ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р2-95-216

В.Н.Стрельцов

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ СИЛА ТЯГОТЕНИЯ НЬЮТОНА

Направлено в журнал «Известия вузов, серия физика»

1995

В свое время потенциалы электромагнитного поля движущегося заряда (потенциалы Лиенара — Вихерта) были получены как следствие лоренц-преобразования потенциала Кулона [1]. При «релятивизации» кулоновского потенциала учитывался эффект запаздывания действия поля путем привлечения 4-вектора светового (запаздывающего) расстояния.

Потенциал Ньютона гравитационного поля покоящегося тела (частицы) массы m имеет вид

$$\varphi^* = -G\frac{M}{R^*} \tag{1}$$

(S^* — система), где G — гравитационная постоянная, и аналогичен потенциалу Кулона. Поэтому, без сомнения (см., в частности, [2]), в результате «релятивизации» последнего выражения мы также должны получить потенциалы запаздывающего типа.

Релятивистский потенциал Ньютона [3]. Для перехода к системе отсчета (S), где частица движется со скоростью Bc, воспользуемся преобразованиями Лоренца. При этом мы учтем, что инвариантная запись знаменателя имеет вид

$$R^* = 1 \cdot R_0^* = U_*^i R_i^* = U^i R_i \,. \tag{2}$$

Здесь 4-скорость $U_*^i = (1,0,0,0)$, R^i — 4-вектор светового, или запаздывающего расстояния $R^i = (cT,\ R^\alpha)$. Формулу (2) можно также представить в виде

$$U^i R_i = \Gamma R + B^\alpha \Gamma R_\alpha = R(1 - B\cos\vartheta)\Gamma, \tag{3}$$

где $\Gamma = (1 - B^2)^{-1/2}$, а ϑ — угол между радиус-вектором запаздывающего расстояния и вектором скорости.

Теперь мы должны установить как преобразуется левая часть (1). Для этого обратимся к уравнению Ньютона — Пуассона для непрерывного распределения материи:

$$\Delta\varphi^* = 4\pi G\rho^* \,. \tag{4}$$

С учетом того, что при релятивизации (4) оператор Лапласа заменяется лоренц-инвариантным оператором Даламбера, характер преобразования потенциала в левой части (4) будет непосредственно определяться преобразованием ρ^*. Но, как мы знаем, плотность массы является временной компонентой соответствующего 4-вектора плотности тока материи J^i. Иными словами, ньютонов потенциал (будучи 3-скаляром) должен с необходимостью также описываться временной компонентой 4-вектора ($\varphi = g^0$). В результате для гравитационного потенциала релятивистской частицы будем иметь

$$g^i = -G\frac{MU^i}{R(1 - B\cos\vartheta)\Gamma}. \tag{5}$$

В частности, для временной компоненты, или «собственно» ньютонова потенциала получим

$$g^0 = \varphi = -G\frac{M}{R(1 - B\cos\vartheta)}. \tag{6}$$

Соответствующее релятивистское обобщение силы Ньютона имеет вид

$$F^i = -mG^{ik}u_k, \tag{7}$$

где G^{ik} — тензор напряженности гравитационного поля. Для отвечающего (4) ковариантного уравнения Ньютона — Пуассона будем иметь

$$\Box g^i = 4\pi G J^i. \tag{8}$$

Напряженности гравитационного поля, как мы будем предполагать, описываются симметричным тензором 2-го ранга. В случае антисимметричного тензора мы, очевидно, имели бы полную аналогию с электромагнитным полем и, в частности, уравнения Максвелла в качестве уравнений поля. Теории такого типа достаточно широко рассматривались в свое время (см., например, [4]). Следует упомянуть также лоренц-ковариантные теории гравитации Пуанкаре — Минковского [5].

В рамках нашего подхода для напряженности гравитационного поля равномерно движущегося тела будем иметь

$$G^{ik} = G\frac{M}{(U^iR_i)^3}(U^iR^k + U^kR^i). \tag{9}$$

В результате на основании (4) выражение для релятивистской силы Ньютона будет иметь вид

$$\mathbf{F} = -G\frac{M\Gamma^{-2}\gamma}{R^2(1 - \mathbf{Bn})^3}[\mathbf{B}(1 + \beta\mathbf{n}) + \mathbf{n}(1 + \beta\mathbf{B})], \tag{10}$$

где $\mathbf{n} = \mathbf{R}/R$, $\beta = u^\alpha/u^0$, $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$, $\mathbf{B} = U^\alpha/U^0$, $\Gamma = (1 - B^2)^{-1/2}$.

Вместе с тем, согласно общепринятым в настоящее время представлениям поля тяготения описываются общей теорией относительности (ОТО). Сущность ОТО заключается в обобщении псевдоэвклидовой метрики четырехмерного пространства-времени специальной теории относительности (СТО) до римановой метрики. Отметим, что к идее о римановой геометрии создатель ОТО Эйнштейн подошел со стороны требования общей ковариантности уравнений физики. При этом фактически главной задачей было обобщение уравнения Пуассона. Здесь очень существенно, и это еще подчеркивал Гроссман [6], что на ОТО Эйнштейна распространяются все прежние понятия тензорного анализа, разработанные Минковским, Зоммерфельдом, Лауэ и другими для СТО (в четырехмерной форме).

Напомним, что в рамках ОТО на основе «эквивалентности массы и энергии» в правой части уравнения Пуассона (4) плотность массы заменяется на плотность энергии (см., например, [7]). Но плотность массы является компонентой 4-вектора, тогда как плотность энергии это компонента тензора 2-го ранга. Тем самым нарушается условие 4-ковариантности*. Больше того, в результате оказывается нарушенным один из основных методологических принципов физики — принцип соответствия. Первопричина же здесь заключается в том, что исходный «закон эквивалентности массы и энергии» противоречит лоренц-ковариантности [8].

Нековариантность «эквивалентности массы и энергии». Можно сказать, что это широко известное утверждение имеет «дорелятивистское» происхождение. Здесь имеется в виду, что оно было высказано еще до открытия четырехмерной формулировки теории относительности. Такое утверждение можно признать справедливым только в покоящейся системе отсчета, когда материальное тело после потери энергии, скажем в форме излучения, остается в покое. В этом случае изменение энергии (покоя) тела ΔE^*, вызванное излучением, с точностью до постоянной c^2 действительно эквивалентно изменению массы тела:

$$\Delta E^* = \Delta mc^2. \tag{11}$$

Поскольку масса — скаляр, то при переходе к другой системе отсчета она не преобразуется в отличие от энергии — временной компоненты 4-вектора. Поэтому в движущейся системе, где $\Delta E = \Delta E^*\gamma$, уже

$$\Delta E \neq \Delta mc^2,$$

*Которое можно рассматривать как математическое выражение требования общековариантности.

т.е. эквивалентность не имеет места. Больше того, если любой массе отвечает энергия, то не любой энергии отвечает масса. Подробное изложение современных представлений о соотношении между массой и энергией можно найти в статье Л.Б.Окуня [9].

Подчеркнем, что знаменитая эйнштейновская формула относится только к системе покоя. В общем же она заменяется на

$$E = m\gamma c^2. \tag{12}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Strel'tsov V.N. — JINR Commun. D2-93-437, Dubna, 1993.
2. Einstein A. — The Meaning of Relativity. Princeton Univ. Press, N.Y., 1921, L.4.
3. Strel'tsov V.N. — JINR Commun. D2-94-326, Dubna, 1994.
4. Визгин В.П. — Релятивистская теория тяготения, М.: Наука, 1981, гл.I, §2.
5. Там же — Гл.II, §1.
6. Einstein A., Grossman M. — Z. Math. Phys., 1913, v.62, p.225.
7. Einstein A. — Ann. Phys., 1916, v.49, p.769.
8. Strel'tsov V.N. — JINR Commun. D2-94-481, Dubna, 1994.
9. Окунь Л.Б. — УФН, 1989, т.158, с.511.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 мая 1995 года.