

# Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 — 1966

УДК 521.12 : 531.5

В. Б. БРАГИНСКИЙ, В. К. МАРТЫНОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ТЕЛА НА ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Описан опыт, в котором была предпринята попытка обнаружить влияние промежуточного тела на ньютоновское взаимодействие. В опыте использовались радиотехническая методика измерения малых смещений, близкое к оптимальному выделение сигнала из шумов, статистические методы анализа результатов. В результате измерений установлено, что в условиях опыта промежуточное тело не оказывает влияния на статическое гравитационное взаимодействие на уровне  $1,5 \cdot 10^{-11}$  (с достоверностью 0,95). Обсуждены возможные следствия из поставленного опыта.

### Введение

Возросший за последние несколько лет интерес к экспериментальным исследованиям гравитационных эффектов (см., например, обзор в [1]), в частности, связан с интенсивным развитием теории и методов выделения слабых сигналов из шумов. Сформулированная относительно недавно теория обнаружения позволяет делать корректные статистические выводы (не зависящие от субъективных оценок оператора) при обработке информации, полученной при длительном и оптимальном выделении слабого сигнала. Кроме критериев математической статистики оказывается удобным использовать радиотехнические приемы для измерения малых механических перемещений (см., например, [2, 3]). Сочетание этих методов позволяет повысить точность и увеличить разрешающую способность в экспериментальных исследованиях гравитационных эффектов.

В настоящей работе описан эксперимент, в котором была предпринята попытка обнаружить влияние промежуточного тела на статическое гравитационное взаимодействие. Этот эксперимент является аналогичным по постановке задачи эксперименту, выполненному при участии одного из авторов в 1961 г. [4]. В общей теории относительности (О.Т.О.) влияние промежуточного тела на статическое притяжение двух масс сказывается лишь за счет так называемого тройного взаимодействия масс. Качественно этот эффект может быть описан, как взаимодействие одной из двух рассматриваемых масс  $m_1$  с добавком массы, связанным с энергией взаимодействия второй массы  $m_2$  с промежуточным телом  $m_3$ :  $\Delta m \approx \gamma m_2 m_3 (c^2 r_{23})^{-1}$ , где  $\gamma$  — гравитационная постоянная,  $C$  — ско-

рость света. Добавок к ньютоновскому притяжению  $\gamma m_1 m_2 r_{12}^{-2}$  имеет порядок

$$\Delta F \approx \gamma m, \quad \Delta m r^{-2} = \gamma^2 m_1 m_2 m_3 (c^2 r^2 r_{23})^{-1}$$

(см. подробнее [5]).

Этот релятивистский эффект весьма мал. Наличие более сильного эффекта по существу отвергается О.Т.О., которая базируется на том, что  $m_{\text{ин}}/m_{\text{грав}}$  для любых тел есть постоянная величина (слабый принцип эквивалентности). Постоянство отношения инертной массы к гравитационной является опытным фактом, известным хотя и с очень высокой, но ограниченной степенью точности [2], поэтому эксперимент, в котором делается попытка обнаружить влияние промежуточного тела на ньютоновское взаимодействие, можно рассматривать как некоторое дополнение к опытам по проверке слабого принципа эквивалентности.

В настоящее время разработаны [6, 7] варианты модельных представлений о природе гравитационного взаимодействия, выходящие за рамки О.Т.О., из которых следует возможность влияния промежуточного тела на гравитационное взаимодействие. Таким образом, и с этой точки зрения постановка описываемого эксперимента представляется желательной.

### Условия постановки опыта и описание установки

Если в гравитационном эксперименте наблюдаемый эффект проявляется в виде малой силы, действующей на пробную массу, то можно сформулировать рекомендации для осуществления наилучших условий при постановке такого опыта. Пробная масса  $m_0$  вместе с элементом жесткости  $K$  и элементом трения  $H$ , которые связывают ее с лабораторией, образуют колебательную систему с одной степенью свободы. На эту систему воздействуют различные флуктуационные силы. Наиболее существенные из них — это тепловые механические флуктуации и сейсмические колебания лаборатории (см. подробнее [8, 9]).

Для достоверного обнаружения гравитационной силы  $F_{\text{гр}}$ , действующей на  $m_0$  на фоне тепловых и сейсмических флуктуаций, необходимо, чтобы выполнялось условие

$$F_{\text{гр}} \geq \alpha \sqrt{\bar{F}_T^2 + \bar{F}_c^2}. \quad (1)$$

Здесь  $\bar{F}_T^2$  и  $\bar{F}_c^2$  — средние квадраты флуктуационных сил теплового и сейсмического происхождения, а  $\alpha$  — имеет порядок нескольких единиц и зависит от мощности статистического критерия и от выбранного уровня достоверности обнаружения.

Для всех слабых гравитационных эффектов  $F_{\text{гр}}$  пропорционально величине массы:  $F_{\text{гр}} = m_0$ , а величины  $\bar{F}_T^2$  и  $\bar{F}_c^2$  связаны с элементами колебательной системы

$$\bar{F}_T^2 = 4\kappa T H \Delta f \quad \text{и} \quad \bar{F}_c^2 = \xi^2 K^2 S(f) \Delta f. \quad (2)$$

Здесь  $\kappa$  — постоянная Больцмана,  $\Delta f$  — полоса частот,  $T$  — температура,  $S(f)$  — спектральная плотность сейсмических колебаний лаборатории,  $\xi$  — коэффициент связи колебаний лаборатории с колебаниями системы, в которую входит  $m$ .

Используя (2), выражению (1) можно придать следующий вид:

$$\xi \geq \alpha \sqrt{\left[ \frac{4\kappa T \omega_0}{m_0 Q} + \omega_0^4 \xi^2 S(f) \right] \Delta f}, \quad (3)$$

где  $Q$  — добротность колебательной системы ( $m_0, K, H$ );  $\omega_0 = (K/m_0)^{1/2}$ .

Как видно из выражения (3)  $\xi$  тем меньше, чем меньше  $\omega$ ,  $\xi$  и чем больше  $Q$  и  $m$ . Увеличение  $m_0$  соответствует увеличению масштаба эксперимента. Для механических колебательных систем  $Q$  обычно лежит в пределах  $10^{+3}$ — $10^{+4}$ , а наименьшие значения  $\xi$  и одновременно  $\omega$  могут быть получены, если воспользоваться крутильными маятниками с унифилярными подвесами. Эти условия были, по-видимому, интуитивно известны еще во времена Этвеша, который использовал крутильные маятники с  $\omega_0 \approx 2\pi \cdot 10^{-3}$  рад/сек.

При малых  $\omega_0$  и достаточно больших  $Q$  крутильный маятник «автоматически» обеспечивает малое значение  $\Delta f$  (порядка  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  гц). Этим, по-видимому, и объясняется отсутствие качественного скачка в точности измерений в современных гравитационных экспериментах, где также используются механические колебательные системы (например, [2, 4]) по сравнению с точностью в экспериментах Этвеша [11]. Заметим, что современная экспериментальная техника позволяет в принципе существенно снизить разрешимую величину  $\xi$  (см. подробнее [8, 10]).

Для этого необходимо, во-первых, использовать систему «вычитания» воздействия сейсмических колебаний из движения пробной массы  $m_0^*$ , во-вторых, заменить механический подвес магнитным (увеличение  $Q$  до  $10^{13}$ — $10^{15}$ ). Однако полное осуществление такой программы требует существенного усложнения установки и в данном конкретном эксперименте не имеет смысла из-за ограничений, связанных с точностью изготовления некоторых деталей установки.

Основные элементы установки, использованной в описываемом эксперименте, изображены на рис. 1. Крутильный маятник состоит из двух одинаковых масс  $m_0$  и  $m_1$  (по 25 г каждая), укрепленных на концах коромысла, и вольфрамовой проволоки  $l$  ( $\phi = 100$  мкн). Масса  $m_0$  играет роль пробного тела. Масса  $m_1$  имеет форму параллелепипеда, плоская грань которого образует вместе с неподвижным электродом  $A$  емкость, равную 3,5—4 пФ. Эта емкость входит в состав емкостного датчика-дискриминатора, который позволяет регистрировать малые колебания крутильного маятника в горизонтальной плоскости. Схема датчика аналогична использованной нами в работе [3]. В связи с тем что период колебаний крутильного маятника равен  $\tau_0 = 240$  сек, в электрической схеме нет усилителя в отличие от схемы в [3], а на выходе в качестве регистрирующего прибора использован высокочувствительный гальванометр М 21/1.

Емкость датчика (между  $A$  и  $m_1$ ) одновременно используется для силовой калибровки. Если подавать электростатические импульсы известной амплитуды и длительности между  $m_1$  и  $A$ , то, зная геометрические размеры емкости, нетрудно рассчитать величину механического импульса, сообщенного крутильному маятнику (см. [3]). Этим же устройством можно пользоваться для успокоения колебаний маятника.

Крутильный маятник помещен в стеклянный баллон, в котором поддерживается вакуум не хуже  $1 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст. Вольфрамовая нить прикреплена к подвижному металлическому шлифу  $B$ , вращая который, можно, не нарушая вакуум, регулировать зазор рабочей емкости между  $m_1$  и  $A$ . Стеклянный баллон закреплен внутри дюралюминиевого кожуха (на рисунке показан пунктиром). Кожух вместе с насосом жестко прикреплен к капитальной стене\*\*. Форвакуумный насос для

\* Сейсмические колебания не являются шумами в обычном смысле, так как их амплитудный и фазовый спектр известны.

\*\* Измерения производились в подвальном помещении физического факультета МГУ.

уменьшения вибраций вынесен на расстояние 5 м в соседнее помещение. Крутильный маятник в вакууме обладает механической добротностью  $Q \geq 1,5 \cdot 10^3$ , и его постоянная времени  $\tau^*$  оказывается равной  $\tau^* = (\pi)^{-1} \tau_0 Q \geq 10^5$  сек.

Время, затраченное на измерения  $\hat{\tau}$  составляло единицы часов. Таким образом, выполняется условие  $\tau_0 \ll \hat{\tau} \ll \tau^*$ . В этом случае для обнаружения малых переменных сил, действующих на  $m_0$ , удобно подвергнуть статистической обработке группу малых изменений амплитуды

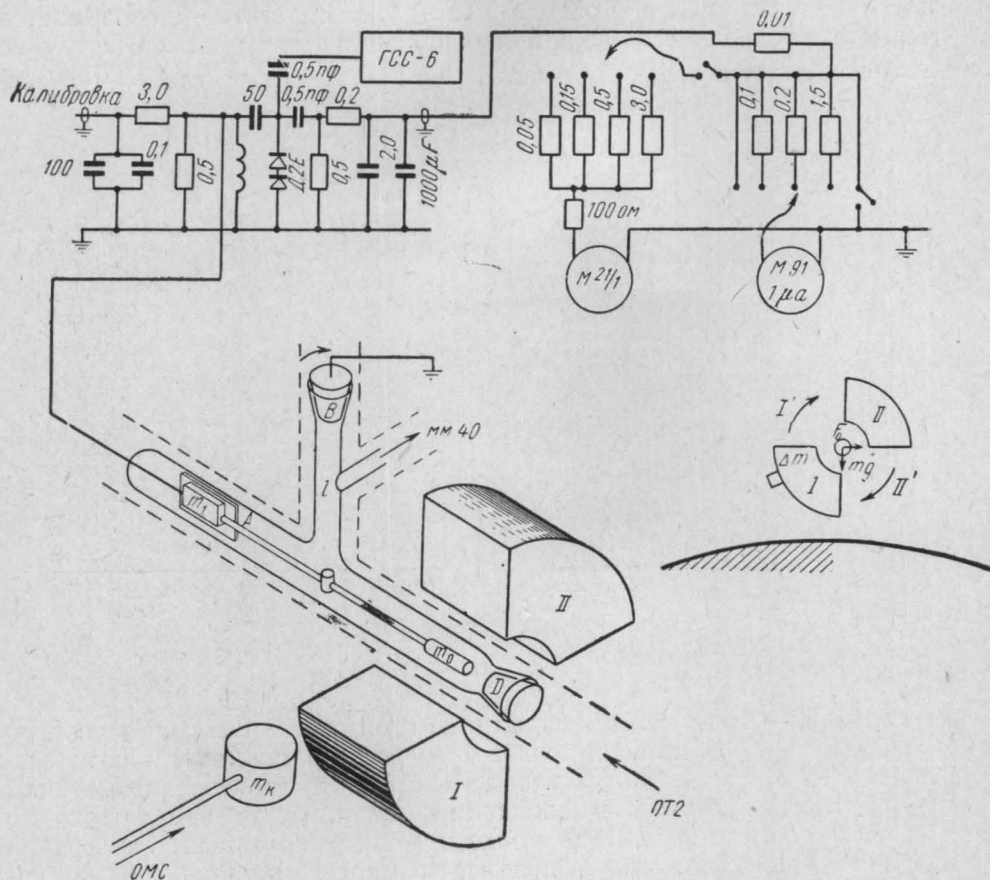


Рис. 1

колебаний маятника (см. [10]). На рис. 2 изображены изменения амплитуды колебаний маятника во времени. В течение отрезка времени от 0 до  $a$  производилось принудительное успокоение с помощью электростатических импульсов. Затем маятник совершал свободные колебания; промежуток времени от  $a$  до  $b$  равен 1,5 час.

Для силовой калибровки регистрирующего устройства кроме электростатического использовалось и гравитационное воздействие. К пробной массе  $m_0$  на расстояние 20 см приближалась масса  $m_k = 4,5$  кг в течение одного или нескольких полупериодов колебаний маятника. При сравнении двух независимых способов абсолютной силовой калибровки (гравитационной и электростатической) расхождение не превысило 20%. Системой электростатической калибровки удобно успокаивать относительно большие колебания маятника (от  $10^{-1}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  см).

Меньшие амплитуды колебаний удобно успокаивать системой гравитационной калибровки.

Соосно с коромыслом маятника, симметрично по отношению к пробной массе  $m_0$  установлен латунный цилиндр с двумя одинаковыми латунными секторами I и II (см. рис. 1). Эти секторы и играют роль промежуточных тел, влияние которых на гравитационное притяжение  $m_0$  к земле мы и пытались обнаружить. Секторы расположены симметрично по отношению к  $m_0$  так, что при идеальной центровке их суммарное гравитационное притяжение к  $m_0$  равно нулю. В том положении, какое занимают секторы (см. правую часть рис. 1), сектор I оказывается «между» пробной массой  $m_0$  и половиной земли, которая, как не трудно подсчитать, притягивает  $m_0$  с силой  $m_0 g \sqrt{0,25 + (\pi)^{-2}}$ , где  $g$  — ускоре-

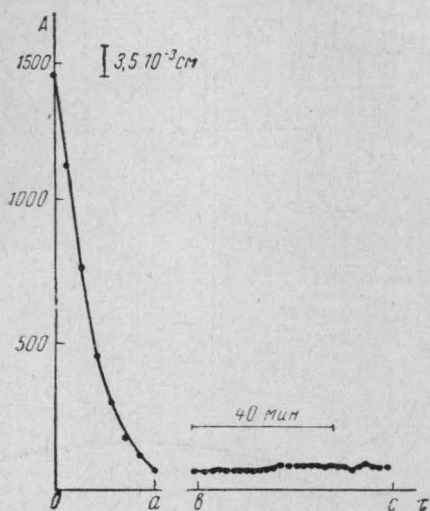


Рис. 2

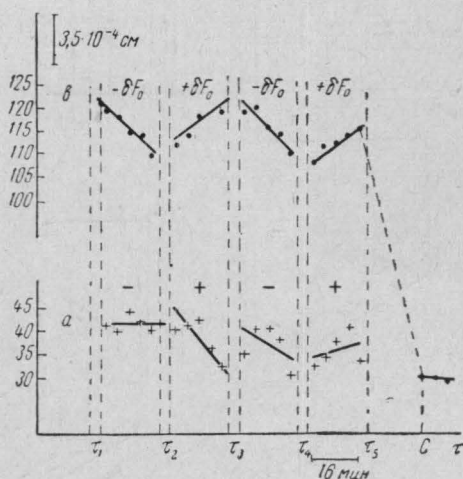


Рис. 3

ние свободного падения. Эта сила имеет горизонтальную составляющую  $F_0 = m_0 g (\pi)^{-1}$ . Если промежуточное тело (сектор I или II) как-то скажется на гравитационном взаимодействии, то горизонтальные силы  $F_0 = m_0 g (\pi)^{-1}$ , создаваемые половинами земли, будут изменяться, что вызовет изменение амплитуды горизонтальных крутильных колебаний маятника. Удобно для увеличения эффекта вращать цилиндр с секторами I и II так, чтобы четверть оборота цилиндра (I занимает положение I', а II — положение II') точно равнялась половине периода колебаний маятника. В этом случае (резонансом) искомое изменение  $F_0$  при соответствующей фазировке вращения секторов должно линейно увеличивать или уменьшать амплитуду колебаний крутильного маятника (так как  $\hat{\tau} \ll \tau^*$ ).

В следующем разделе будет описана методика статистической обработки малых изменений амплитуды колебаний с целью определения наименьших изменений  $F_0$ , обнаружимых в условиях поставленного опыта. Описанная установка сходна с применявшейся Этвешем [11] в опыте, поставленном с той же целью. В отличие от установки Этвеша добротность маятника (помещенного в вакуум) была существенно больше, что увеличивает разрешающую способность устройства. Кроме того, в нашем эксперименте была использована радиотехническая методика измерения малых смещений (до  $2 \cdot 10^{-5}$  см) и статистическая

обработка результатов наблюдений. Нужно отметить, что при измерениях использовалось дистанционное управление системой калибровки и вращением секторов; при этом оператор находился на расстоянии не менее 5 м от установки.

### Методика обработки результатов измерений и возможные когерентные помехи

На рис. 3 приведены две записи последовательных значений амплитуды  $A$  колебаний крутильного маятника в течение интервалов времени около одного часа; масштаб в 20 раз более крупный, чем на рис. 2. Последовательность значений амплитуды ( $a$ ), обозначенная крестами, соответствует случаю, когда секторы I и II сцентрированы по отношению к  $m_0$  с точностью не хуже 0,05 мм. В интервалах  $\tau_1 \div \tau_2$ ,  $\tau_3 \div \tau_4$  фаза вращения секторов по отношению к колебаниям маятника выбрана так, что если изменение  $F_0$  имеет место, то  $\delta F_0$  должна уменьшать  $A$ :  $\delta A' = -(\delta F_0) \Delta \tau (m_0 \omega_0)^{-1}$ . В течение  $\tau_2 \div \tau_3$  и  $\tau_4 \div \tau_5$  фаза вращения сдвинута на  $\pi$  так, что  $\delta A'' = +(\delta F_0) \Delta \tau (m_0 \omega_0)^{-1}$ . В соответствии с рекомендациями, приведенными в работе [10], для выявления малых значений  $\delta F_0$  на фоне флуктуаций следует произвести статистическое сравнение двух групп величин  $\delta A_i'$  и  $\delta A_j''$ . Для одинаковых отрезков времени  $\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1 = \tau_3 - \tau_2 = \dots$  можно заменить  $\delta A_i'$  и  $\delta A_j''$  на  $\delta A_i' / \Delta \tau$  и  $\delta A_j'' / \Delta \tau$ , которые удобно получить, построив линии регрессии для соответствующих значений амплитуд. Далее для сравнения групп  $\delta A_i' / \Delta \tau$  и  $\delta A_j'' / \Delta \tau$  необходимо воспользоваться  $t$ -критерием Стьюдента [10]. В результате проведенных измерений при полной затрате времени около 4 час были получены следующие значения для средних по группам и несмещенной оценки дисперсии:

$$\begin{aligned} \overline{\left( \frac{\delta A_i'}{\Delta \tau} \right)}_{n_1=7} &= -4,2 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}}{\text{сек}}, \quad \overline{\left( \frac{\delta A_j''}{\Delta \tau} \right)}_{n_2=5} = -3,5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}}{\text{сек}}; \\ s^2 &= 3,5 \cdot 10^{-15} \frac{\text{см}^2}{\text{сек}^2}, \end{aligned}$$

откуда

$$t = \left| \left( \overline{\frac{\delta A_i'}{\Delta \tau}} \right) - \left( \overline{\frac{\delta A_j''}{\Delta \tau}} \right) \right| \left[ s \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \right]^{-1} = 0,2.$$

Величина  $t=0,2$  существенно меньше, чем  $t_{0,95}=1,8$  для  $\nu=n_1+n_2-2$  [10]. Если полученное значение  $t$  было бы близко к квантили 1,8, то только в этом случае можно было бы говорить о статистическом различии  $(\delta A_i' / \Delta \tau)$  и  $(\delta A_j'' / \Delta \tau)$ . Таким образом, на основании полученных результатов следует сделать вывод, что статистического различия в изменениях амплитуд нет и что  $\delta F_0$  равно нулю.

Интересно подсчитать величину  $\delta F_0$ , которую можно было бы не обнаружить, используя описанный метод обработки. Задаваясь достоверностью 0,95, не трудно [13], используя полученные данные, подсчитать, что  $(\delta F_0)_{0,95} = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ дн}$  (ошибка второго рода). Такое изменение силы  $F_0$  было бы не обнаружено в условиях нашего опыта лишь в пяти случаях из ста при том же времени измерения. Эта величина убывает немного быстрее, чем  $\hat{\tau}^{-1/2}$ , где  $\hat{\tau}$  — полное время, затраченное на измерения.

Таким образом, можно утверждать, что в условиях поставленного опыта возможное относительное влияние промежуточного тела на ста-

тическое гравитационное взаимодействие с достоверностью 0,95 не превышало  $(\delta F_0)_{0,95}/m_0g = 5,1 \cdot 10^{-12}$  или  $\pi(\delta F_0)_{0,95}/m_0g = 1,5 \cdot 10^{-11}$ . Так как «экранировка»  $m_0$  не была полной, то можно отдать предпочтение первому или второму соотношению (или какому-либо другому соотношению, в которое войдет  $(\delta F_0)_{0,95}$  и  $m_0$ ) только при сравнении полученного результата с конкретной теоретической гипотезой, предлагающей возможность влияния промежуточного тела на ньютоновское взаимодействие.

Приведем оценки возможных когерентных с предполагаемой величиной  $\delta F_0$  помех, которые могли иметь место в описываемом эксперименте:

Наибольшей возможной когерентной с  $\delta F_0$  помехой является гравитационное притяжение  $F_1$  пробной массы  $m_0$  к секторам I и II при неточной центровке секторов по отношению к  $m_0$ . Для определения  $F_1$  с помощью ЦВМ «Стрела» было вычислено распределение компонентов напряженности гравитационного поля, создаваемого массами секторов вблизи оси  $m_0$ . При наибольшей возможной децентровке\* в 0,05 мм величина  $F_1$  могла достигать  $7 \cdot 10^{-8}$  *дин*, что меньше  $(\delta F_0)_{0,95} = 1,2 \cdot 10^{-7}$  *дин*. Нетрудно подсчитать, что при затрате времени на выделение предполагаемой силы до 10—12 *час* мы бы получили статистическое различие между  $(\delta A_i'/\Delta\tau)$  и  $(\delta A_j''/\Delta\tau)$ , но оно могло быть вызвано когерентной помехой  $F_1$ . Именно поэтому в описываемом эксперименте был использован обычный крутильный маятник и затраченное на выделение время не превысило 4 *часов*.

На рис. 3 для иллюстрации приведена запись последовательных значений амплитуды (*б*) при вращении секторов для случая, когда децентровка составляла около 0,4 мм. Фаза вращении секторов такая же, как и в последовательности (*а*). В наклонах линии регрессии четко проявляется искусственно увеличенная сила  $F_1$ . На этом же рисунке показана реакция маятника на импульс калибрующей силы  $F_k$ , вызванной приближением массы  $m_k$  (интервал времени  $\tau_5 \div \tau_6$ ).

Второй возможной когерентной помехой  $F_1$  является также гравитационное притяжение  $m_0$  к секторам I и II, вызванное неидентичностью секторов. Дополнительные измерения показали, что относительная разность плотностей латуни, из которой изготовлены секторы, может достигать  $\delta\rho/\rho \approx 1,5 \cdot 10^{-3}$ ; относительное различие в объемах секторов, вызванное неточностью изготовления порядка,  $\delta V/V \approx 4 \cdot 10^{-3}$ . Используя эти величины, нетрудно подсчитать, что разница в массе секторов может достигнуть  $\Delta m \approx 20$  г. Однако в условиях опыта притяжение  $\Delta m$  к  $m_0$  проявится лишь при несимметричном расположении секторов по отношению к  $m_0$ . Это связано с тем, что сила  $\delta F_0$  должна проявиться с частотой, вдвое большей, чем частота вращения секторов. Поэтому нас будет интересовать лишь вторая гармоника от взаимодействия  $\Delta m$  с  $m_0$ , которая отлична от нуля лишь при наличии децентровки. Нетрудно оценить порядок этой силы:  $F_2 \approx \zeta \frac{\Delta m \cdot m_0}{R^2} = 5 \cdot 10^{-10}$  *дин* (в этом выражении  $\zeta \approx 10^{-3}$  — относительная децентровка). Как видно из этой оценки,  $F_2$  существенно меньше, чем  $(\delta F_0)_{0,95} = 1,2 \cdot 10^{-7}$  *дин*.

Также когерентной с  $\delta F_0$  может быть сила  $F_3$ , вызванная квазистатическим взаимодействием  $m_0$  с магнитным полем Земли, промодулированным при вращении секторов. По порядку величины  $F_3 \approx (\mu - 1) V_0 B \partial B / \partial r (8 \mu)^{-1}$ , где  $V_0$  — объем  $m_0$ ,  $\mu$  — магнитная проницаемость лату-

\* Точность центровки проверялась с помощью микрокатетметра ОСМ-1 и отсчетной трубы ОТ-1.

ни, а  $B$  или  $\partial B/\partial r$  — переменные во времени части земного магнитного поля, меняющиеся при вращении секторов синхронно с  $\delta F_0$ . Величины амплитуд  $B$  и  $\partial B/\partial r$  не превышают соответственно  $(\mu-1)H_0$  и  $(\mu-1)H_0/R$ , где  $H_0$  — напряженность магнитного поля Земли,  $R$  — порядка размера секторов. Таким образом,

$$F_3 \approx (\mu-1)^2 V_0 H_0^2 (8\pi R)^{-1} \approx 3 \cdot 10^{-14} \text{ дин},$$

что существенно меньше, чем  $(\delta F_0)_{0,95} = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ дин}$ .

В поставленном опыте, так же как и в предшествующем [4], маятник и система, на которой были закреплены сектора, были расположены на отдельных фундаментах. Это существенно ослабляет силовое воздействие  $F_4$  на  $m_0$ , вызванное центробежной силой при вращении секторов. Учитывая, что частота вращения секторов равнялась  $2 \cdot 10^{-3} \text{ гц}$  и эквивалентная жесткость, связывающая  $m_0$  с кожухом, в котором закреплен крутильный маятник, не превышала  $4 \cdot 10^{-2} \text{ дин/см}$ ; нетрудно оценить величину силы  $F_4$ , аналогично тому, как это было сделано в [4]. Оценка показывает, что  $F_4/(\delta F_0)_{0,95} < 10^{-4}$ . Кроме этого следует учесть, что  $F_4$  и  $(\delta F_0)$  отличаются по частоте в 2 раза.

### Обсуждение результатов

Как уже отмечалось, численная оценка результатов возможна лишь в рамках определенной гипотезы. Можно подсчитать результат, который должен был бы получиться в условиях поставленного опыта в соответствии с гипотезой Майорана [12]. Если исходить из наименьшей из «констант экранировки» ( $2,8 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2 \text{ г}^{-1}$ ) в гипотезе Майорана, то в нашем эксперименте на массу должна была бы действовать горизонтальная сила  $F_M = m_0 g \cdot 3,4 \cdot 10^{-11}$ .

Напомним, что вероятность не обнаружить силу  $(\delta F_0)_{0,95} = m_0 g \cdot 5 \cdot 10^{-12}$  в условиях опыта равна 0,05. Отсюда нетрудно подсчитать [13] вероятность ошибки второго рода  $1 - \pi(\xi)$ , т. е. вероятность того, что гипотеза Майорана справедлива, но из-за флуктуаций положительный эффект замечен не был. Несложный расчет для «константы экранировки», равной  $2,8 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2 \text{ г}^{-1}$ , дает  $1 - \pi(\xi) \approx 2 \cdot 10^{-37}$ . Иными словами, вероятность справедливости представлений [7, 12] о влиянии промежуточного тела на гравитационное взаимодействие ничтожно мала. Отметим, что хотя разрешающая способность в этом опыте больше, чем в предшествующем [4], примерно на порядок, величина ошибки второго рода по отношению к гипотезе Майорана уменьшалась более существенно (в эксперименте [4] для гипотезы Майорана  $1 - \pi(\xi) = 4 \cdot 10^{-2}$ , а в описываемом эксперименте  $1 - \pi(\xi) = 2 \cdot 10^{-37}$ ).

Как уже отмечалось во введении, поставленный эксперимент можно рассматривать как дополнение к опытам по проверке слабого принципа эквивалентности. Обнаружение нелинейного гравитационного эффекта в земных лабораторных условиях в схеме опыта, подобного описанному, необычайно трудно, и, по-видимому, неосуществимо в земных лабораторных условиях (см. подробнее [9]). Повышение точности в схеме опыта, подобного описанному, возможно. Основная трудность заключается в компенсации ньютоновского притяжения к промежуточным телам. Если увеличить масштабы опыта (т. е. увеличить размеры секторов, и расстояние между пробной массой и секторами), то, как показывают оценки, которые мы здесь приводить не будем, можно повысить разрешающую способность еще на 1—1,5 порядка.



В заключение авторы выражают признательность проф. В. В. Мигулину и Г. И. Рукману за ценные дискуссии, а также Я. М. Жилейкину и П. М. Насушнову за помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Witten L. Gravitation. N. Y., 1962.
2. Dicke R. H. Experimental Relativity, Princeton. N. Y., 1963.
3. Брагинский В. Б. «Приборы и техника эксперимента», № 3, 160, 1964.
4. Брагинский В. Б., Руденко В. Н., Рукман Г. И. ЖЭТФ, 43, № 7, 52, 1962.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М., Физматгиз, 1960, стр. 376.
6. Станюкович К. П. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физ., астроном., № 5, 71, 1961.
7. Shneiderov A. J. Bolletino di Geofisica teorica ed Applicata, 111, No. 9, 10, 1961.
8. Брагинский В. Б. ЖЭТФ, 44, № 5, 1562, 1963.
9. Брагинский В. Б., Руденко В. Н. «Уч. зап. Казан. ун-та», 123, вып. 12, 96, 1963.
10. Брагинский В. Б. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физ., астроном., № 2, 65, 1965.
11. Etvos R., Pekar D., Fekete E. Ann der Phys., 68, 11, 1922.
12. Majorana Q. Phil. Mag., 39, 488, 1920.
13. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. М., ИЛ, 1956.

Поступила в редакцию  
5. 11 1965 г.

Кафедра  
физики колебаний