

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА СВЯЗИ МЕЖДУ КАЖУЩИМСЯ ВЕСОМ, ЧАСТОТОЙ ВИБРАЦИИ И СКОРОСТЬЮ ЗВУКА В МАТЕРИАЛЕ

Experimental Test of the Relation Between Apparent Weight,  
Vibration Frequency, and Material Sound Velocity

Михаил Сидоров / Mikhail Sidorov

Email: Sekator2012@yandex.ru

Статус: Препринт / Открытый протокол

Версия: 1.0

Дата: 19 февраля 2026

Лицензия: CC BY 4.0

## АННОТАЦИЯ

Два независимых экспериментальных исследования (Hamilton & Brulé, 1967; Белов и др., 2023) зарегистрировали необъяснённые изменения показаний гравиметров под воздействием механических вибраций. В настоящей работе предлагается конкретная эмпирическая зависимость:

$$\Delta g/g = \alpha \cdot f \cdot v$$

где  $\Delta g/g$  – относительное изменение кажущегося ускорения свободного падения (ppm),  $f$  – частота вибрации (Гц),  $v$  – продольная скорость звука в материале образца (км/с). Представлен детальный экспериментальный протокол для проверки этой зависимости. Эксперимент спроектирован как доступный и воспроизводимый малыми лабораториями и опытными энтузиастами. Сформулирован призыв к сотрудничеству: исследователям со всего мира предлагается воспроизвести эксперимент и поделиться сырыми данными для совместного анализа.

## ABSTRACT

Two independent experimental studies (Hamilton & Brulé, 1967; Belov et al., 2023) have reported unexplained variations in gravimeter readings under mechanical vibrations. In this work, we propose a specific empirical relation:

$$\Delta g/g = \alpha \cdot f \cdot v$$

where  $\Delta g/g$  is the relative change in apparent gravitational acceleration (ppm),  $f$  is vibration frequency (Hz), and  $v$  is the longitudinal sound velocity in the test material (km/s). A detailed experimental protocol is presented to test this relation. The experiment is designed to be affordable and reproducible by small laboratories or experienced amateurs. A call for collaboration is issued: researchers worldwide are invited to replicate the experiment and share their raw data for combined analysis.

## 1. INTRODUCTION / ВВЕДЕНИЕ

### 1.1. Background / Предыстория

In 1967, Hamilton and Brulé reported that LaCoste & Romberg gravimeters subjected to vibration in the 35–70 Hz range exhibited erratic drift of  $\pm 0.1$  mGal, and at 48 Hz, a unidirectional drift up to 1 mGal/min ( $\approx 1000$  ppm) was observed [1]. The cause remained unexplained.

В 1967 году Hamilton и Brulé сообщили, что гравиметры LaCoste & Romberg под воздействием вибраций в диапазоне 35–70 Гц демонстрировали хаотический дрейф  $\pm 0.1$  мГал, а на частоте 48 Гц – однонаправленный дрейф до 1 мГал/мин ( $\approx 1000$  ppm) [1]. Причина оставалась необъяснённой.

In 2023, Belov, Lobanov, and Erokhin published systematic measurements of ground vibrations in Moscow using a GNU-KV gravimeter [2]. They recorded apparent gravity changes from 2 ppm at 0.2 Hz to 30 ppm at 50 Hz.

В 2023 году Белов, Лобанов и Ерохин опубликовали систематические измерения грунтовых вибраций в Москве с помощью гравиметра ГНУ-КВ [2]. Они зарегистрировали изменения кажущейся силы тяжести от 2 ppm на 0.2 Гц до 30 ppm на 50 Гц.

### 1.2. Hypothesis / Гипотеза

Reanalyzing these datasets, we observe that the effect scales with frequency and appears to depend on the material of the test mass. This leads to the hypothesis:

$$\Delta g/g = \alpha \cdot f \cdot v$$

where  $\Delta g/g$  is in parts per million (ppm),  $f$  is vibration frequency (Hz),  $v$  is the speed of sound in the material (km/s), and  $\alpha$  is an unknown coefficient, expected to be of order  $10^{-8}$  s<sup>2</sup>/m.

Повторно анализируя эти данные, мы замечаем, что эффект масштабируется с частотой и, по-видимому, зависит от материала пробной массы. Это приводит к гипотезе:

$$\Delta g/g = \alpha \cdot f \cdot v$$

где  $\Delta g/g$  – в частях на миллион (ppm),  $f$  – частота вибрации (Гц),  $v$  – скорость звука в материале (км/с),  $\alpha$  – неизвестный коэффициент, ожидаемый порядка  $10^{-8}$  с<sup>2</sup>/м.

## 2. REQUIRED EQUIPMENT / НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### 2.1. Precision Balance / Прецизионные весы

- Resolution:  $\leq 0.1 \mu\text{g}$  (0.1 ppm for 10 g load)
- Range: 0–50 g
- Digital output (RS232/USB) for continuous recording
- Drift:  $< 0.2 \mu\text{g}/\text{min}$

Разрешение:  $\leq 0.1 \text{ мкг}$  (0.1 ppm для нагрузки 10 г)

Диапазон: 0–50 г

Цифровой выход (RS232/USB) для непрерывной записи

Дрейф:  $< 0.2 \text{ мкг}/\text{мин}$

### 2.2. Test Samples / Тестовые образцы

Mass:  $10.000 \pm 0.001 \text{ g}$ , identical geometry (cube or cylinder,  $10 \times 10 \text{ mm}$ ).

Material	v (km/s)	Source / Источник
Be (бериллий)	12.9	Specialty metal supplier
Al (алюминий)	6.4	Local hardware
W (вольфрам)	5.18	Metal stockist
Pb (свинец)	2.18	Fishing/hunting store

### 2.3. Vibration Source / Источник вибрации

- Actuator: Low-frequency electromagnetic shaker (adapted loudspeaker, 50–100 W)
- Amplifier: Audio amplifier, 20–200 W
- Signal generator: USB or standalone function generator (sine, 0.1–100 Hz)

### 2.4. Vibration Monitoring / Контроль вибрации

- Accelerometer: MEMS or piezoelectric, range  $\pm 2 \text{ g}$ , sensitivity  $\leq 1 \text{ mg}$

### 2.5. Data Acquisition / Сбор данных

- ADC: 16-bit or higher,  $\geq 1 \text{ kS/s}$
- Software: Python (NumPy/SciPy), LabVIEW, etc.

### 2.6. Vibration Isolation / Виброизоляция

- Base: Heavy stone or concrete slab ( $\geq 50 \text{ kg}$ )
- Isolation: Pneumatic isolators or stacked rubber layers

### 3. EXPERIMENTAL SETUP / ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

#### 3.1. Schematic / Схема

(Схема установки приведена на отдельной странице после текста)

#### 3.2. Description / Описание

The experimental setup consists of the following main components arranged vertically:

1. Heavy isolation base (concrete slab  $\geq 50$  kg)
2. Vibration isolation layer (rubber/pneumatic)
3. Electromagnetic shaker (loudspeaker coil)
4. Rigid platform holding:
  - Precision balance
  - Test sample
  - Accelerometer
5. Signal generator and amplifier connected to shaker
6. Data acquisition system connected to balance and accelerometer

Экспериментальная установка состоит из следующих основных компонентов, расположенных вертикально:

1. Тяжёлое основание (бетонная плита  $\geq 50$  кг)
2. Слой виброизоляции (резина/пневматика)
3. Электромагнитный вибровозбудитель (катушка громкоговорителя)
4. Жёсткая платформа с:
  - Прецизионными весами
  - Тестовым образцом
  - Акселерометром
5. Генератор сигнала и усилитель, подключённые к вибровозбудителю
6. Система сбора данных, подключённая к весам и акселерометру

#### 4. EXPERIMENTAL PROCEDURE / ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОЦЕДУРА

##### 4.1. Preparation / Подготовка

1. Verify sample mass to  $\pm 0.001$  g.
2. Confirm sound velocity (ultrasonic pulse-echo or certified data).
3. Calibrate balance with standard masses.
4. Calibrate accelerometer (gravity tilt method).

##### 4.2. Baseline Measurement (No Vibration) / Фон (без вибрации)

1. Place sample on balance.
2. Record balance output for 10 minutes at 10 Hz.
3. Compute mean and standard deviation (noise floor).

##### 4.3. Vibration ON Measurements / Измерения с вибрацией

Test frequencies (Hz): 0.5, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

For each frequency:

1. Set signal generator to frequency  $f$ , sine wave.
2. Adjust gain to achieve target acceleration  $a = 0.10 \pm 0.01$  m/s<sup>2</sup> (RMS).
3. Wait 10 seconds.
4. Record balance and accelerometer simultaneously for 5 minutes.
5. Switch off vibration.
6. Record balance for 2 minutes (recovery).

##### 4.4. Material Loop / Цикл по материалам

Repeat Section 4.3 for each material (Be, Al, W, Pb). Randomize frequency order.

##### 4.5. Control Experiments / Контрольные эксперименты

- No sample, vibration ON – electromagnetic interference
- Sample ON, actuator disconnected – acoustic coupling
- Heated sample – thermal effects
- Different sample orientations – anisotropy

## 5. DATA ANALYSIS / АНАЛИЗ ДАННЫХ

For each (material, frequency) pair:

1. Extract 5-minute record with vibration ON.
2. Extract 2-minute records before and after (baselines).
3. Subtract linear drift (interpolated from baselines).
4. Compute mean apparent weight during vibration.
5. Convert to  $\Delta g = \Delta F/m$ , where  $F$  is force,  $m$  is sample mass.
6. Compute  $\Delta g/g$  in ppm ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ).
7. Plot  $\Delta g/g$  vs.  $f \cdot v$ .
8. Fit linear regression through origin:  $y = \alpha \cdot x$ .
9. Compute  $R^2$  and standard error of  $\alpha$ .

## 6. EXPECTED OUTCOMES / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Hypothesis Confirmed:  $R^2 > 0.9$ ,  $\alpha$  consistent across materials.

Hypothesis Rejected: No significant correlation ( $R^2 < 0.3$ ).

Inconclusive: Effect present but weak, requires refined setup.

## 7. KNOWN SYSTEMATIC ERRORS / ИЗВЕСТНЫЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ

Error Source   Control Method
----- -----
Thermal drift   Thermocouple on sample; measure without vibration
EMI   Shield balance; run vibration without sample
Acoustic coupling   Disconnect shaker mechanically
Resonance   Sweep frequency slowly; avoid peaks

## 8. CALL FOR COLLABORATION / ПРИЗЫВ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

Researchers, students, and experienced amateurs are invited to participate.

How to join:

1. Build or adapt the setup following this protocol.
2. Perform the measurements.
3. Upload raw data and a brief report to a public repository (Zenodo, figshare, GitHub).
4. Notify the author at Sekator2012@yandex.ru.

All contributors will be:

- Acknowledged in publications
- Offered co-authorship if their data significantly contributes to the final analysis

## 9. LICENSE / ЛИЦЕНЗИЯ

This protocol is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

You are free to share and adapt, with attribution to the original author.

## 10. BUDGET ESTIMATE / ОЦЕНКА БЮДЖЕТА

Component	Low Range	Mid Range
-----	-----	-----
Precision balance	3000	5000
Samples	300	500
Shaker + amplifier	100	300
Signal generator	50	200
Accelerometer + DAQ	50	200
Vibration isolation	50	200
Miscellaneous	50	100
TOTAL	~3600	6500

## 11. REFERENCES / ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hamilton A.C., Brulé B.G. JGR, 1967, Vol.72, No.8, pp.2187–2197.
- [2] Белов С.В., Лобанов А.Н., Ерохин В.А. Инженерная физика, 2023, №5, с.3–10.
- [3] CRC Handbook of Chemistry and Physics, 102nd ed., 2021.
- [4] Olympus (Evident) Ultrasonic Transducers catalog.

# Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Fig. 1. Experimental setup schematic

