

## Почему эквивалентны гравитационная и инертная массы

(04.12.2011)

### Аннотация

Со времен экспериментов Этвеша, доказавшего равенство (пропорциональность) инертной и гравитационной масс с точностью до  $10^{-8}$ , мало кто сомневается в этом факте. Применительно к общей теории относительности то же установил и А. Эйнштейн. Другой вопрос – *объяснение* этого факта. Общепринятого внятного объяснения, как мне кажется, в физике нет и до сих пор. Между тем, в основу подобного объяснения может и должна быть положена идея первичности гравитационного заряда (т.е. гравитационной массы) как *источника* силы тяготения. Что же касается инертной массы, то она является не чем иным, как мерой *реакции* (обратной связи) всей остальной Вселенной, обусловленной именно гравитационным взаимодействием с ней данной частицы.

### Инерция и принцип Маха

В интересной и глубокой работе [**Анисович, 1996**] ее автор дал полное описание применения принципа Маха к теории тяготения Ньютона и общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна. Он рассмотрел физически замкнутую систему некоторого количества масс, связанных *только* силами тяготения, и вывел уравнения движения в произвольной системе отсчета, исходя *из законов сохранения импульса и момента* для всей системы. Полученные уравнения используют лишь относительные движения и ускорения тел и не опираются на движение данной системы отсчета относительно инерциальной. Напротив, само понятие инерциальной системы отсчета может быть теперь определено через относительное движение, если при таком движении выполняются условия равенства нулю углового перемещения, угловой скорости и углового ускорения<sup>1</sup>.

Вышеизложенный вывод, как и сама уточненная гипотеза Маха, имеют простой и ясный физический смысл. В этой задаче мы действительно должны рассматривать Вселенную как замкнутую систему, любое взаимодействие в которой происходит заведомо внутри нее. Следовательно, законы сохранения импульса и момента импульса не могут не приводить к реакции системы на движение (ускорение) одной из ее частей, т.е. обязательно должна существовать отрицательная обратная связь. Мера же интенсивности этой обратной связи с необходимостью пропорциональна мере взаимодействия данной части с системой в целом, т.е. *гравитационному заряду* данной части (см. подробнее [**Шульман, 2005**]).

Понимание этого факта, с моей точки зрения, затрудняется в связи огромным количеством массы во Вселенной. Если какая-то пробная частица ускорится, то видимое ответное ускорение всех прочих частей Вселенной “размазывается” по всем этим частям и практически оказывается незаметным. Другое дело, если бы речь зашла об одновременном ускорении гигантской части Вселенной. Или, напротив, можно рассмотреть предельно упрощенный случай, когда модельная вселенная состоит всего из двух соизмеримых гравитирующих масс, в этом

---

<sup>1</sup> В упомянутой работе показано, что эти условия для одного координатного репера могут выполняться только в локальной области пространства-времени. Таким образом, существование глобального “абсолютного” пространства Ньютона противоречит принципу Маха.

случае реакция одной из частей на ускорение другой была бы легко заметной для некоторого (не участвующего в гравитационном взаимодействии) наблюдателя<sup>2</sup>.

В действительности пренебрегать гравитационным взаимодействием любой частицы со всей Вселенной в целом нельзя принципиально. Рассматривая сравнительно небольшие физические объекты, мы еще можем пренебрегать силами тяготения между ними. Например, сила тяготения между двумя монетами ничтожна. Однако все мы прекрасно чувствуем силу тяготения со стороны Земли, и хорошо знаем о движении небесных тел по орбитам. Более того, для достаточно больших астрофизических объектов важную роль играет уже гравитационное взаимодействие между отдельными частями объекта, так называемое самодействие (self-gravitation). Это самодействие приводит, в частности, к образованию черных дыр. Более того, расчеты показывают, что и вся Вселенная в целом характеризуется таким соотношением размера  $R$  и средней плотности  $\rho$

(легко найти, что  $R \approx \sqrt{\frac{3}{8\pi G\rho}}$ ), что близка по свойствам к черной дыре. Таким

образом, ее пространственная кривизна оказывается мерой всеобщего гравитационного взаимодействия – суммарной массы Вселенной. Именно пространственная кривизна, определяя инерционное движение тела по геодезической линии, связывает воедино полную массу Вселенной и гравитационный заряд данной частицы.

## Инерция и негравитационные взаимодействия

Однако во Вселенной существуют и иные – негравитационные – взаимодействия, оказывают ли они влияние на инертные свойства тел? Отрицательный в первом приближении ответ связан с тем, что практически все такие взаимодействия (за исключением электромагнитных) – короткодействующие, а электромагнитные взаимодействия на больших расстояниях экранируются противоположными по знаку зарядами.

С другой стороны, согласно известной идее Фоккера<sup>3</sup>, обычный *вектор-потенциал* электромагнитного поля представляет собой не что иное, как *сумму влияний* на пробный заряд со стороны всех остальных электрических зарядов Вселенной. Легко увидеть здесь аналогию с вышеописанной ролью гравитационного потенциала<sup>4</sup>.

При рассмотрении электрически заряженной частицы в электромагнитном поле сохраняется *обобщенный* импульс  $\mathbf{P} = \mathbf{p} + e\mathbf{A}/c$ , т. е. производная от функции Лагранжа по скорости ( $\mathbf{A}$  – вектор-потенциал поля,  $c$  – скорость света). Если бы электромагнитные поля эффективно не экранировались бы в масштабе Вселенной, то инертность тела определялась бы также электрическими зарядами данной частицы и Вселенной в целом.

---

<sup>2</sup> Если же модельная Вселенная содержала бы только одну частицу, то изменение ее импульса или момента импульса было бы просто запрещено, т.к. взаимодействовать одинокой частице не с чем.

<sup>3</sup> Эта идея была доведена до развитого количественного уровня в работах ([Уилер и Фейнман, 1945, 1949]).

<sup>4</sup> Автор работы [Нарликар, 1982] безуспешно пытался в виде аналогичной суммы представить массу пробной частицы. Мне подобный подход представляется методически неверным, т.к. *вектор-потенциал* играет роль, аналогичную удельному (на единицу заряда) *импульсу* (а не массе).

## БИБЛИОГРАФИЯ

[Анисович, 1996] Анисович К.В. *Общая теория относительности с учетом принципа Маха*. Гравитация, т.2., вып. 1, 1996, М., с. 38-64

[Нарликар, 1982] Нарликар Дж. В. *Инерция и космология в теории относительности Эйнштейна*, пер. с английского. В книге *Астрофизика, кванты и теория относительности*, М., Мир, 1982

[Уилер и Фейнман, 1945] Wheeler J.A., Feynman R.P. *Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation*, *Reviews of Modern Physics*, **vol. 17**, numbs. 2 and 3, p. 157-181 (1945)

[Уилер и Фейнман, 1949] Wheeler J.A., Feynman R.P. *Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action*, *Reviews of Modern Physics*, **vol. 21**, numb. 3, p. 425-433 (1949)

[Шульман, 2005] М.Х. Шульман. *Время и инерция*.

[www.timeorigin21.narod.ru\rus\\_time\Inertia.pdf](http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Inertia.pdf)