

ческом мире разворачиваются в трехмерном евклидовом пространстве, а время считается абсолютным, т.е. одинаковым для всех инерциальных наблюдателей. Введенные Ньютоном понятия *абсолютного пространства* и *абсолютного времени*, свойства которых всегда одинаковы безотносительно к чему-либо внешнему, укоренились и господствовали в физике вплоть до XX века.

Что же сделал Эйнштейн? Исходя из факта равенства инертной и гравитационной масс, он пришел к заключению, что падение тел во внешнем гравитационном поле – это все то же движение по инерции, но в *искривленном пространстве*, и тем самым связал тяготение с геометрическими свойствами пространства, точнее пространства-времени. Таким образом, согласно Эйнштейну, тяготение следует рассматривать как результат влияния кривизны на движение тел и на другие физические процессы. В свою очередь, кривизна пространства есть результат влияния материи на свойства пространства и времени.

Теперь мы уже хорошо понимаем, что гравитационное взаимодействие, хотя и является самым слабым из всех известных типов взаимодействий, играет далеко не последнюю роль, поскольку решаемые теорией тяготения проблемы касаются не просто одного из физических полей, а самой концепции пространства-времени. Тем самым, теория гравитации лежит в основании всех вообще физических теорий.

В этой статье на достаточно простом примере будет рассмотрен вопрос, каким образом *глобальная* структура пространства, т.е. структура пространства в целом, может отражаться на *локальных* наблюдаемых величинах, т.е. на величинах, которые измеряются в данной точке в данный момент времени.

Может ли заряженная частица ускорять саму себя?

Зададим вопрос: может ли покоящаяся заряженная точечная частица в пустом пространстве без границ действовать сама на себя с не равной нулю силой? Вопрос является простым и сложным одновременно.

С одной стороны, основанные на симметрии соображения позволяют

утверждать, что в *евклидовом пространстве без границ* сила самодействия должна быть равна нулю. Действительно, появление силы самодействия на изолированный точечный заряд хотя бы в одной точке пространства означало бы, что точно такая же по величине и направлению сила должна действовать на заряд и в любой другой точке, поскольку все положения в пространстве эквивалентны (*однородность пространства*). Одновременно с этим, наличие силы выделяло бы в пространстве некоторое направление, поскольку сила – величина векторная. Но это, в свою очередь, противоречило бы тому, что все направления в пространстве эквивалентны (*изотропность пространства*). Следовательно, в однородном и изотропном пространстве сила самодействия не может быть ничем иным кроме нуля. Можно и не вычислять – все известно заранее!

Казалось бы, все просто. Но это только на первый взгляд. Одна проблема все же остается. Из электростатики известно, что плотность энергии электростатического поля в пустом пространстве равна

$$w = \frac{\epsilon_0 E^2}{2}.$$

Мы знаем также, что напряженность поля точечного покоящегося заряда в пустом трехмерном евклидовом пространстве без границ равна

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r}.$$

Получается, что плотность энергии зависит от расстояния до точки, где расположен заряд, как r^{-4} и, следовательно, полная электростатическая энергия точечного заряда в нуле бесконечна! Что же делать?

Выход из создавшейся ситуации был найден другим выдающимся физиком XX века – П. Дираком. Он обратил внимание на то, что отдельное рассмотрение энергии кулоновского поля фактически является бессмысленным. Поступая таким образом, мы предполагаем, что энергия системы, состоящей из точечного заряда и создаваемого им поля, может быть представлена в виде суммы двух слагаемых:

$$\begin{aligned} W_{\text{полн}} &= m_0 c^2 + \int \frac{\epsilon_0 E^2}{2} dV = \\ &= m_0 c^2 + \frac{q^2}{32\pi^2 \epsilon_0} \int \frac{dV}{r^4}, \end{aligned}$$

где первое слагаемое $m_0 c^2$ следует рассматривать как энергию покоя частицы в отсутствие поля.

Однако невозможно оторвать заряд от создаваемого им кулоновского поля, которое жестко привязано к частице и движется вместе с ней. (Подчеркнем, что мы здесь не рассматриваем электромагнитные волны, которые рождаются при ускоренном движении заряда, но после этого ведут совершенно самостоятельное существование.) Значит, введенная нами так называемая *затравочная*, или *голая*, масса m_0 есть величина *нефизическая* – величина, которую нельзя измерить в эксперименте. Наблюдается только полная энергия и связанная с ней полная масса, именно она отвечает за инертные свойства частицы. Проблема возникла из-за того, что мы формально разбили реально измеримую конечную величину

$$W_{\text{полн}} = m c^2$$

на сумму двух слагаемых, каждое из которых по отдельности не наблюдаемо.

Таким образом, возникает необходимость *перенормировки* собственной энергии: мы должны написать, что *затравочная* собственная энергия (масса) связана с *физической* энергией (массой) соотношением

$$m_0 c^2 = m c^2 - \frac{q^2}{32\pi^2 \epsilon_0} \int \frac{dV}{r^4},$$

т.е. энергии отличаются друг от друга на бесконечно большую величину. Поначалу процедура перенормировки может показаться весьма странной, однако не будем забывать, что *затравочная* масса – величина ненаблюдаемая и ей можно приписать любое значение. Можно, в частности, считать ее бесконечной.

Обратим внимание на одну особенность полученного выше выражения: результат перенормировки не зависит ни от момента времени, ни от координат точки, в которой находится заряд. Это является отражением однородности трехмерного евклидова пространства и однородности времени, т.е. тех свойств симметрии пространства и времени, которые были заложены Ньютоном в его модели пространства событий.

Итак, если мы задались вопросом, может ли взаимодействие с собственным кулоновским полем влиять на