{J}^{Кор}_{кин}, \tag{6}$$

которое также распадается на две части

$$m\boldsymbol{a}^{отн}_{дин} = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{N} + \boldsymbol{N}^{пер} + \boldsymbol{F}^{пер}_{дин} + \boldsymbol{N}^{Кор} + \boldsymbol{F}^{Кор}_{дин}, \tag{7}$$

$$m\boldsymbol{a}^{отн}_{кин} = \boldsymbol{J}^{пер}_{кин} + \boldsymbol{J}^{Кор}_{кин}, \tag{8}$$

где $\boldsymbol{F}^{пер}_{дин}$, $\boldsymbol{F}^{Кор}_{дин}$ – соответственно динамическая переносная и Кориолисова силы инерции и $\boldsymbol{J}^{пер}_{кин}$, $\boldsymbol{J}^{Кор}_{кин}$ – кинематическая переносная и Кориолисова псевдо-силы инерции. При этом заметим, что $\boldsymbol{F}^{пер}_{дин}$, $\boldsymbol{F}^{Кор}_{дин}$ определяются ускорением динамической неинерциальной СО относительно инерциальной, а $\boldsymbol{J}^{пер}_{кин}$, $\boldsymbol{J}^{Кор}_{кин}$ определяются ускорением кинематической СО относительно данной неинерциальной СО. Например, в знаменитом опыте Ньютона с вращающимся ведром с водой, система отсчёта, связанная с ведром, в переходном процессе вовлечения частиц воды во вращение ведра, частично является динамической – этому соответствует уравнение (7), частично кинематической – уравнение (8), в совокупности – уравнение (6).

Аналогичный результат получается в электродинамике. Применив к электродинамическим уравнениям Максвелла с зарядами и токами, справедливым в ИСО, преобразование Галилея, получим электродинамические уравнения в псевдо-инерциальных СО, которые также распадаются на две независимые системы уравнений.

Заключение: “Распознание истинных (динамических) движений отдельных тел и точное их разграничение от кажущихся (кинематических) весьма трудно. Ибо части того неподвижного пространства, в котором совершаются истинные движения тел, не ощущаются нашими органами чувств” [3].

Библиографический список

1. Потехин А.Ф. О классификации систем отсчёта в классической физике Ньютона-Максвелла (Пленарный доклад на II Всеукраинской конференции «Актуальные проблемы физики»). / А.Ф. Потехин // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла. Остроградського. Випуск 5/2008 (52), частина 1 – Кременчук (Україна). 2008. – С. 118-124. – Режим доступа: (http://potjekhin.narod.ru/).
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. / Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц – М. Наука, 1988. – 510с.
3. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. / И. Ньютон – М. Наука. 1989. – 688с.