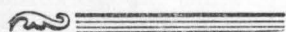
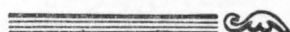


Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



№ 4 — 1963



В. Б. БРАГИНСКИЙ, Г. И. РУКМАН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВНЕЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Приведены результаты предварительных экспериментов, цель которых состоит в определении верхнего предела для гравитационного излучения внеземного происхождения.

В последнее время вопрос о реальности гравитационных волн, предсказанных А. Эйнштейном, обсуждается в ряде работ [1, 3, 4, 5, 6].

По-видимому, впервые Вебер [1] рассмотрел экспериментальные возможности наблюдения излучения — приема гравитационных волн. В [3] рассмотрены некоторые возможные источники межзвездного гравитационного излучения. Форвард и др. [6] провели экспериментальное исследование, в котором земной шар выполнял роль приемника ожидаемого межзвездного гравитационного излучения. В работе показано, что на частотах $\approx 3 \cdot 10^{-4}$ гц мощность гравитационного излучения не превышает $10^{+8} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \text{сек рад}^{1/2}}$. Однако достоверность результата [6], как

указывают авторы, сильно зависит от принятых гипотез внутреннего строения земли.

Рассмотренные в литературе варианты мысленных опытов в лабораторных условиях по обнаружению гравитационного излучения сводятся к использованию системы пробных масс. По относительному движению пробных масс может быть в принципе обнаружено гравитационное излучение. При этом пробные массы в таком приемнике должны обладать значительным квадрупольным моментом. В частности, таким свойством обладают система двух разнесенных масс, связанных элементом жесткости [1], и крутильный маятник.

В настоящей работе приведены результаты выполненных в лабораторных условиях экспериментов, в которых была предпринята попытка наблюсти гравитационное излучение внеземного происхождения и сделана оценка для верхнего предела подобного излучения.

Измерения производились на двух установках А (рис. 1) и В (рис. 2). В установке А пробные массы ($m = 70$ кг) подвешены на проволоках l_1 и l_2 длиной около 2 м. Для ослабления воздействия сейсмических помех на пробные массы l_1 и l_2 выбраны возможно более близ-

кими ($|l_1 - l_2|$ не превышало 2 мм). Пробные массы соединены двумя стержнями l_3 , l_4 и пружиной K ($l_0 \approx 3$ м). Жесткость пружины K была выбрана такой, что частота собственных антифазных колебаний системы с пробными массами в направлении CC' составляла 2 гц.

Собственная частота синфазных колебаний масс определяется только длиной подвесов l_1 и l_2 . При $l_1 \approx l_2 = 2$ м частота синфазных колебаний составляла 0,3 гц, что значительно меньше частоты антифазных колебаний (2 гц). Такая относительно большая разница в собственных частотах позволила существенно ослабить вынужденные антифазные колебания масс, вызываемые синхронной сейсмической дрожью опор a и a' . Измерение малых смещений при антифазных колебаниях пробных масс в направлении CC' производилось с помощью механо-электрического преобразователя и радиотехнического устройства (1—4). В качестве преобразователя использован емкостный датчик, применявшийся нами ранее [2]. Радиотехническое устройство (2, 3, 4) включало

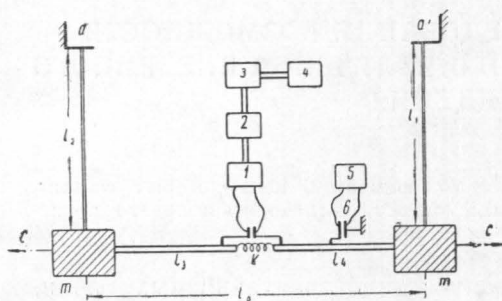


Рис. 1

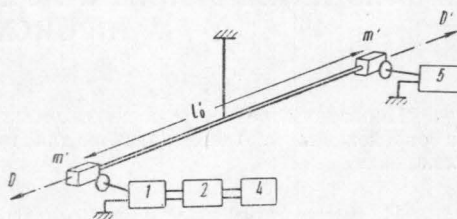


Рис. 2

в себя усилитель (2), линейный детектор (3), интегрирующую цепочку и гальванометр (4). Для абсолютной градуировки измерительного устройства 1—4 была применена система силовой калибровки [2].

Систему масс можно было раскачивать с помощью электростатической силы, создаваемой на емкости (6) напряжением генератора инфразвуковых частот (5). По величине электрического напряжения и геометрическим данным емкости (6) искусственная калибровочная сила может быть легко вычислена. Таким образом, измерительный комплекс (1—6) позволяет определить величину внешнего силового воздействия, которое вызывает антифазные колебания пробных масс. С помощью устройства (5, 6) была снята резонансная кривая для антифазных колебаний. Добротность для таких колебаний системы оказалась равной 25,3.

В установке В (рис. 2) пробные массы ($m' = 1$ кг) укреплены на жестком горизонтальном стержне l_0 длиной 80 см. Стержень подвешен на вольфрамовой нити ($D = 0,5$ мм, длина нити 40 см). Собственная частота крутильных колебаний 13 мгц (период 78 сек). Добротность крутильных колебаний оказалась равной 15. В установке В, в отличие от А, в измерительном комплексе не были использованы детектор и интегрирующая цепочка. Это оказалось возможным в связи с тем, что период крутильных колебаний достаточно большой. Остальные элементы измерительного комплекса в установках аналогичны. На рисунках не показаны специальные кожухи, защищавшие колебательные системы в установках А и В от акустических помех и конвекционных потоков. Все механические детали конструкций установок А и В выполнены из немагнитных материалов. Установки были помещены в

подвальном помещении физического факультета МГУ. Ось CC' , вдоль которой расположены массы m , ориентирована в направлении Восток—Запад; ось DD' — под углом около 30° к направлению Восток—Запад. При такой ориентировке, в результате суточного вращения Земли, диаграммы направленности гравитационных квадруполь $m - m$ и $m' - m'$ заметно изменяют свое положение по отношению к Солнцу и звездам. За три часа (поворот Земли и квадруполь на 45°) максимумы и минимумы диаграммы направленности для большей части полного телесного угла меняются местами. Таким образом, наличие локального внешнего источника гравитационного излучения могло бы привести к различию в колебаниях пробных масс в установках A и B при сравнении статистических характеристик этих колебаний за промежутки времени по 1,5 часа следующих друг за другом.

Порядок измерений состоял в следующем. На установке A в течение четырех суток в ночное время в одни и те же часы (с 2 до 5 часов) измерялось среднее квадратичное значение амплитуды антифазных колебаний масс m . Время интегрирования (усреднения) составляло 2 минуты. С помощью калибровочного устройства (5, 6) определялась величина силы F , которая могла вызвать такие колебания. Статистическая обработка результатов измерений выполнялась так же, как и в нашей работе [2]. Объединение серий измерений, выполненных в разные сутки, производилось на основании критерия Кохрена.

На установке B оператор измерял амплитуды крутильных колебаний масс m' . На одну из масс при этом одновременно действовали и флуктуационные помехи и синусоидальная сила с постоянной амплитудой ($3 \cdot 10^{-5}$ дин), создаваемая калибровочным устройством (5, 6). Частота этого периодического воздействия равнялась резонансной частоте крутильных колебаний (13 мГц). В этом случае флуктуационные части в измеренных значениях амплитуд подчинены нормальному закону распределения, что давало возможность применять при статистической оценке флуктуационного воздействия известные критерии. На установке A измерения производились 16, 17, 18, 20 октября, на установке B 29, 30 ноября и 1 декабря 1962 года.

Статистическая обработка измерений дала следующие результаты. Для установки A ($f_0 = 2$ гц): изменение среднего квадрата флуктуационной силы, вызывающей антифазные колебания гравитационного квадруполь $\bar{F}^2$ не может быть признано значимым. Также не может быть признано значимым изменение среднего квадрата силы, вызывающей крутильные колебания в установке B ($f_0 = 13$ мГц). По величине дисперсии для среднего квадрата флуктуационных силовых воздействий $\bar{F}^2$ на пробные массы в условиях опытов можно, используя дисперсионный анализ, вычислить наименьшее значение изменения $\delta(\sqrt{\bar{F}^2})$, которое могло быть обнаружено. Для установки A можно было бы обнаружить $\delta_A(\sqrt{\bar{F}^2}) = 9,4 \cdot 10^{-3}$ дин, для установки B $\delta_B(\sqrt{\bar{F}^2}) = 4,2 \cdot 10^{-7}$ дин. Достоверность обнаружения — 0,95. Если воспользоваться теорией Синга и Шилда [1, 5], то можно, зная разницу сил F , действующих на пробные массы m и расстояния между ними l , определить компоненты тензора кривизны;

$$R_{i0j0} \simeq \frac{F}{mc^2 l_0}. \quad (1)$$

Используя полученные значения для $\delta_A(\sqrt{\bar{F}^2})$, $\delta_B(\sqrt{\bar{F}^2})$ и измеренные значения добротностей колебательных систем, можно оценить наибольшее значение (верхний предел) для Фурье-компонентов тензора кривизны, кото-

рые можно было бы обнаружить в условиях поставленных опытов.

Несложный расчет дает для $\sqrt{R_{i0j0}^2(\omega)} = 6,4 \cdot 10^{-31} \text{ см}^{-2} \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right)^{-\frac{1}{2}}$ (в диапазоне частот около 2 гц) и $\sqrt{R_{i0j0}^2(\omega)} = 8,2 \cdot 10^{-32} \text{ см}^{-2} \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right)^{-\frac{1}{2}}$ (в диапазоне частот около 13 мц).

Отметим сразу, что оценка для верхнего предела мощности гравитационного излучения источника, которое могло бы быть обнаружено в наших условиях, существенно зависит от выбора системы координат, в частности от скорости движения источника по отношению к Земле. Различимая мощность $t_{or}(\omega)$ гравитационного излучения, которая могла бы возбудить обнаружимые колебания квадруполь в опытах А и В, определяется из найденных значений для верхнего предела компонентов тензора кривизны. Поток мощности на единицу поверхности равен [6]

$$t_{or}(\omega) \simeq \frac{c^7 R_{i0j0}^2(\omega)}{15\pi^2 \gamma \omega^2}, \quad (2)$$

здесь γ — гравитационная постоянная, c — скорость света.

Подставляя численные значения $R_{i0j0}^2(\omega)$, получим следующие значения верхних пределов мощности гравитационного излучения, которое могло бы быть обнаружено: для установки А

$$t_{or}(\omega) = 5 \cdot 10^{+16} \frac{\text{эрг}}{\text{сек см}^2} \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right)^{-1},$$

для установки В

$$t_{or}(\omega) = 2 \cdot 10^{+18} \frac{\text{эрг}}{\text{сек см}^2} \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right)^{-1}.$$

Необходимо отметить, что этим относительно большим значениям мощностей гравитационного излучения соответствуют весьма малые величины поглощаемой мощности, которая может вызывать обнаружимые колебания квадруполь. Коэффициент поглощения σ для гравитационного квадруполь имеет порядок

$$\sigma \simeq \frac{8\pi\gamma r l_0^2 \omega_0 Q}{3c^3}. \quad (3)$$

Здесь r — радиус масс, входящих в квадруполь, ρ — плотность материала этих масс, l_0 — расстояние между массами, ω_0 — собственная частота колебаний квадруполь, Q — механическая добротность. Для установки А $\sigma_A = 4 \cdot 10^{-29}$, для установки В $\sigma_B = 2,5 \cdot 10^{-33}$. Отсюда мощности, которые могли вызвать обнаружимые механические колебания в установках А и В, равны соответственно $7,2 \cdot 10^{-11} \frac{\text{эрг}}{\text{сек}}$ и $1,2 \cdot 10^{-13} \frac{\text{эрг}}{\text{сек}}$. Для сравнения заметим, что мощность электромагнитного излучения от Солнца, поглощаемого 1 см² поверхности Земли, составляет около $10^{+6} \frac{\text{эрг}}{\text{сек}}$.

Полученные в настоящей работе значения для верхних пределов мощности гравитационного излучения все же относительно велики, они значительно больше известных оценок мощности внеземного излучения, полученных на основе рассмотрения конкретных гипотез [3]. Следует заметить, что полученные значения верхних пределов для $R_{iojo}^2(\omega)$ на частотах $13 \cdot 10^{-3}$ гц, 2 гц близки к значениям этой же величины, полученной по предварительным сообщениям [4] в Мэрилендском университете (США) в диапазоне $f_0 \simeq 1000$ гц. По-видимому, в диапазоне около 1 кгц менее вероятно ожидать интенсивного гравитационного излучения внеземного происхождения.

Авторы настоящей работы, используя ряд мер по ослаблению внутренних шумов приемного устройства (эвакуирование объема вблизи пробных масс, применение магнитного подвеса и др.), предполагают понизить значение верхнего предела обнаружимого гравитационного излучения.

Дополнение. За время, пока настоящая работа находилась в редакции, были произведены дополнительные измерения на видоизмененном варианте установки В. В новом варианте пробные массы были увеличены до $m = 10^4$ г, расстояние между ними было увеличено до $2,7 \cdot 10^{+2}$ см. Вся механическая система была помещена в немагнитном кожухе при вакууме не хуже чем $1,5 \cdot 10^{-2}$ мм Нг. В этих условиях, используя тот же измерительный комплекс, удалось снизить величины $\sqrt{R_{iojo}^2(\omega)}$ и $t_{or}(\omega)$, которые могли бы быть обнаружены до $2,6 \cdot 10^{-33}$ см $^{-2} \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}}\right)^{-1/2}$ и $3,5 \cdot 10^{+16} \frac{\text{эрг}}{\text{сек/см}^2} \left(\frac{\text{рад}}{\text{сек}}\right)^{-1}$ соответственно.

Разрешимое значение изменения силы, действующей на пробные массы, которое могло бы быть обнаружено, составляет $2 \cdot 10^{-7}$ дин; этому соответствует обнаружимая механическая мощность в $1,6 \cdot 10^{-15} \frac{\text{эрг}}{\text{сек}}$. Собственная частота колебаний системы $f_0 = 24$ мгц, добротность $Q = 220$.

Авторы считают своим приятным долгом выразить искреннюю признательность проф. В. В. Мигулину за ценные дискуссии, В. К. Мартынову, П. М. Насущнову, А. Б. Манукину за участие в измерениях и создании установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weber J. Phys. Rev., **117**, No. 1, 306—317, 1960.
2. Брагинский В. Б., Руденко Р. Н., Рукман Г. И. ЖЭТФ, **43**, 1 (7), 50, 1962.
3. Уиллер. «Гравитация, Нейтрино, Вселенная». ИЛ, 1962.
4. Weber J. Electronics, **35**, No. 33, 66, 68, 1962.
5. Сб. «Новейшие проблемы гравитаций». ИЛ, 1961.
6. Forward R. и др. Nature, February, **11**, 475, 1961.

Поступила в редакцию
22. I 1963 г.

Кафедра
теории колебаний