



## Experimento Mecânico para Medir a Velocidade da Gravidade

Ferreira GS†, Frajuca C† & Bortoli FS†

†*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus São Paulo*

**Resumo.** Os autores têm experiência com o detector de ondas gravitacionais SCHENBERG, que é uma massa ressonante desenvolvida pelo GRAVITON brasileiro. Sua antena esférica pesa 1150 kg e é monitorada por seis transdutores paramétricos de ruído *ultralow* e é conectada ao ambiente externo por um sistema de suspensão projetado para atenuar o ruído local, sísmico e não sísmico, operando em uma temperatura de 4 K. o reconhecimento adquiriu a idéia de fazer um experimento para medir a velocidade da gravidade. Utilizando safira monocristalina com Q's mecânicos e elétricos muito altos, fontes de micro-ondas com ruído de fase ultra-baixa, suspensões projetadas pela Modelagem por Elementos Finitos, transdutores paramétricos de micro-ondas, excelentes propriedades de filtragem de ruído dos detectores de massa ressonante e o desenvolvimento de máquinas de rotação de alta velocidade guiadas os autores para o desenho do experimento. O experimento medirá as oscilações causadas pela interação gravitacional com uma amplitude da ordem de 0,1 am  $10^{-19}$ m).

**Palavras-Chave.** Velocidade da Gravidade, Detector

**Introdução.** O Grupo Gráviton é um grupo brasileiro de pesquisa dedicado ao estudo das ondas gravitacionais (OG). A detecção ocorreu em 2016. As primeiras tentativas de detecção de ondas gravitacionais começam no início dos anos sessenta com detectores de massa ressonante [1-3]. Os esforços brasileiros para a detecção de ondas gravitacionais estão centrados no detector Schenberg onde seis sensores são conectados à superfície da esfera, organizados de acordo com a distribuição de Merkowitz e Johnson [4]. Esses transdutores estão localizados como se

estivessem no centro de seis pentágonos conectados em uma superfície correspondente a semi dodecaedro. Cada transdutor amplifica o movimento que ocorre na região da esfera na qual está conectado. O movimento já amplificado excita a membrana de uma cavidade ressonante. Na cavidade ressonante, as microondas são bombeadas, o que gera o sinal eletrônico que retornará, levando todas as informações das OGs. A intensidade e a direção dos OGs podem ser obtidas a partir da análise do sinal de saída desses seis transdutores [5-7]. Para alcançar as cavidades ressonantes, primeiro as microondas são conduzidas do lado de fora do *dewar* (garrafa térmica onde todos os sistemas de antena estão contidos), o cabeamento de microondas que os transporta até as microantenas. Essas antenas, localizadas na frente dos transdutores paramétricos, conduzem as microondas para a cavidade ressonante e outro conjunto de antenas capta o sinal retornado. Os esforços brasileiros no campo podem ser resumidos em [8-26]. O detector brasileiro é mostrado na Figura 1. Todavia se obter a velocidade através das OG sempre será complicado pois a determinação da fonte sempre terá que ser uma suposição de que a fonte de OG é a mesma que uma obtida por detecção no ótico, por isso se deseja montar um experimento e medir tal velocidade.



Figura 1: Detector de ondas gravitacionais do Instituto de Física doado ao INPE - Foto: Marcos Santos / USP Images.

**Metodologia.** O experimento é baseado em um sistema com três dispositivos de safira resfriados a 4K no vácuo e monitorados por microondas de ruído ultra baixo, a escolha deste material foi feita por ser o mais adequado como se fosse um detector de OG tipo de barra ressonante. Os dispositivos de safira serão suspensos a distâncias de 1 metro entre eles, os outros dois dispositivos de safira são conectados ao sistema PZT (piezeletricidade), cuja função é pressionar e expandir essas peças por meio de uma mudança de voltagem. Essas vibrações geram o sinal da maré gravitacional que será captado e medido pelo dispositivo de safira central. Esse dispositivo de safira é um bloco de três barras conectadas para permitir uma maior largura de banda de detecção. Após medir a velocidade da gravidade no ar, a próxima fase é inserir entre o detector e o emissor um meio diferente e medir novamente a velocidade e comparar a velocidade nessas diferentes condições.

A escolha da safira, que é uma variedade da forma monocristalina do óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), foi dada pelas seguintes características e propriedades: Densidade do material =  $3,98 \text{ (g cm}^{-3}\text{)}$ , velocidade de propagação do material igual a  $9,4 \text{ km s}^{-1}$  e fator de qualidade mecânica =  $3 \cdot 10^9$ . A montagem do experimento pode ser visto na figura 2.

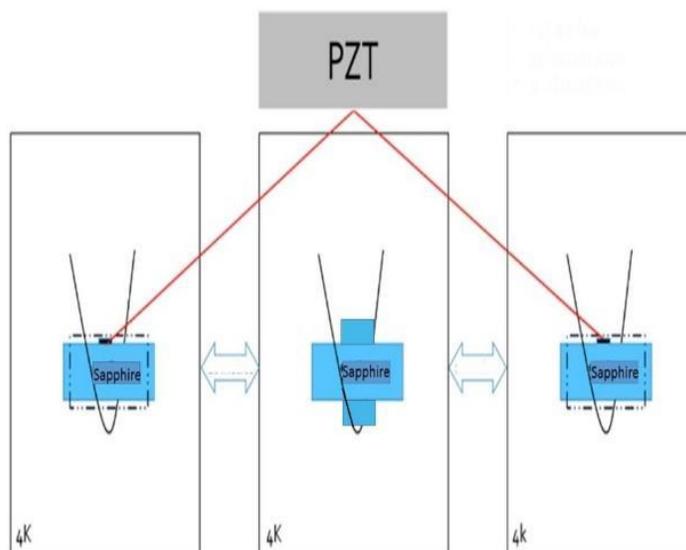


Figura 2: Design proposto do projeto - PZT em sinal de fase. Distância de 5m entre os emissores e o detector de sinais.

**Resultados.** Calculando a força Newtoniana das massas vibrando numa aproximação de terceira ordem (as duas primeiras são nulas) e aplicando em um oscilador harmônico, temos a seguinte expressão para a amplitude de vibração do dispositivo detector central, usando:  $Q$  é o fator de qualidade mecânico,  $G$  é a constante de Newton,  $M$  é a massa específica das barras,  $a$  é a amplitude de vibração das barras,  $b$  é o comprimento da barra receptora,  $x$  é a distância e  $w$  a velocidade angular da vibração.

$$\Delta b = QGM \left( \frac{24ab^2}{x^5 \cdot w^2} \right) \cdot \sin wt$$

$$\Delta b = 3 \cdot 10^{-18} m.$$

Agora é necessário calcular o ruído da medição. Os ruídos importantes são: o ruído quântico, o ruído térmico e a sensibilidade da medição pelas microondas. Para isso usamos os seguintes parâmetros: a constante de Planck, a mudança de frequência da ressonância pelo deslocamento, a densidade espectral do ruído de fase das microondas, a constante de Boltzmann, a temperatura do detector e a banda de detecção do detector. Tudo isso se aplicando os melhores valores possíveis se obtém:

$$\Delta b_{QL} = A = \sqrt{\frac{2\hbar}{M_{eff} 2\pi}} = \frac{2 \cdot 10^{-34}}{1.2\pi \cdot 5 \cdot 10^5} = 2,5 \cdot 10^{-20} m$$

$$S_x(f) = \left( \frac{df}{dx} \right)^{-2} S_\phi(f) f^2$$

$$S_x = \sqrt{10^{-39,5}} = 5 \cdot 10^{-19} \frac{m}{\sqrt{Hz}}$$



$$\Delta_{xth} = \sqrt{\frac{KT}{2M_{eff}\omega_m Q_m B_w D}}$$

$$\Delta_{xth} = 1.3 \cdot 10^{-20} \text{ m.}$$

**Conclusão.** A medição é limitada pelos seguintes fatores:

- Limite quântico:  $2,5 \cdot 10^{-20}$  m;
- Limite de sensibilidade do equipamento:  $1,6 \cdot 10^{-20}$  m;
- Limite de ruído térmico:  $x = 1,3 \cdot 10^{-20}$  m.

O sinal gravitacional induzido no detector é de  $3 \cdot 10^{-18}$  m, um valor acima dos limites que o experimento impõe. Isso mostra que esse experimento é possível.

**Agradecimentos.** Carlos Frajuca agradece FAPESP 2013/26258-4 e 2006/56041-3.

### Referências.

- (1) Aguiar OD *et al.* 2006 *Journal Class. Quantum Grav.* **23**, 239
- (2) Frajuca C *et al.* 2004 *Class. Quantum Grav.* **21** 1107
- (3) Velloso WF, Aguiar OD and Magalhaes NS *Proc. First International Workshop for an Omnidirectional Gravitational Radiation Observatory* 1997 Singapore:World Scientific
- (4) Merkowitz SM and Johnson WW 1993 *Phys. Rev. Lett.* **70**, 2367
- (5) Locke CR, Tobar ME and Ivanov EN 2000 *Rev. Sci. Instrum.* **71**, 2737
- (6) Ribeiro KL *et al.* 2004 *Class. Quantum Grav.* **21**, 1225
- (7) Andrade LA *et al.* 2004 *Class. Quantum Grav.* **21**, 1215
- (8) Aguiar OD *et al.* 2012 *Journal of Physics: Conference Series* **363**, 012003



- (9) Aguiar OD et al. 2005 *Class. Quantum Grav.* **22**, 209
- (10) Frajuca et al 2002 *Class. Quantum Grav.* **19** 1961
- (11) Magalhaes NS et al. 1997 *Astrophysical Journal* **475**, 462
- (12) Magalhaes NS et al. 1995 *MNRAS* **274**, 670
- (13) Frajuca C, Bortoli FS, Magalhaes NS 2005 *Brazilian Journal of Physics* **35**, 1201
- (14) Frajuca C, Bortoli FS, Magalhaes NS 2006 *Journal of Physics: Conference Series* **32**, 319
- (15) Aguiar OD et al. 2004 *Class. Quantum Grav.* **21**, 459
- (16) Frajuca C, Magalhaes NS, Horiguti AM 2008 *Journal of Physics: Conference Series* **122**, 012029
- (17) Bortoli FS et al 2010 *Journal of Physics: Conference Series* **228**, 012011.
- (18) Van Albada GD et al. 2000 *Review of Scientific Instruments* **71**, 1345