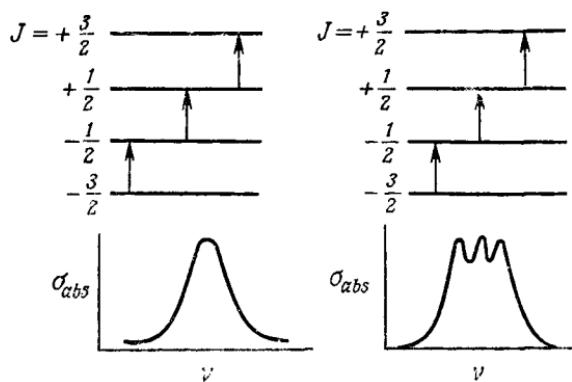


ский тензор $g_{\mu\nu}$ должен аналогично $\eta_{\alpha\beta}$ иметь три положительных собственных значения, одно отрицательное и ни одного собственного значения, равного нулю. Это свойство метрики отличает наше $(3 + 1)$ -мерное пространство-время от 4-мерного или от $(2 + 2)$ -мерного пространства-времени, или каких-либо еще более «плохих» метрик.

§ 7. Относительность и анизотропия инерции

В § 3 гл. 1 мы уже видели, что Ньютона и Маха по-разному смотрели на проблему происхождения инерции. Ньютон полагал, что инерциальные силы, такие, как центробежные, должны возникать из-за ускорения относительно «абсолютного пространства», в то время как Мах считал более вероятным, что инерциальные силы порождаются общей массой небесных тел. Отличие утверждений не метафизическое, а физическое, поскольку если бы Мах был прав, то большая масса могла бы вызывать малые изменения инерциальных сил вблизи нее, если же Ньютон был бы прав, такие эффекты не возникали бы.

Эйнштейн считал себя последователем Маха, но в действительности разрешение этой проблемы на основе принципа эквивалентности находится где-то между точками зрения Ньютона и Маха. Инерциальные системы отсчета, т. е. «свободно падающие системы координат», действительно определяются локальным гравитационным полем, которое создается всей материйей Вселенной, ее частями, расположеннымими далеко и близко. Однако в инерциальной системе отсчета на законы движения [такие, как (2.3.1)] присутствие масс вблизи уже не влияет ни гравитационным, ни каким-либо другим путем. Например, масса Солнца определяет движение свободно падающей Земли, но как только мы связали нашу систему отсчета с Землей, мы не можем обнаружить гравитационное поле Солнца, что демонстрирует с большой точностью эксперимент Дикке. (Вспомним § 2 гл. 1. В действительности, из-за того, что Земля не является бесконечно малым объектом, мы можем наблюдать поле Солнца благодаря эффектам приливов, как это обсуждалось уже в § 1 гл. 3.) Небесные тела фигурируют здесь потому, что уравнения гравитационного поля нуждаются в граничных условиях на бесконечности, а последние задаются требованием, чтобы на больших расстояниях от Солнца $g_{\mu\nu}$ перешло в космическое гравитационное поле, создаваемое всей массой Вселенной. Мы не будем пока вникать в детали уравнений поля и космологии, однако можно ожидать, что гравитационное поле, создаваемое массой Солнца и этими космологическими граничными условиями, таково, что орбиты планет, проходящие далеко от Солнца, не прецессируют относительно реперных звезд; последнее согласуется с наблюдениями (см. § 1 гл. 15).



Фиг. 3.1. Проверка изотропности инерции с помощью спектра поглощения Li^7 .

Разности в частотах и расщепление линии сильно увеличены.

Эти положения настолько важны, что не мешает обсудить их подробнее. Если нет близко расположенных масс, инерциальные системы отсчета определяются средним космическим гравитационным полем, которое в свою очередь определяется средней плотностью масс звезд во Вселенной, и, таким образом, не удивительно, что эти инерциальные системы отсчета находятся в покое или в состоянии равномерного некриволинейного движения относительно каких-то далеких звезд. Если бы близко находилась большая масса, подобная Солнцу, то она изменила бы инерциальные системы отсчета таким образом, что они стали бы ускоряться в направлении этой массы; законы движения в этих свободно падающих системах отсчета остаются теми же, что и в специальной теории относительности, и не подвержены никакому влиянию со стороны окружающего распределения масс. В этом смысле принцип эквивалентности и принцип Маха прямо противоположны.

Выбор между предположениями Маха и Эйнштейна можно сделать, только решив вопрос, влияет или не влияет в действительности присутствие больших, близко расположенных масс на законы движения, т. е. приводит ли это к другим законам по сравнению с законами, имеющими место в инерциальных системах координат. Конкон и Солиттер указали [15, 16], что вблизи нас имеется большая масса — Млечный Путь и что принцип Маха предполагает существование небольшой разницы в инерциальной массе в случаях, когда частица ускоряется к центру Галактики и от нее. Экспериментально это было проверено Хьюзом, Робинсоном и Бельтран-Лопесом [17] и в аналогичном эксперименте Древером [18] (фиг. 3.1). Хьюз и другие наблюдали резонансное поглощение фотонов ядрами Li^7 в магнитном поле с напряженностью

4700 Гс. Основное состояние этого ядра имеет спин $3/2$ и расщепляется на четыре энергетических уровня, которые эквидистантны если законы ядерной физики инвариантны относительно вращений. В этом случае три перехода между соседними состояниями должны иметь одинаковую энергию, и спектр поглощения фотонов будет иметь вид единственного острого пика на графике. Однако если инерция анизотропна, то четыре магнитных подуровня не были бы эквидистантными и наблюдалась бы не одна, а три близко расположенные резонансные линии. Хьюз и др. пришли к выводу, что не может быть никакого расщепления, большего, чем ширина линии, равная $5,3 \cdot 10^{-21}$ МэВ. Их наблюдения занимали 12 ч, в течение которых из-за вращения Земли магнитное поле поворачивалось от направления в 22° относительно центра Галактики до направления в 104° . Если представить ядро Li⁷ как единственный протон с угловым моментом $3/2$, который связан с другими нуклонами в центральном потенциале, тогда анизотропия Δm массы протона должна быть равной

$$\Delta \left(\frac{p^2}{2m} \right) \approx \frac{\Delta m}{m} \left(\frac{p^2}{2m} \right) \leqslant 5,3 \cdot 10^{-21} \text{ МэВ},$$

где $p^2/2m$ — кинетическая энергия протона. Так как $p^2/2m$ больше, чем $1/2$ МэВ, мы приходим к выводу, что анизотропия инертной массы ограничивается неравенством

$$\frac{\Delta m}{m} \leqslant 10^{-20}.$$

При таком рассмотрении данные уже твердо говорят в пользу принципа эквивалентности, а не принципа Маха.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основные книги по общей теории относительности

- Adler R., Bazin M., Schiffer M., Introduction to General Relativity*, McGraw-Hill, 1965.
- Anderson J. L., Principles of Relativity Physics*, Academic Press, 1967.
- Bergmann P. G., Introduction to the Theory of Relativity*, Prentice-Hall, 1942 (см. перевод: *Бергман П. Г., Введение в теорию относительности*, ИЛ, 1947).
- Eddington A. S., The Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge University Press, 1960 (см. перевод: *Эддингтон А. С., Математическая теория относительности*, Гос. научн. тех. изд., 1933).
- Einstein A., The Meaning of Relativity*, Princeton University Press, 1946 (см. перевод: *Эйнштейн А., Собрание научных трудов*, «Наука», 1965, т. 2, стр. 5).
- Фок Б. А. Теория пространства, времени и тяготения*, Физматгиз, 1961.
- Möller C., The Theory of Relativity*, Clarendon Press, 1952.