

# Высокочастотные гравитационные волны от земных процессов и возможность их лабораторного наблюдения

---

Лозенко Денис Викторович

Научный руководитель: Сатунин П.С. ИЯИ РАН

Москва, 2026

МГУ имени М.В. Ломоносова

Физический факультет, 212 группа

- **Проблема:** Гравитационные детекторы чувствительны к шумам.
- **Цель:** Оценить уровень техногенных шумов от механических процессов на Земле.
- **Задачи:**
  1. Рассчитать амплитуду ГВ от вращающихся тел.
  2. Найти спектр амплитуд гравитационного импульса при ударе.
  3. Сравнить результаты с чувствительностью современных детекторов.

# Линеаризованная ОТО

Метрика как малое возмущение плоского пространства-времени:

$$g_{\mu\nu} \approx \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}, \quad |h_{\mu\nu}| \ll 1$$

Волновое уравнение для гравитационной волны:

$$\square \bar{h}_{\mu\nu} = -\frac{16\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

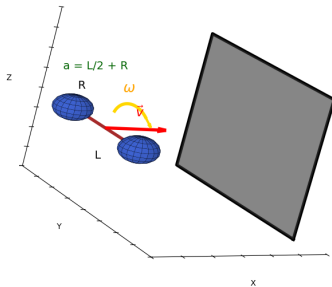
Решение через тензор квадрупольного момента  $D_{jk}$ :

$$h_{ij}^{TT} = \frac{2G}{c^4 r} \ddot{D}_{ij}(t_{ret})$$

# Используемая модель

## Параметры системы:

- Гантель: два шара массой  $M$  и радиуса  $R$ .
- Длина стержня  $L$ , расстояние  $a = L/2 + R$ .
- Вращение с угловой скоростью  $\omega$ .
- Движение со скоростью  $v$  до удара о стенку.



Вторая производная квадрупольного момента:

$$\ddot{D}_{ij} = 4Ma^2\omega^2 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\omega t & -\sin 2\omega t \\ 0 & -\sin 2\omega t & \cos 2\omega t \end{pmatrix}$$

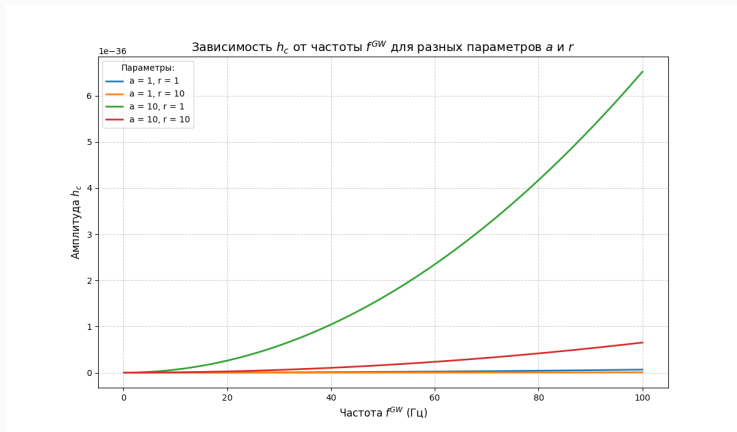
Характерная безразмерная амплитуда:

$$h_c = \frac{8GMa^2\pi^2 f^2}{c^4 r}, \quad f = \frac{\omega}{\pi}$$

## Оценки частоты вращения

Для  $a = 1$  м макс. частота ограничена ( $f_{max} \approx 40$  Гц для стали).

# Амплитуда от частоты (Вращение)



Результат:  $h_c \sim 10^{-36}$  при  $r = 1$  м.

## Гравитационный импульс при ударе

При ударе меняется только импульсная компонента ТЭИ. Решение в ТТ-калибровке дает одну поляризацию  $h_{\times}$ :

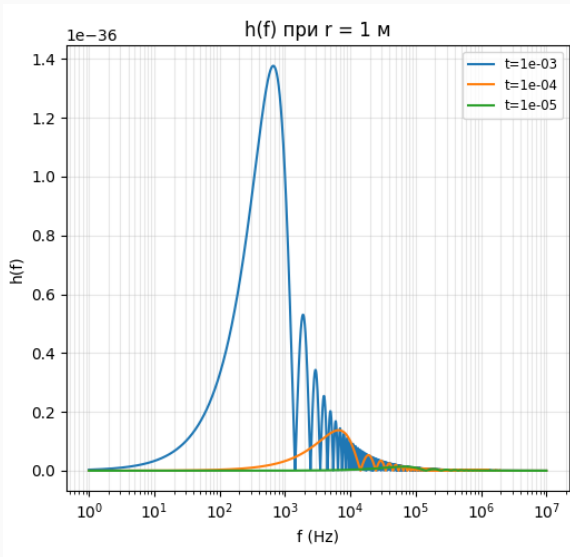
$$h_{\times} = -\frac{16G}{c^4 r} M v c$$

Учитывая конечное время удара  $\tau$  и линейное изменение скорости получаем Фурье-образ:

$$\hat{h}_{\times}(\omega) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\tau} h_{\times}(t) e^{i\omega t} dt$$

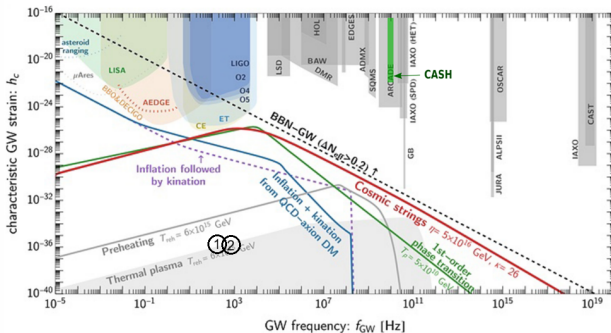
$$\hat{h}_{\times}(\omega) = -\frac{16G}{c^3 r} \sqrt{\frac{2}{\pi}} M v \frac{(i\omega\tau - 2)e^{i\omega\tau} + i\omega\tau + 2}{\tau\omega^2}$$

# Амплитуда при ударе (Фурье-спектр)



Результат: Пиковые значения также на уровне  $10^{-36}$ .

# Сравнение с детекторами



- Чувствительность LIGO:  $h \sim 10^{-23}$ .
- Механические шумы:  $h \sim 10^{-36}$ .
- Другие источники: Ядерный взрыв ( $10^{-28}$ ), Генератор HFGW на ядерных реакциях до ( $10^{-3}$ ).

1. Рассчитаны амплитуды ГВ для вращения (монохроматический сигнал) и удара (широкий спектр).
2. В обоих случаях максимальная амплитуда механических процессов  $\sim 10^{-36}$ , что на 13 порядков ниже порога обнаружения.
3. Собственные колебания тел после удара могут давать вклад до  $10^{-34}$ , что также несущественно.
4. **Вывод:** Механическими шумами земного происхождения при текущем уровне технологий можно пренебречь.