

смещения Доплера, видоизмененную с учетом теории релятивистской модели Вселенной *).

Можно сопоставить результаты подобных наблюдений над излучением большого числа галактик с определением расстояния до них независимыми методами и прийти к удивительному эмпирическому выводу: относительная скорость удаления галактики, находящейся на расстоянии r от нас, может быть выражена следующей формулой:

$$V = \alpha r, \quad (22)$$

где константа α , определенная эмпирически, равняется $3 \cdot 10^{-18} \text{ сек}^{-1}$ (методика определения расстояний до галактик является довольно сложной; с ней можно ознакомиться в руководствах по астрономии). Величина, обратная α , имеет размерность времени:

$$1/\alpha \approx 3 \cdot 10^{17} \text{ сек} \approx 10^{10} \text{ лет}. \quad (23)$$

Помножив $1/\alpha$ на c , мы получим величину, имеющую размерность длины:

$$\frac{c}{\alpha} \approx (3 \cdot 10^{10}) \cdot (3 \cdot 10^{17}) \text{ см} \approx 10^{28} \text{ см}. \quad (24)$$

Время (23) нестрого называется «возрастом Вселенной», а длина (24) также нестрого — «радиусом Вселенной» **). Точный смысл этих величин сейчас еще неясен, хотя было предложено несколько различных космологических теорий, объясняющих соотношение (22).

10.4. Скорость света в инерциальных системах отсчета при относительном движении

Применение элементарного преобразования Галилея к задаче о величине скорости света, определяемой относительно движущегося приемника, приводит к требованию, чтобы в системе отсчета, связанной с этим приемником, скорость света отличалась от c . Согласно так называемому «здравому смыслу» мы ожидали бы, что скорость света c_R относительно движущегося приемника должна определяться из следующего уравнения:

$$c_R = c \pm V, \quad (25)$$

где V — скорость света приемника, который движется навстречу источнику (+) или от источника (—).

Этот способ сложения скоростей кажется совершенно обоснованным. Казалось бы, что то же соотношение должно было бы выполняться, когда источник и приемник неподвижны, а среда, в которой распространяется свет, движется со скоростью V . Соотношение (25), очевидно, соблюдается в бесчисленных случаях повсед-

*) См. G. C. McVitties, Physics Today, июль 1964, стр. 70.

***) Ср. гл. 1, «Оценки кривизны мирового пространства», стр. 30—32. (Прим. ред.)

невной жизни, но не тогда, когда речь идет о свете. Оно выполняется для звуковых волн, если заменить c на $v_{зв}$. Однако оно *неверно* даже приближенно для световых волн в свободном от вещества пространстве. Экспериментально найдено, что

$$c_R = c \quad (26)$$

для любой системы отсчета, *независимо от ее скорости* и независимо от скорости относительно воображаемой среды, в которой распространяется свет. Этот доказанный факт является краеугольным камнем релятивистской формулировки физических законов.

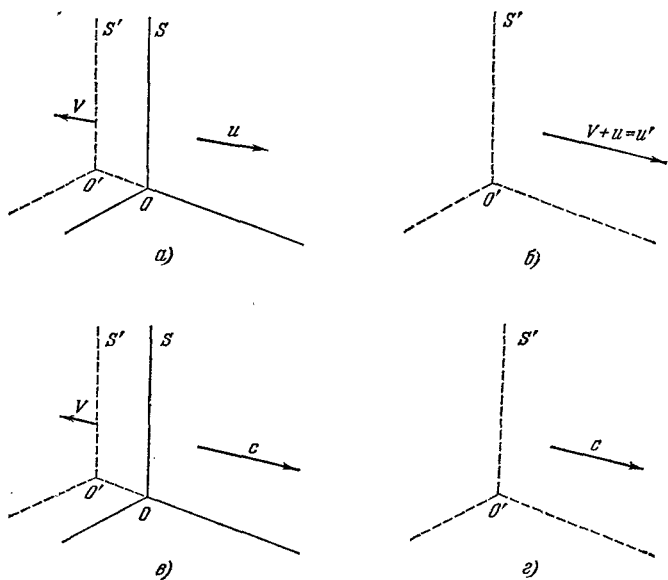


Рис. 10.27. Если u — скорость обыкновенного наземного движения (а), наблюдаемая относительно инерциальной системы отсчета S , то согласно преобразованию Галилея в инерциальной системе отсчета S' мы должны наблюдать: $u' = V + u$ (б). Однако опыт показывает (в), что если частица имеет скорость c в системе отсчета S , то она имеет скорость c также и в системе отсчета S' (г).

Рассмотрим сейчас экспериментальное доказательство равенства (26). Известно много различных опытов, подтверждающих специальную теорию относительности; те из них, которые приводят к равенству (26), образуют основной отправной пункт этой теории. Разберем опыты, показывающие, что величина скорости света не зависит от скорости движения Земли ($3 \cdot 10^6$ см/сек) по ее орбите.

Сначала предположим, как это делали физики в девятнадцатом столетии, что свет распространяется в форме колебаний некоторой среды так же, как звук распространяется в форме колебаний атомов в жидкостях, твердых телах или газах. Светоносная среда, через которую в свободном от вещества пространстве распространяются световые волны, была названа *эфиром*.

Что такое эфир? В настоящее время мы считаем понятие «эфир» только синонимом вакуума. Но Максвелл и многие другие физики прошлого не могли представить себе электромагнитное поле как самостоятельное физическое явление, распространяющееся в свободном от вещества пространстве. Максвелл писал *): «Все эти



Рис. 10.28. Точный прибор, в котором для проведения релятивистского оптического опыта используются два лазера. Прибор помещен в бывшем винном погребе в Раунд Хилл, штат Массачусетс. На снимке с прибором работают Чарльз Таунс и Али Джаван.

теории естественным образом вызывают вопрос: если нечто передается от одной частицы к другой на расстояние, каково состояние этого нечто после того, как оно покинуло одну частицу и еще не достигло другой? Если это нечто есть потенциальная энергия двух частиц, как в теории Неймана, то должны ли мы рассматривать эту энергию как существующую в какой-то точке пространства, не совпадающей ни с той, ни с другой частицей? Действительно, каким бы способом энергия ни передавалась от одного тела к другому во времени, должна быть среда или субстанция, в которой энергия существует после того, как она оставила одно тело и еще не достигла другого, ибо энергия, как заметил Торичелли, «есть квинтэссенция такой тонкой природы, что она не может содер-

*) Русский перевод: Д. К. Максвелл, Избранные сочинения по теории электромагнитного поля, Гостехиздат, 1954, стр. 632. (Прим. ред.)

жаться ни в каком другом сосуде, как только в самой сокровенной субстанции материальных вещей». Таким образом, все эти теории приводят к концепции среды, в которой имеет место распространение. И, если мы примем эту среду в качестве гипотезы, я считаю, что она должна занимать выдающееся место в наших исследованиях и что нам следовало бы попытаться сконструировать рациональное представление о всех деталях ее действия, что и было моей постоянной целью в этом трактате».

Возможный прямой опыт с целью проверки, зависит ли скорость света от движения Земли, должен состоять в точном определении времени однократного прохождения светового импульса по измеренному пути. Это следовало бы сделать отдельно в двух направлениях — с севера на юг и затем с востока на запад, а потом повторить все через шесть месяцев, когда скорость движения Земли вокруг Солнца примет противоположное направление. В результате разработки лазеров в распоряжении физиков имеются часы, точность которых достаточна для такого прямого эксперимента; точность измерения в настоящее время лимитируется, по-видимому, продолжительностью нарастания импульса лазера. При величине этого интервала времени 10^{-9} сек в определение длины пути света вносится эффективная ошибка, численно равная $10^{-9} c = 30$ см. В таком опыте двое часов должны быть синхронизированы в одном месте, а затем медленно разведены на свои конечные места.

Был произведен ряд опытов с целью проверки, выполняется ли равенство (25), т. е. с целью обнаружить, существует ли движение относительно эфира. Все они показали, что не существует движения Земли относительно эфира; наиболее убедительными были опыты Майкельсона и Морли.

10.5. Опыты Майкельсона и Морли

Две последовательности световых волн, вышедших из общего монохроматического источника, могут, интерферируя, усиливать или ослаблять друг друга в данной точке в зависимости от разности фаз волн, пришедших в эту точку. Эту разность фаз можно изменить, сделав так, чтобы одна последовательность волн прошла более длинный путь, чем другая. Майкельсон и Морли построили сложный интерферометр, основные части которого изображены схематически на рис. 10.29 и 10.30. Пучок света от одного источника s разделялся в точке a полупрозрачным зеркалом. Мы продолжим описание опыта теми же словами и с теми же обозначениями, которые применяли сами исследователи *).

*) A. A. Michelson, E. W. Morley, Am. J. Sci. 34, 333 (1887). Это был один из самых замечательных экспериментов девятнадцатого столетия. Простой по существу, этот опыт привел к революции в науке с далеко идущими последствиями. Заметьте, что отношение скорости движения Земли по орбите к скорости света — около 10^{-4} . Цитируя оригинал, мы писали c вместо обозначения авторов V_2 и V вместо обозначения авторов v ; наши замечания к тексту оригинала заключены в квадратные скобки.