

УДК 230.12

ЛАБОРАТОРНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ПОЛЯ ТЯГОТЕНИЯ И МЕТРИКИ ПСЕВДОРИМАНОВА ПРОСТРАНСТВА

© Б.З. Винокуров, А.В. Гусев

Vinokurov B.Z. & Gusev A.V. A laboratory confirmation of equivalence of the gravitational field and the pseudo-Riemann space metre. The principle of equivalence of the gravitational field and the pseudo-Riemann space metre was formulated by Einstein on the basis of a series of mental experiments without any laboratory confirmation. The article analyses the experiment conducted in 1961.

В 1907 году Эйнштейн распространяет принцип относительности на неинерциальные системы. «Законы физики должны быть одинаковы по природе, так что они должны быть применимы к произвольно движущимся системам».

Общая теория относительности (ОТО), или, как ее в дальнейшем стали именовать, релятивистская теория гравитации была создана, и притом в значительной мере умозрительно, трудами троих ученых: Гроссмана, предложившего тензорную форму записи уравнений движения, Гильберта, впервые получившего эти уравнения, и, прежде всего, Эйнштейна. Основной постулат: законы физики должны быть инвариантны не только при лоренцевых, но и при любых преобразованиях. Одно из таких преобразований – переход от инерциальной системы в поле тяготения к неинерциальной – позволяло «уничтожить» гравитационное воздействие хотя бы в небольшом объеме («Лифт Эйнштейна»). Это позволяет дать другую интерпретацию общего принципа относительности: «Физические процессы, происходящие в неинерциальной системе отсчета в отсутствие гравитационного поля, неотличимы от тех, что происходят в инерциальных системах, находящихся в поле тяготения». Само тяготение в ОТО является такой же «кажущейся» силой, как Кориолисова сила или центробежные силы у Ньютона. Ускоренное движение в поле тяготения равноценно движению по инерции в искривленном псевдоримановом пространстве.

При построении ОТО Эйнштейн в еще большей мере, чем в СТО, использовал метод «мысленного эксперимента». Мысленный эксперимент – это воображаемый нами логически безупречный опыт, реальное осуществление которого невозможно в силу тех ограничений, которым подчинена природа: невозможно сообщить наблюдателю скорость, сравнимую со скоростью света, невозможно создать сильное гравитационное поле, так как массы, с которыми мы имеем дело, невелики. Вот почему ОТО почти не имеет экспериментальных подтверждений, а те, что были, а их всего насчитывалось только три, имели астрономическую природу, то есть «поставлены» были вне зависимости от человека: движение перигелия Меркурия, отклонение лучей света и изменение частоты излучения при прохождении света через гравитационное поле. К тому же, два последних явления достаточно хорошо объяс-

нялись, и даже были рассчитаны в Ньютоновой теории истечения света. Замедление распространения сигналов было обнаружено позднее.

В суждениях Эйнштейна была еще одна особенность: мысленные эксперименты он «проводил» с инерциальными силами, то есть псевдогравитационными полями, а реальные подтверждения находил во взаимодействии света с реальным гравитационным полем. Возникал своеобразный «разрыв» в построении теории. Недостаточно обоснованным выглядело и отождествление гравитационного поля с метрикой псевдориманового пространства, так как получено оно было на основании мысленного, не подтвержденного реально эксперимента со знаменитым «Диском Эйнштейна».

Предположим, что круглая платформа быстро вращается по отношению к внешнему неподвижному наблюдателю. Линейный масштаб, помещенный вдоль радиуса платформы, остается для наблюдателя неизменным, так как перемещается в направлении, перпендикулярном его расположению, то есть радиус платформы при вращении остается неизменным. Но тот же масштаб, расположенный вдоль окружности платформы, испытывает Лоренцево сокращение, и, следовательно, число таких масштабов, выложенных вдоль окружности, будет больше $2\pi R$; $L_{\text{опр}} > 2\pi R$, а это означает, что геометрия на вращающемся диске будет неевклидова. То же происходит и с часами: расположенные на периферии идут медленнее, чем в центре (Лоренцево замедление течения времени). Причиной такого изменения геометрии может быть только появление центробежных сил инерции. В силу принципа эквивалентности поля сил инерции и поля тяготения, Эйнштейн заключил, что и силы гравитации, то есть массивные тела, помещенные в евклидово пространство, искривляют его, превращая его в риманово пространство, обладающее кривизной. Но проявление будет иным, так как силы направлены не от центра, как при вращении, а, наоборот, к притягивающему центру. Поэтому масштабы в гравитационном поле будут сокращаться только те, что расположены вдоль радиуса, а перпендикулярные к ним будут оставаться неизменными. Часы, помещенные в поле тяготения, будут в центре идти медленнее, чем на периферии. Итак, только мысленный эксперимент послужил основанием для замены гравитации метрикой псевдориманова пространства – самого главного

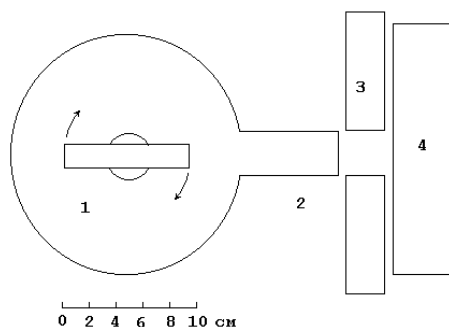


Рис. 1. «Диск Эйнштейна»: 1 – ротор; 2 – окно; 3 – свинцовый экран; 4 – пропорциональный счетчик

постулата ОТО. Реальное подтверждение в виде эксперимента, поставленного человеком, отсутствует.

В 1961 году он был осуществлен. Сообщение о нем звучало нейтрально: «Об отсутствии эффекта Доплера в системах, вращающихся по одинаковой круговой орбите» (статья Чемпи, помещенная в Эйнштейновском сборнике, 1978 г.). В публикации изложено лишь устройство прибора и полученные результаты, и совершенно отсутствует теория явления, а именно она и является главным содержанием эксперимента.

Основной частью прибора (рис. 1) служит ротор, изготовленный в виде волчка, по диаметру которого (8 см) просверлен канал, по концам его располагается источник гамма-излучения и поглотитель. В качестве источника применена железная пластина, на которую напылен слой радиоактивного железа Fe^{57} , поглотитель – естественная железная пластина. Использован резонансный метод, вытекающий из недавно открытого явления – эффекта Мессбауэра. Гамма-излучение слабо поглощается веществом, но если гамма-квант встречается с атомом, в котором существует энергетический переход, в точности равный энергии кванта, происходит неминуемое поглощение его. Но даже незначительное изменение энергии атома, например, за счет теплового движения или отдачи при взаимодействии с квантом, приводит к расстройству резонанса, ибо ширина линии поглощения чрезвычайно мала: $\sim 10^{-10}$ эВ. Эффект поглощения возможен, если атом находится в составе массивного тела – пластинки поглотителя. Нарушение резонанса наступает и в гравитационном поле вследствие гравитационного сдвига частот. Было зафиксировано смещение частоты при прохождении всего 20 метров по высоте, именно так было подтверждено гравитационное смещение, вытекающее из ОТО. Сравнительно невысокая энергия возбуждения атома железа – 14,4 кэВ – означает, что ширина линии довольно велика и тепловое движение атомов мало сказывается на эффектах поглощения, что позволило обойтись без криоустановки.

В окружающем ротор кожухе, из которого был удален воздух, было установлено проникаемое для излучения окно, напротив него размещался счетчик гамма-излучения, посылаемого вращающимся ротором. Фоновое поглощение было оценено с помощью медной пластинки, поставленной на место железного фильтра, при котором интенсивность излучения, измеренного счетчиком, уменьшалась на 30 % по сравнению с фоновым, что и указывало на резонанс.

Помещенный на стеклянное основание, вращающийся магнитным полем, ротор приводился во вращение до 1200 оборотов в секунду, что соответство-

вало скорости движения на ободе до 300 мс^{-1} , а это, в свою очередь, могло вызвать заметный поперечный эффект Доплера, но так как источник и поглотитель были неподвижны друг относительно друга, доплер-эффект отсутствовал. Но, согласно ОТО, излучение при этом проходит через сильное неоднородное квазигравитационное поле центробежных сил. Каков должен быть вклад такого поля? При движении от периферии к центру гамма-кванты перемещались против поля, и потом испытывали красное смещение, но от центра к поглотителю они двигались уже по направлению поля такой же интенсивности и испытывали равное по величине фиолетовое смещение. Общий результат равен нулю, что и было зафиксировано в опыте: счетчик отметил сильное поглощение. Но такой же эффект мог возникнуть, если вообще никакого влияния на излучение не производилось, то есть псевдогравитационное поле никак не взаимодействовало с излучением.

Но затем источник излучения помещали в центре ротора так, что он не участвовал в движении и мог считаться неподвижным, тогда как поглотитель перемещался поперек направления лучей со скоростью в 300 мс^{-1} , а это приводило к поперечному красному смещению величиной

$$v' = v \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad \frac{\Delta v}{v} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2}.$$

Но теперь гамма-кванты проходят расстояние R вдоль поля, что приводит к фиолетовому смещению, равному:

$$h\Delta v = \frac{h\nu}{c^2} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \frac{1}{2} R;$$

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2},$$

что полностью компенсирует доплер-эффект. Общий результат равен нулю, что и наблюдалось, т. е. и в этом случае поглощение было максимальным. Все «мысленные эксперименты», связанные с «Диском Эйнштейна», были подтверждены прямым лабораторным опытом, а следовательно, эквивалентность гравитационного поля метрике римановой геометрии была доказана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боулер М. Гравитация и относительность. М.: Мир, 1979.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1973.
3. Лозунов А.А., Мествиришвили М.А. Релятивистская теория гравитации. М.: Наука, 1989.
4. Маринов С.А. Оптическое измерение абсолютной скорости Земли // Проблемы пространства и времени в современном естествознании. С.-Пб.: Лнгрд. отд. РАН, 1991.
5. Сиам Д. Физические принципы общей теории относительности. М.: Мир, 1971.
6. Фрауэнфельдер Г. Эффект Мессбауэра. М.: Мир, 1964.
7. Чемпи Д.К., Мун П.Б. Отсутствие доплеровского сдвига при движении источников гамма-излучения по одной круговой орбите // Эйнштейновский сборник 1978–1979. М.: Наука, 1983.
8. Чемпи Д.К., Айзек Т.Р., Кан А.М. Эксперимент по «эфирному ветру», основанный на эффекте Мессбауэра // Там же.

Поступила в редакцию 24 января 2000 г.

