

УДК 535.32

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОЛЕЙ В МОДЕЛИ РАСШИРЕННОГО ПРОСТРАНСТВА: ПРЕДСКАЗАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Д. Ю. Ципенюк

Проведена серия предварительных экспериментов по проверке предсказания о возможности генерации гравитационного поля при торможении заряженных массивных частиц в веществе.

В предыдущих работах [1 – 7] было предложено обобщение специальной теории относительности (СТО) на 5-мерное расширенное пространство с метрикой (+; -, -, -, -).

Была построена модель, объединяющая электромагнитное и гравитационное взаимодействия. Для этого построено расширение (1 + 3)-мерного пространства Минковского $M(T; \vec{X})$ на (1 + 4)-мерное пространство $G(T; \vec{X}, S)$, которое мы будем называть расширенным пространством. В качестве пятой дополнительной координаты используется та величина, которая уже существует в пространстве Минковского, а именно, интервал S

$$s^2 = (ct)^2 - x^2 - y^2 - z^2. \quad (1)$$

Эта величина сохраняется при обычных преобразованиях Лоренца в пространстве Минковского $M(T; \vec{X})$, но меняется при поворотах в расширенном пространстве $G(T; \vec{X}, S)$. Таким образом, пространство Минковского $M(T; \vec{X})$ – это конус в расширенном пространстве $G(T; \vec{X}, S)$. В этом пространстве сохраняется только величина

$$(ct)^2 - x^2 - y^2 - z^2 - s^2 = \text{const}. \quad (2)$$

Геометрический смысл новой координаты – интервал в пространстве Минковского, а физически мы связываем ее с показателем преломления n . Предполагается, что при

движении по траектории с переменным n масса покоя частиц меняется, что приводит и к изменению создаваемого ими гравитационного поля.

В частности, частицы с нулевой массой (фотоны), попадая из пустого пространства с $n = 1$ в среду с $n > 1$, приобретают ненулевую массу и начинают служить источником гравитационного поля. Предложенная в [3] объединенная система уравнений призвана описывать такие процессы.

Необходимо отметить, что попытки объединения гравитации и электромагнетизма имеют большую историю.

Современные подходы к данной проблеме восходят к работе Ф. Клейна [10], в которой он показал, что классическую гамильтонову механику можно представить как оптику в пространстве большего числа измерений.

Затем Т. Калуца предпринял попытку обобщить теорию гравитации Эйнштейна, с тем, чтобы включить в нее и электромагнетизм [11]. Он предложил рассмотреть $(1 + 4)$ -мерное пространство с метрикой, зависящей от потенциалов электромагнитного поля. Идея Калуцы была развита О. Клейном [12], Г. Манделем [13] и В. Фоком [14], построенная ими модель получила название теории Калуцы–Клейна. Было показано, что траектория заряженной частицы имеет вид геодезической линии нулевой длины в 5-мерном пространстве.

Ю. Румер в своих работах по 5-оптике [15] предложил приписать новому измерению размерность действия и считать его периодическим с периодом, равным постоянной Планка. Отметим, что во всех этих построениях масса покоя частиц, в отличие от развиваемой в работах [1 – 7] модели расширенного пространства, считалась фиксированной величиной.

Последующее развитие многомерных теорий изложено в монографии [16]. Отдельное направление образуют многомерные конструкции в теории струн и суперструн [17].

Близким к предлагаемой модели расширенного пространства $G(T; \vec{X}, S)$ является развитый в [18] подход к построению $(1 + 4)$ -мерного пространства. Здесь в качестве пятой координаты предлагается использовать массу (материю). Однако в этой модели, как признают и сами авторы, невозможно построить, например, тензор энергии-импульса. В модели расширенного пространства $G(T; \vec{X}, S)$ этот недостаток отсутствует [2].

Во введенном расширенном пространстве была построена механика материальной точки [1, 4, 7] и электродинамика [1, 2], а также рассмотрены потенциалы Лиенара–Вихерта [5], соответствующие такой модели, и проанализированы свойства отвечающих им решений расширенной системы уравнений Максвелла.

Были рассмотрены также гравитационные эффекты в расширенном пространстве, такие как вторая космическая скорость, красное смещение и отклонение света [6]. Показано, что формулы, которые получаются в общей теории относительности для расчета величины этих эффектов, можно получить совершенно другим способом и в рамках модели расширенного пространства.

Было показано [5], что поля в модели расширенного пространства могут менять свой знак. Такое изменение знака напряженностей полей и, как следствие, смену знака силы Лоренца, можно связать с реакцией излучения этих полей, которое возникает, когда заряженные частицы движутся с ускорением.

Таким образом, в модели расширенного пространства было показано, с одной стороны, что можно, используя технику поворотов в расширенном пространстве, получить некоторые формулы, описывающие гравитационные эффекты общей теории относительности [6], а, с другой стороны, что электромагнитное поле может служить источником гравитационного поля [4, 5].

Кроме того, движущаяся массивная заряженная частица, испытывая торможение, может создавать вокруг себя переменное гравитационное поле [3, 5, 6] (часть приведенных выше результатов можно найти в [9]). Для экспериментальной проверки последнего предположения был предложен и проведен следующий эксперимент, в котором возможное возникновение гравитационного поля при торможении релятивистских электронов определялось по изменению колебаний массивного крутильного маятника.

Экспериментальная установка. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Узкий пучок релятивистских электронов из микротрона 1 (средняя мощность пучка 450 Вт, энергия электронов 30 МэВ) направлялся на тормозную мишень (положение 2 или 3), изготовленную из вольфрама, где и происходило торможение ускоренных электронов.

Для регистрации гравитационного поля, возможно возникающего при торможении электронов, рядом с тормозной мишенью располагался специальный крутильный маятник, подвешенный на вертикальном подвесе 5, изготовленном из пружинящей металлической струны диаметром 1.8 мм, длина подвеса 85 см. Маятник мог свободно вращаться на подвесе только в горизонтальной плоскости.

Маятник состоял из легкой алюминиевой штанги 4 (длиной 120 см), на концах которой закреплены массивные грузы 6 и 7 из немагнитного материала по 4 кг каждый; в центре маятник специальным креплением, исключающим проскальзывание при поворотах, был прикреплен к вертикальному подвесу 5. Маятник был заземлен и допол-

нительно экранирован со всех сторон металлической сеткой для уменьшения влияния электромагнитных наводок. Период свободных колебаний маятника составил около 40 с.

Жесткость вертикального подвеса маятника могла изменяться путем ограничения длины эффективно работающей части подвеса. В результате чего период колебаний можно было непрерывно менять в пределах от 40 до 27 с.

Для уменьшения влияния механических шумов и введения дополнительного затухания в колебания маятника использовались два жидкостных демпфера 10 и 11, расположенных около массивных грузов маятника.

Наблюдение за отклонениями маятника проводилось на проградуированном экране по отклонению лазерного луча, отраженного от плоского зеркала 8, прикрепленного к маятнику. Для этого луч от непрерывного *He-Ne* лазера 9 через оптическую систему 12, сужающую угол расходимости лазерного луча, направлялся на зеркало через специальный узкий канал 14 в бетонной защите 13 вокруг микротрона. Отраженный зеркалом луч регистрировался на экране 16, расположенном на расстоянии 500 см от зеркала, видеосистемой 15, которая позволяла дистанционно контролировать колебания лазерного пятна и дополнительно увеличивала угол зрения в 12 раз. Диаметр сфокусированного лазерного луча на экране 16 составлял 0.15 мм. Максимальный угол поворота маятника, при котором отраженный луч оставался в пределах приемного канала, составил примерно 2 градуса. Точность фиксации угла поворота всей системой $5 \cdot 10^{-4}$ град.

Маятник располагался таким образом, чтобы один из массивных грузов находился вблизи тормозной мишени на расстоянии около 20 см. Имелась также возможность перемещать тормозную мишень от одного конца маятника (положение 2) в другой конец (положение 3). Это позволяло при неизменных параметрах всех неучтенных механических шумов и электромагнитных наводок изменять место торможения пучка электронов. Таким образом, менялось направление закручивания маятника под возможным воздействием возникающего гравитационного излучения.

Калибровочные измерения. Для проведения измерений необходимо было подобрать оптимальные параметры маятника (массу грузов, жесткость подвеса, величину затухания колебаний). С одной стороны, желательно, чтобы при проведении измерений амплитуда колебаний маятника была по возможности максимальной. С другой стороны, отраженный от зеркала луч должен не выходить за пределы наблюдения, ограниченные диаметром узкого наблюдательного канала в радиационной защите вокруг ускорителя. Кроме того, характерное время работы ускорителя под нагрузкой обычно составляло 10 – 15 минут.

Необходимость накопить за это время минимально достаточный статистический материал накладывала ограничения на период колебаний и время установления нового положения равновесия маятника при внешнем воздействии. Все эти требования были по возможности учтены при выборе окончательных параметров установки.

Пример свободных колебаний маятника при наличии небольших механических вибраций от работающих вакуумных насосов приведен на рис. 2, серия I (эксперимент проводился 31.05.2001). На графике изображены амплитуды колебания на экране лазерного луча (верхний и нижний ряды значений), отраженного от зеркала, прикрепленного к маятнику, в зависимости от номера колебания и рассчитанное по этим амплитудам текущее положение равновесия. Точность определения положения центра светового пятна составляла 0.1 мм.

Измерения проводились при одном задействованном жидкостном демпфере и увеличенной жесткости подвеса (путем ограничения эффективно работающей длины подвеса). Период свободных колебаний в этой серии равнялся 29 с. В этом случае происходило установление незатухающих колебаний маятника вокруг среднего значения равновесия 2.2 мм со средней амплитудой колебаний значений около 0.2 мм.

Для изучения отклика маятника на небольшую постоянную внешнюю силу проводился обдув очень слабым постоянным потоком воздуха одного из массивных грузов. В этом случае (рис. 2, серия II) заметное изменение колебаний маятника происходило уже через 3 – 4 периода. Полное установление нового положения равновесия происходило через 7 – 8 колебаний.

В случае другой серии калибровочных измерений (проводившихся 07.06.2001) были задействованы оба жидкостных демпфера и уменьшена жесткость подвеса. Период свободных колебаний маятника составил около 40 с.

Добавление второго демпфера и уменьшение жесткости подвеса привело, с одной стороны, к увеличению амплитуды колебаний маятника под воздействием внешней силы, а, с другой стороны, теперь заметное изменение положения равновесия маятника происходило уже через 1 – 2 колебания.

Проводилась также периодическая проверка неизменности начального среднего положения равновесия маятника со временем. Так, например, в серии измерений 07.06.2001 были проведены контрольные измерения не только положения равновесия до начала основных серий измерений, но и через 2 часа после окончания основных работ.

Экспериментальные результаты и их анализ. За период с 17.05.2001 по 07.06.2001 было проведено 7 серий измерений при различных режимах работы ускорителя и разных

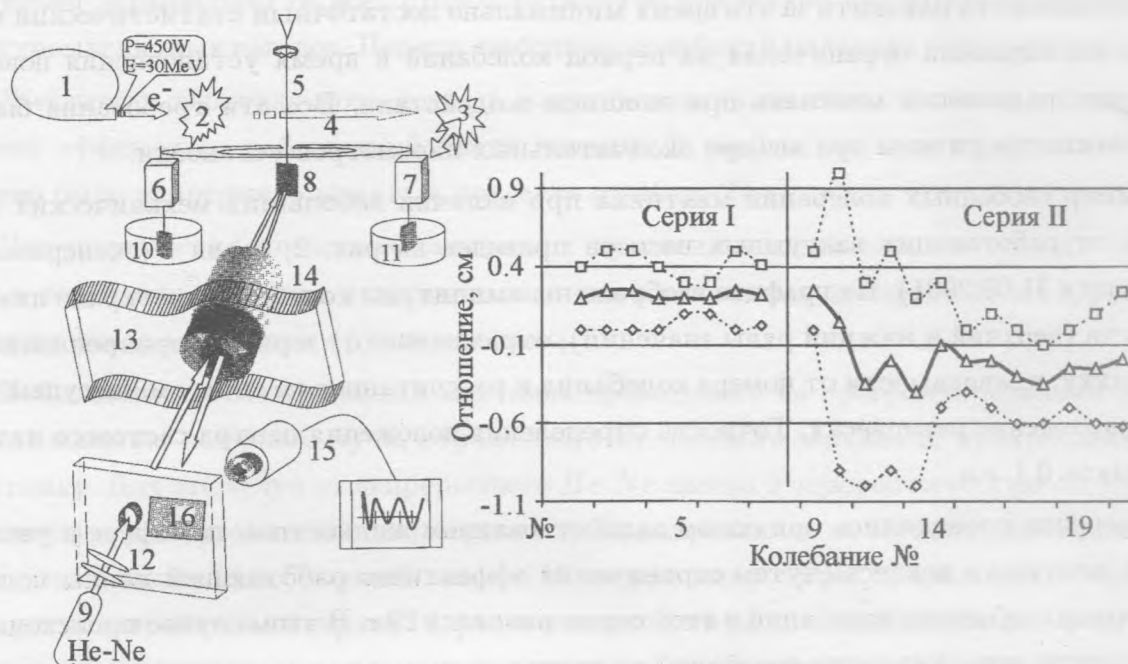


Рис. 1. Экспериментальная установка. 1 – микротрон, тормозная мишень из вольфрама – положения 2 или 3, 4 – штанга, 5 – вертикальный подвес, 6 и 7 – массивные грузы, 8 – зеркало, 9 – He-Ne лазер, 10 и 11 – жидкостные демпферы, 12 – оптическая система, 13 – бетонная защита, 14 – наблюдательный канал, 15 – видеосистема, 16 – экран.

Рис. 2. Калибровочные измерения 31.05.2001. На графике изображена амплитуда колебания на экране 16 лазерного луча (верхний и нижний ряды значений), отраженного от зеркала 8 в зависимости от номера колебания и рассчитанное по этим амплитудам текущее среднее положение равновесия (средний ряд). Серия I – колебания под воздействием фоновых механических шумов. Серия II – отклик маятника на небольшую постоянную внешнюю силу.

параметрах маятника.

Как и при проведении калибровочных измерений, до включения и после выключения электронного пучка проводилась запись контрольного положения равновесия маятника. При этом все электрические наводки и механические шумы оставались неизменными в течение всего периода измерений. Это достигалось с помощью предварительного включения всех устройств, использовавшихся во время измерений (водяных и вакуумных насосов, магнетрона, отклоняющих магнитов и т.д.), и их отключения только после полного окончания измерений.

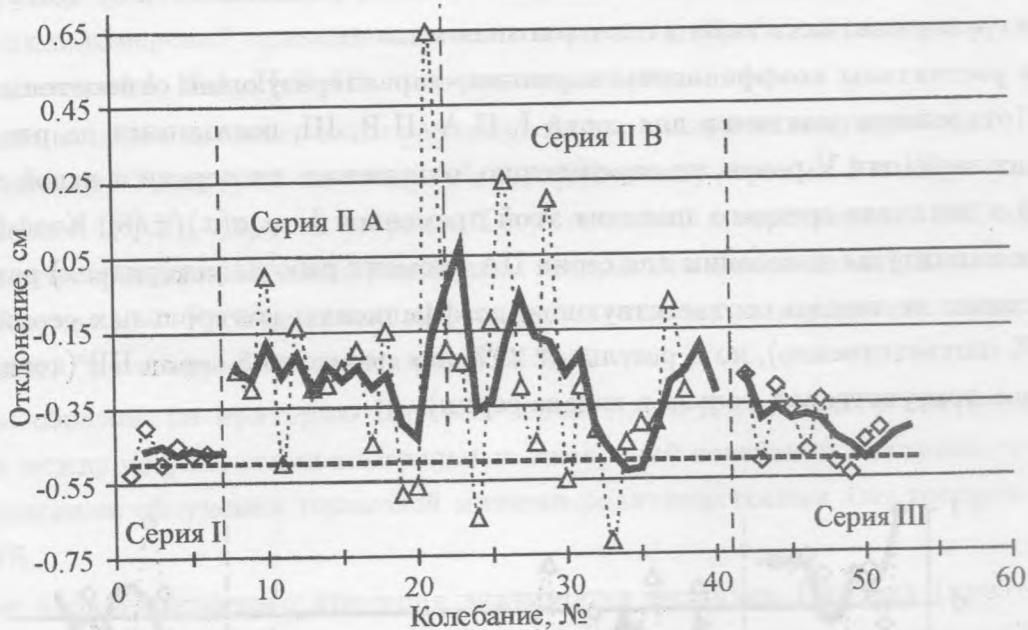


Рис. 3. Измерение среднего положения равновесия маятника при положении тормозной мишени в позиции 3. Серии I и III – контрольные измерения непосредственно до включения и через несколько минут после выключения электронного пучка. Серии II-A и II-B – колебания маятника в момент работы ускорителя (около 10 минут) и некоторое время после выключения пучка. Дополнительно проведена линии тренда (усреднение по 3 точкам).

На рис. 3 приведены результаты по измерению среднего положения маятника при положении тормозной мишени в позиции 3 (см. рис. 1). Серии I и III на графике соответствуют контрольным измерениям непосредственно до включения и через несколько минут после выключения электронного пучка. Серии II-A и II-B суммарно отражают колебания маятника в момент работы ускорителя (около 10 минут) и некоторое время после выключения пучка. Дополнительно проведена линия тренда (усреднение по 3 точкам).

На рис. 4 приведены результаты аналогичного эксперимента, единственным отличием которого было положение тормозной мишени в позиции 2. Также добавлена линия тренда (усреднение по 3 точкам).

Из качественного сравнения линий тренда на рис. 3 и рис. 4 можно заключить, что имеет место корреляция между включением электронного пучка и средним отклонением маятника от положения равновесия по сравнению с контрольными сериями до и после

включения. Причем направление отклонения меняется в зависимости от того, рядом с каким из грузов маятника находится тормозная мишень.

Были рассчитаны коэффициенты вариации, характеризующие относительную амплитуду отклонения маятника для серий I, II-A, II-B, III, показанных на рис. 3. Коэффициент вариации V равен, по определению, отношению дисперсии σ какой-либо переменной к величине среднего значения этой переменной $V = \sigma(x)/\bar{x}$ [8]. Коэффициент вариации амплитуды колебаний для серии IIА (момент работы ускорителя) равен 38% и превосходит не только соответствующие коэффициенты контрольных серий I и III (18 и 23% соответственно), но и результат 29% для переходной серии IIВ (когда пучок электронов присутствовал только в начале серии).

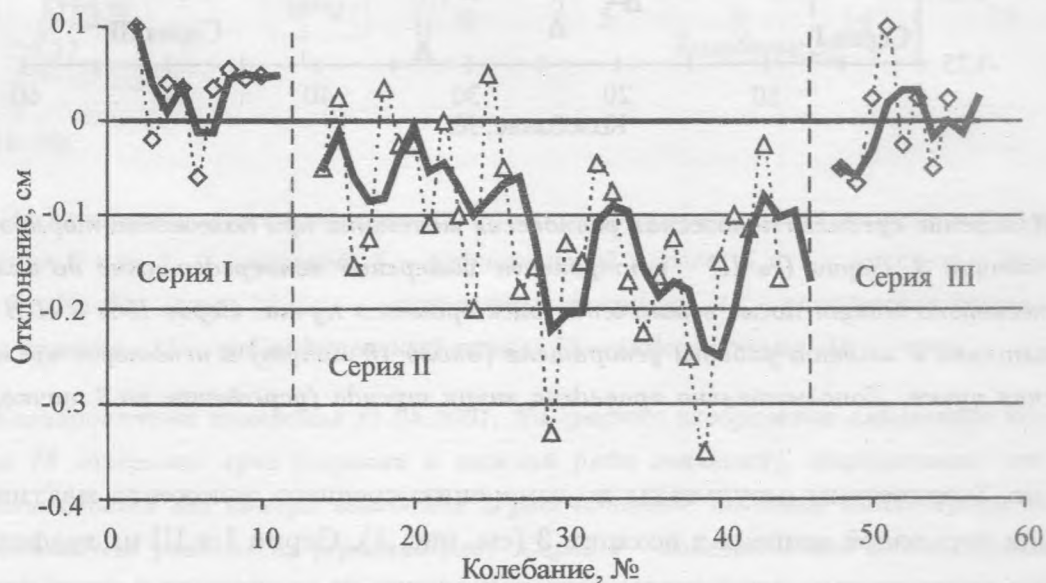


Рис. 4. Результаты аналогичного эксперимента по измерению среднего положения равновесия маятника, единственное отличие – теперь тормозная мишень находится в позиции 2. Серии I и III – контрольные измерения непосредственно до включения и после выключения электронного пучка. Серии II – колебания маятника в момент работы ускорителя.

К сожалению, по не зависящим от автора причинам, на данный момент представляется затруднительным существенно улучшить точность экспериментов или накопить большой статистический материал. Поэтому была проведена дополнительная оценка различными методами достоверности того факта, что зафиксированные отклонения статистически достоверны.

Примеры результатов оценок значимости различий между контрольными и основными сериями измерений приведены ниже на основании обработки экспериментальных результатов серий I, II-A, II-B, III, приведенных на рис. 3.

Проведена оценка достоверности различий по параметрическому критерию Пирсона (так называемый "критерий хи-квадрат", см. [8]) между сериями I и III, с одной стороны, и серией II-A, B, с другой стороны. Теоретический доверительный 99% критерий того, что эти серии принадлежат различным генеральным последовательностям, равен в нашем случае 13.3. Рассчитанный на основе полученных экспериментальных данных коэффициент "хи-квадрат" оказался равным 30.6.

Таким образом, по критерию Пирсона вероятность достоверного статистического различия между результатами контрольных измерений колебаний маятника по сравнению с периодами облучения тормозной мишени релятивистскими электронами превосходит 99%.

Кроме параметрического критерия значимости различия Пирсона (критерий χ^2) между контрольными I, III (пучок электронов отсутствует) и основными II-A, II-B (пучок электронов присутствует) сериями измерений была сделана также проверка достоверности наличия отклонения среднего положения маятника на основании непараметрических критериев различия.

Серийный критерий различия [8] (основанный на вероятностной оценке необходимого для достоверного различия числа непрерывных серий значений сравниваемых совокупностей), дал 99% достоверность вероятности различий.

Критерий Колмогорова-Смирнова [8] (основанный на сравнении рядов накопленных частностей двух сравниваемых эмпирических совокупностей) дал значения, лежащие между уровнями 95% и 99%, достоверности различия исследуемых экспериментальных серий.

Была также сделана оценка величины силы, которая может вызвать смещение положения равновесия маятника. В проведенных экспериментах это отклонение не превосходило 1 – 2 мм (в единицах регистрирующей шкалы).

Калибровка жесткого подвеса дала верхнюю границу этой силы, если она приложена к массивному грузу на конце маятника – не более 10^{-6} Н.

Заключение. Проведена серия экспериментов по проверке предсказания о возможности генерации гравитационного поля при торможении заряженных массивных частиц в веществе.

В качестве источника заряженных частиц был использован ускоритель электронов.

Узкий пучок релятивистских электронов (средняя мощность пучка 450 Вт, энергия электронов около 30 МэВ) направлялся на тормозную мишень, изготовленную из вольфрама, где и происходило торможение ускоренных электронов.

Измерения показали появление статистически достоверного отклонения крутильного маятника, один из массивных грузов которого находится рядом с тормозной мишенью, в момент торможения пучка релятивистских электронов.

Было также зафиксировано изменение направления закручивания маятника при сдвиге тормозной мишени от одного конца маятника к другому. Величина силы, вызывающей отклонение маятника, имеет верхнюю границу 10^{-6} Н.

Конечно, эти первые экспериментальные результаты по проверке предсказаний, сделанных на основе развития модели расширенного пространства, носят предварительный характер и нуждаются в гораздо более основательной проверке, что и будет служить дальнейшей основой для будущих экспериментов.

Автор выражает глубокую признательность Б. С. Закирову за помощь в проведении экспериментов на ускорителе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ципенюк Д. Ю., Андреев В. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 6, 23 (2000).
- [2] Ципенюк Д. Ю., Андреев В. А. Препринт ИОФАН, N 9, М., 1999.
- [3] Ципенюк Д. Ю., Андреев В. А. Препринт ИОФАН, N 2, М., 2000.
- [4] Ципенюк Д. Ю., Андреев В. А. Препринт ИОФАН, N 5, М., 1999.
- [5] Ципенюк Д. Ю., Андреев В. А. Препринт ИОФАН, N 1, М., 2001.
- [6] Ципенюк Д. Ю., Андреев В. А. Препринт ИОФАН, N 4, М., 2001.
- [7] Ципенюк Д. Ю., Андреев В. А. Электронный журнал "Исследовано в России", 60 (1999). <http://zhurnal.mipt.rssi.ru/articles/1999/060.pdf>.
- [8] Урбах В. Ю. Математическая статистика, М., Изд-во АН СССР, 1963.
- [9] Tsirenjuk D. Yu. Электронный архив (2001). <http://arXiv.org/abs/physics/0107007>.
- [10] Klein F. Zeits.f.Math.a.Phys., **375**, (1901) (перевод см. в сборнике "Вариационные принципы механики", М., Физматгиз, 1960).
- [11] Kaluza Th. Sitz.d.Preuss.Akad., **966**, (1921) (перевод см. в сборнике "Альберт Эйнштейн и теория гравитации", М., Мир, 1979).
- [12] Klein O. Zeits.f.Phys., **37**, 895 (1926).

- [13] Mandel H. Zeits.f.Phys., **39**, 136 (1926).
- [14] Fock V. Zeits.f.Phys., **39**, 226 (1926).
- [15] Румер Ю. Б. Исследования по 5-оптике, М., Гостехиздат, 1956.
- [16] Владимиров Ю. С. Размерность физического пространства-времени и объединение взаимодействий. М., МГУ, 1987.
- [17] Грин М., Шварц Дж., Виттен Э. Теория суперструн, **1,2**, М., Мир, 1990.
- [18] Wesson P. S. Space, time, matter: Modern Kaluza-Klein theory. Singapoure, World Scientific publishing Co.Pte.Ltd, 1999.

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 11 июля 2001 г.