

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 16

АВГУСТ, 1980

ВЫПУСК 3

УДК 523.16:523.85:530.12

ОБ ИЛЛЮЗИИ СВЕРХСВЕТОВЫХ СКОРОСТЕЙ, СОЗДАВАЕМОЙ ГРАВИТАЦИОННЫМИ ЛИНЗАМИ

Л. Х. ИНГЕЛЬ

Поступила 11 марта 1977

Пересмотрена 20 марта 1978

Гравитационные линзы, фокусируя излучение какого-либо объекта, увеличивают угол, под которым он виден. Соответственно создается иллюзия увеличения поперечных к лучу зрения скоростей. Предварительные оценки показывают довольно большую вероятность сильного искажения наблюдаемых скоростей.

В работах [1, 2] показано, что гравитационная линза (массивное тело), находящаяся между некоторым источником и наблюдателем, может, двигаясь поперек луча зрения, создавать иллюзию сверхсветового расширения этого источника. Эти результаты могут представлять интерес в связи с обнаружением «сверхсветового расширения» некоторых объектов [3].

Точечная (шварцшильдова) гравитационная линза (ГЛ) создает, как известно [4], два изображения источника*. Относительное движение этих двух изображений при быстром поперечном к лучу зрения перемещении ГЛ и создает по [1, 2] иллюзию «сверхсветового разбегания». Для наблюдения указанного эффекта необходимо выполнение следующих условий:

1. ГЛ должна находиться достаточно близко от оси источник-наблюдатель.

2. ГЛ должна находиться во много раз ближе к наблюдателю, чем к источнику.

3. ГЛ должна очень быстро двигаться поперек луча зрения (возможно, со скоростью, сравнимой со световой скоростью c).

Необходимость одновременного выполнения таких требований делает наблюдение рассматриваемого эффекта весьма маловероятным. Цель на-

* Подразумевается источник достаточно малых угловых размеров.

стоящей заметки — указать на другую возможность, которая представляется гораздо более вероятной.

Эффект фокусировки состоит, как хорошо известно, в увеличении телесного угла, под которым виден объект. Если объект расширяющийся, то, очевидно, при фокусировке должна увеличиваться и наблюдаемая угловая скорость расширения. Ясно, что для наблюдения этого эффекта требуется выполнение лишь первого из трех вышеприведенных условий. Подчеркнем разницу: мы теперь имеем в виду скорость расширения любого из изображений источника*, а не скорость относительного движения двух различных изображений, как в [1, 2].

Следует отметить, что ГЛ сильно искажают форму источников [4—6]: изменение угла, под которым виден объект, отнюдь не одинаково в разных направлениях. Так, например, точечная ГЛ «вытягивает» изображение объекта перпендикулярно направлению на центр линзы («серпообразное» изображение [4]). В [6] описаны свойства распределенных ГЛ, которые могут давать единственное изображение, усиленное за счет его вытягивания в направлении на центр линзы. Соответственно и увеличение угловой скорости расширения (и вообще всех движений в объекте) должно в этих случаях наблюдаться лишь в одном направлении и должно быть того же порядка, что и уярчение, т. е. для шварцшильдовой ГЛ по порядку величины может достигать

$$K = \sqrt{1 + \frac{8r_g l_1^2}{L^2 R^2}} \quad [7], \quad (1)$$

где r_g — гравитационный радиус ГЛ, R — линейный размер источника фокусируемого излучения, $L = l_1 l_2 / l_1 + l_2$, l_1 — расстояние между источником и линзой, l_2 — расстояние между линзой и наблюдателем. Пусть $r_g = 10^{17}$ см, $R = 10$ пс, $l_1 = l_2 = 0.5 \cdot 10^9$ пс. Тогда $K \approx 1500$. Иными словами, эффект „увеличения“ скорости расширения, в принципе, может быть очень велик.

Выяснив принципиальную возможность существования рассматриваемого эффекта, обсудим теперь вопрос о вероятности его наблюдения. В [8—10] в приближении точечных ГЛ и плоской Вселенной для вероятности данного объекта быть усиленным в K раз получена оценка

$$\frac{4\pi G \rho v^2}{5c^2 H_0^2 K^2},$$

где G — гравитационная постоянная, H_0 — постоянная Хаббла, ρ — средняя плотность вещества (в виде галактик) во Вселенной. v — космоло-

* В случае нешварцшильдовых линз [5, 6] возможно существование лишь одного усиленного изображения источника.

гическая скорость объекта (вдоль луча зрения). Взяв для среднего квазара $v^2/c^2 \sim 0.6$, $K = 10$, $H_0 = 50 \text{ км} \cdot \text{сек}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}$, $\rho = 1.5 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$ [11], получим для вероятности величину $0.6 \cdot 10^{-3}$. Если учесть, что число известных квазаров в настоящее время исчисляется сотнями, то полученная вероятность рассматриваемого эффекта представляется не слишком малой. Поэтому нельзя полностью исключить возможность истолкования на его основе отдельных наблюдений «сверхсветового» расширения.

К некоторым поправкам должен привести учет неточности ГЛ-галактик. В работах [8—10, 12] ГЛ моделируются прозрачными однородными шарами. Но такая модель уже слишком сложна для точного решения, а приближенные и качественные соображения приводят упомянутых авторов к противоположным результатам. В [6] приведены некоторые соображения в пользу того, что с учетом неточности ГЛ вероятность наблюдения эффекта фокусировки не должна существенно меняться. Но этот вопрос нельзя считать окончательно выясненным. Кстати, с учетом неточности ГЛ появляется объяснение того факта, что наблюдается только одно изображение объекта. В распределенных ГЛ второго изображения может вовсе не быть [5, 6, 10] или ГЛ может оказаться недостаточной прозрачной в том месте, где оно должно быть.

Попутно упомянем некоторые другие возможности. Выше не учитывалась возможность относительного перемещения наблюдателя, линзы и (или) источника. Если же, например, наблюдатель приближается к оси источник—линза, то видимое изображение источника деформируется (обычно вытягивается). При этом, в принципе, может показаться быстро расширяющимся источник, который вообще не расширяется. Но в этом случае с равной вероятностью возможен и обратный эффект: удаление наблюдателя от упомянутой оси и быстрое сжатие изображения. Это же относится и к следующему случаю. Шварцшильдова ГЛ, находящаяся достаточно близко от наблюдателя и быстро движущаяся вдоль луча зрения, может, как легко показать, создавать два изображения одного объекта, движущиеся относительно друг друга со «сверхсветовыми скоростями». Но такая возможность представляется очень маловероятной.

Отметим, наконец, эффекты, связанные с космологической кривизной пространства. Как хорошо известно, угол, под которым виден объект данного линейного размера, при удалении от наблюдателя проходит через минимум, а затем растет как в закрытой, так и в открытой однородной Вселенной [13]. Но это означает, что и данная линейная скорость движения объекта (в направлении, перпендикулярном лучу зрения), определяемая как произведение наблюдаемой угловой скорости на расстояние до наблюдателя, может, в принципе, бесконечно расти с этим расстоянием. Конечно, этой иллюзии не будет, если в качестве «расстояния» рассматривать соответствующим образом определенное «угловое расстояние»

[13]. Но это угловое расстояние априори неизвестно, так как зависит от модели Вселенной и средней плотности материи. Неадекватная модель приведет и к ошибке в оценке скорости расширения объекта. Например, если для Вселенной без давления с плотностью, равной критической, сильно недооценить эту плотность, то, как нетрудно получить из формул [13], поперечные к лучу зрения размеры и скорости будут завышены с коэффициентом

$$K_n = c \int_{t_1}^{t_0} dt/R_{\text{угл}} = \frac{1}{3} (2 + z + \sqrt{1+z})$$

(z — красное смещение, t_1 , t_0 — время испускания и приема соответственно). При $z = 3$ получаем $K_n = 7/3$. Таким образом, этого эффекта, по всей видимости, недостаточно для объяснения наблюдаемых случаев «сверхсветового расширения».

Институт экспериментальной
метеорологии

Примечание при корректуре: После того как настоящая заметка была направлена в печать, вышли две работы на эту тему: S. M. Chitre, J. V. Narlikar, M. N., 187, 655, 1979; Ap. J., 235, 335, 1980. Они содержат интересный новый материал, но авторы, видимо, не знакомы с [1, 2].

ON THE ILLUSION OF SUPERLUMINALLY VELOCITIES CREATED BY GRAVITATIONAL LENS

L. H. INGEL

Gravitational lens, focusing the radiation of any object, increase the angle under which it is seen. Accordingly an illusion of the increase of the velocities perpendicular to the line of sights is made. Preliminary estimation shows quite a large probability of strong distortion of observed velocities.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Christensen, Nuovo Cimento, 15B, 69, 1973.
2. Л. Х. Ингель, Письма АЖ, 1, № 3, 18, 1975.
3. A. R. Whitney, I. I. Shapiro, A. E. E. Rogers, D. S. Robertson, C. A. Knight Science, 173, 225, 1971.
4. S. Liebes, Phys. Rev., 133, B835, 1964.
5. E. E. Clark, M. N., 158, 233, 1972.
6. Л. Х. Ингель, Астрон. ж., 52, 727, 1975.
7. Л. Х. Ингель, Астрофизика, 10, 555, 1974.
8. L. N. K. de Silva, Nature, 228, 1180, 1970.
9. L. N. K. da Silva, M. N., 159, 219, 1972.
10. L. N. K. de Silva, Ap. J., 189, 177, 1974.
11. Я. Эйнасто, Э. Саар, А. Каасик, П. Траат, Астрон. цирк., № 811, 1974.
12. J. M. Barnothy, M. F. Barnothy, Ap. J., 174, 477, 1972.
13. Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, Релятивистская астрофизика, Наука, М., 1967.