

09 Голограммный баллистический гравиметр с фиксацией углового положения пробного тела

© А.Л. Дмитриев, Е.И. Котова, Ю.Т. Нагибин

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО),
197101 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: cath.kotova@yandex.ru

(Поступило в Редакцию 24 февраля 2016 г.)

Приведены результаты экспериментального моделирования голограммного абсолютного баллистического гравиметра с минимальной, до 0.5 мм, длиной траектории падения пробного тела и жесткой стабилизацией его углового положения. Гравиметры данного типа обеспечат мобильное измерение величины ускорения свободного падения и предназначены для использования в новой области исследований — высокочастотной гравиметрии.

Одной из актуальных проблем современной гравиметрии является расширение частотного диапазона измерений величины и флуктуаций напряженности гравитационного поля [1,2]. Высокочастотные, диапазона десятков–сотен Нз и выше, измерения ускорения свободного падения (УСП) тел информативны в исследованиях сложных геофизических процессов в ядре, мантии и коре Земли. Данные ВЧ-гравиметрии полезны при решении практических задач геологоразведки, они могут использоваться в методиках обнаружения подводных объектов и предсказаний природных катастроф (землетрясений, цунами, оползней), а также в навигации. Сверхпроводящие гравиметры и лазерные статические гравиметры с магнитной подвеской пробного тела и оптическим интерференционным контролем его положения принципиально могут применяться для измерений флуктуаций величины УСП. Основное затруднение в использовании таких гравиметров связано с влиянием на измерения не только вибрационных, но и магнитных помех различной природы — техногенных, геофизических и астрофизических. Поэтому лазерные баллистические гравиметры с пробным телом, изготовленным из немагнитных материалов, основанные на тщательном спектральном анализе регистрируемых сигналов биений, для ВЧ-гравиметрии являются более перспективными. Недостатками современных лазерных баллистических гравиметров являются большие, до нескольких десятков минут, времена усреднения регистрируемых данных, принципиально необходимые для достижения рекордных точностей измерений, а также большие длины траекторий падения пробного тела, усложняющие конструкцию гравиметра и существенно увеличивающие время измерений.

В [3] предложен новый абсолютный лазерный баллистический гравиметр с предельно малой длиной траектории падения пробного тела, принцип действия которого основан на изменении частоты света, дифрагирующего на свободно падающей голографической решетке. Рас-

четная величина УСП в таком гравиметре равна

$$g = \frac{\lambda}{\sin \alpha + \sin \beta} \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right), \quad (1)$$

где λ — длина волны света, α и β — углы падения и дифракции света, f — частота биений, регистрируемых при наложении пучков света, дифрагированных на падающей голограмме в первом и нулевом порядках дифракции. Принцип действия такого гравиметра подтвержден экспериментально, при этом установлено, что изменения углового положения пробного тела величиной около 1–3 угловых минут обуславливают небольшие (единицы %) флуктуации амплитуды регистрируемого сигнала биений, влияющие на точность определения величины УСП.

Ниже приведены результаты экспериментального моделирования голограммного баллистического гравиметра, в котором эффективная угловая стабилизация положения падающей либо колеблющейся пробной массы осуществляется посредством специальной эластичной пружины.

Принципиальная оптико-механическая схема гравиметра приведена на рис. 1. Голограмма имела следующие

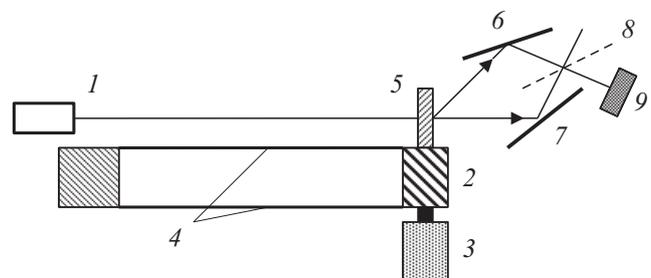


Рис. 1. Оптико-механическая схема голограммного баллистического гравиметра. 1 — гелий-неоновый лазер, 2 — пробная масса, 3 — электромеханическая катапульта, сообщающая ударный импульс пробной массе, 4 — плоские пружины, 5 — пропускающая голограмма, 6 и 7 — зеркала, 8 — светоделиватель (полупрозрачное зеркало), 9 — фотоприемник.

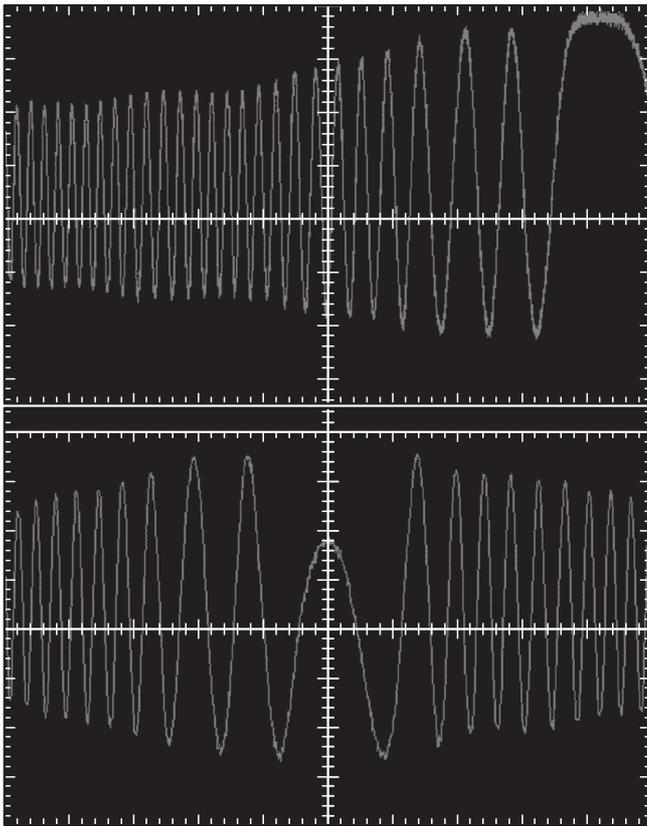


Рис. 2. Осциллограммы сигналов на выходе голограммного интерферометра. Верхний рисунок — восходящая часть траектории движения пробного тела, нижний — в окрестности высшего участка траектории. Одно деление горизонтальной шкалы $25 \mu\text{s}$.

параметры: дифракционная эффективность 40%, углы падения и дифракции соответственно 0 и 38° , угловая селективность по уровню 0.5 около 8° .

В описываемом эксперименте в качестве устройства стабилизации углового положения подбрасываемого пробного тела использовались детали механизма подвески предметного столика компаратора фирмы „Sartorius“. Последний выполнен в виде пары параллельно расположенных планок, удерживаемых плоскими пружинами толщиной около $50 \mu\text{m}$.

Масса пробного тела существенно превышает массу пружин, которые обеспечивают строго поступательное движение пробного тела вдоль вертикали на величину до 0.5 mm с угловыми отклонениями менее 10^{-3} rad близкими к дифракционной угловой расходимости интерферирующих перед фотоприемником 9 пучков света. Фактор демпфирования, влияющий на движение пробной массы, может быть сведен практически к нулю посредством юстировки механической конструкции гравиметра. Пример осциллограммы сигнала биений, соответствующей восходящему участку траектории движения пробной массы, показан на рис. 2.

Скорость изменения $\partial f/\partial t$ частоты регистрируемого сигнала биений определяется с использованием соответствующего программного обеспечения. В периодическом режиме действия катапульты, с использованием усреднения выборочных значений $\partial f/\partial t$, точность расчета абсолютных значений УСП в гравиметре рассмотренного типа значительно возрастает.

Усовершенствование оптико-механической конструкции прибора, вакуумирование его подвижных узлов и использование современных алгоритмов обработки выходных сигналов описанного голограммного интерферометра приведет к созданию недорогого и компактного ВЧ-гравиметра для практического применения как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Список литературы

- [1] Torge G. *Gravimetry, de Gruyter*. 1989. 482 p.
- [2] Dmitriev A.L. Prospect of High-Frequency Gravimetry, Proceeding of the Intern. Conf. on Appl. Phys. Simulations and Computers (APSAC 2015). Vienna, March 15–17. 2015. P. 237–240.
- [3] Дмитриев А.Л., Котова Е.И. и др. // Опт. и спектр. 2014. Т. 117. В. 5. С. 110–111.