

07-F.2

TRANSDUTOR PARAMÉTRICO PARA DETECTORES DE ONDAS GRAVITACIONAIS POR MASSAS RESSONANTES

Odylio D. Aguiar - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Divisão de Astrofísica - São José dos Campos, SP, Brasil e Warren W. Johnson - Departamento de Física e Astronomia, LSU, Estados Unidos

Introdução

Desde a sua derivação matemática por Einstein in 1916, até os nossos dias, as ondas gravitacionais ainda não foram diretamente observadas. Uma das técnicas mais empregadas e mais competitivas no mundo, para a detecção de ondas gravitacionais na faixa de frequência de 50 Hz a 10 kHz, utiliza uma grande massa sólida que entra em ressonância mecânica quando é banhada por essas ondas gravitacionais. Acelerômetros, também chamados de transdutores eletro-mecânicos, aparafusados na superfície da massa ressonante, convertem parte da energia mecânica de oscilação da massa ressonante em energia elétrica. Este sinal elétrico na saída do transdutor é amplificado por amplificação de baixíssimo ruído e gravado em fita magnética para análise posterior.

Existem duas classes de transdutores eletro-mecânicos: os ativos e os passivos, dependendo se eles são ativados por uma corrente AC ou DC, respectivamente. Os transdutores ativos, também chamados de paramétricos, permitem, em princípio, medir a fase ou a amplitude do sinal com precisão melhor que o limite quântico padrão estabelecido pelo princípio de incerteza de Heisenberg.

Neste trabalho apresentamos os resultados do funcionamento, a 4,2 K de temperatura, de um transdutor paramétrico com circuito supercondutor, por nós projetado, construído na Universidade Estadual da Louisiana [*].

Descrição Geral do Experimento

O circuito eletro-mecânico desta transdutor paramétrico é mostrado na Fig. 1. A placa central do capacitor de três placas é o oscilador mecânico. A malha externa da ponte elétrica é "bombeada" a $f_p = 5$ MHz, e a sua frequência de ressonância foir é ajustada num valor tão próximo de f_p quanto possível, de forma a aumentar o sinal da bomba entre as placas do capacitor de três placas. A ponte é balanceada, ajustando-se os valores das impedâncias da malha externa, para minimizar o ruído no ramo central e evitar saturação do pré-amplificador. Na presença de aceleração no oscilador mecânico, as capacitâncias deste com as placas laterais são modificadas e uma corrente flui no ramo central com duas componentes, "idlers", nas frequências soma ($f_+ = f_p + f_m$) e diferença ($f_- = f_p - f_m$) das frequências da bomba elétrica (f_p) e do oscilador mecânico (f_m). Cada um desses sinais "idlers" é aumentado, significativamente, caso a frequência de ressonância da malha interna f_{ilr} é tal que $|f_{ilr} - f_{\pm}| < (f_{ilr}/Q_{ilr})$. Estes sinais são amplificados por um conjunto de amplificadores cujo primeiro estágio é formado por pré-amplificador criogênico com dois transistores de arseneto de gálio. Após demodulação, estes sinais são analisados por um decompositor de frequências (FFT).

O corpo do transdutor e a fiação da ponte são feitos de nióbio e refrigeradas à temperatura de 4,2 K, com hélio líquido, para utilizar as propriedades supercondutoras do nióbio. Eles também são mantidos em vácuo e isoladas das vibrações mecânicas do laboratório por um sistema de filtros mecânicos (Fig. 2).

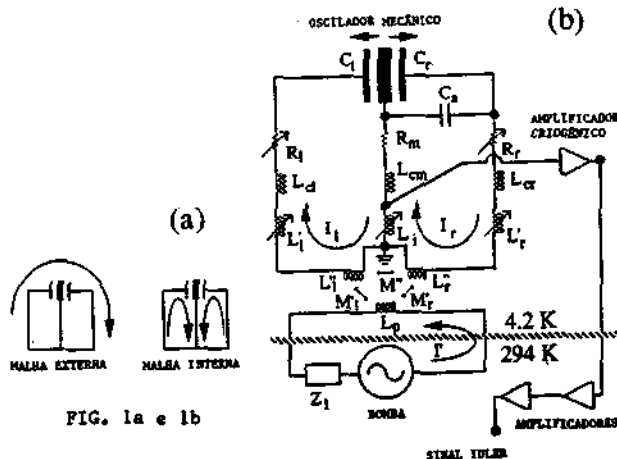


FIG. 1a e 1b

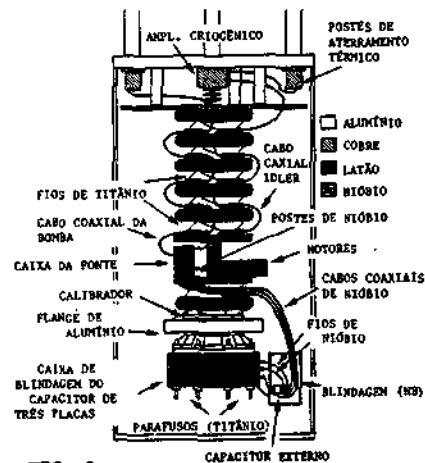
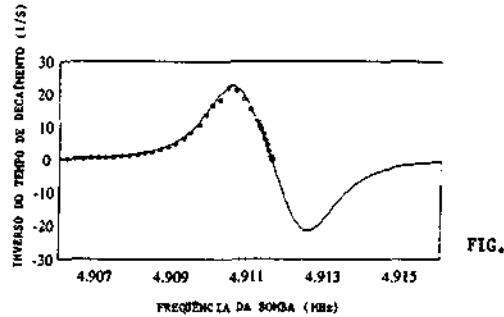
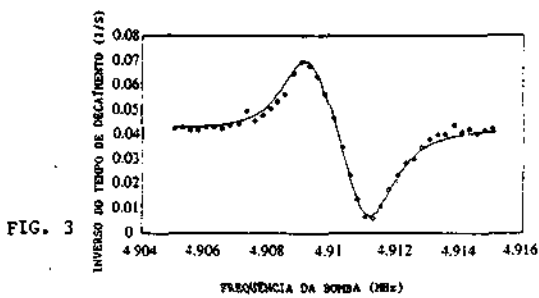


FIG. 2

Amortecimento mecânico ajustável eletricamente

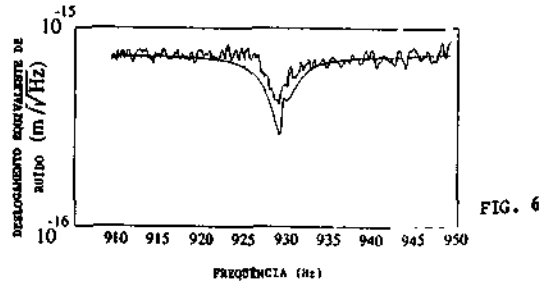
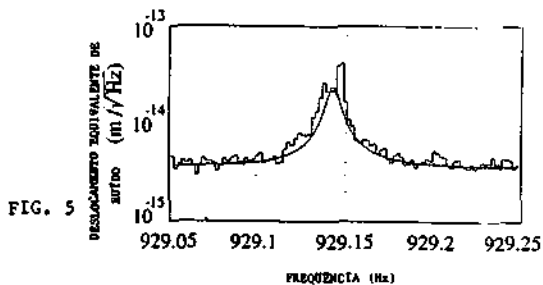
O tempo de decaimento do oscilador mecânico foi medido para várias condições de voltagem e frequência da bomba. Foi observado uma contínua e suave variação deste tempo de decaimento como função do intervalo de frequência da bomba e a da ressonância da malha interna (Fig. 3). Para frequências da bomba abaixo (acima) da frequência de ressonância o tempo de decaimento diminuiu (aumentou), e bombeando exatamente na frequência de ressonância o tempo de decaimento se reduziu ao valor nominal do oscilador mecânico quando o acoplamento eletro-mecânico é nulo (bomba desligada). Para bombeamentos intensos (alto acoplamento eletromecânico) à frequência acima de frequência de ressonância da malha interna foi observada anti-amortecimento (amortecimento negativo), ou seja, oscilações com amplitudes crescentes, as chamadas oscilações paramétricas (Fig. 4).



Interferência Destrutiva de Ruído Elétrico Devida ao Acoplamento Eletro-Mecânico

A sensibilidade do transdutor foi determinada medindo-se a resposta do mesmo à excitações mecânicas contínuas por uma diferença de potencial AC estabelecida entre o corpo do transdutor e uma placa colocada a uma distância conhecida do transdutor. esta sensibilidade foi limitada pelas fontes de ruído elétrico (Nyquist) e mecânico (Browniano). O ruído mecânico a 4,2 K pode ser controlado variando a figura de mérito mecânica (Q_{mec}) do oscilador ao movimento Browniano do oscilador mecânico em concordância com previsão do modelo teórico (Fig. 5). Quando este pico browniano era desprezível perante outras fontes de ruído (elétricas) o espectro em frequências apresentou uma depressão ou redução nas proximidades da frequência de ressonância mecânica (Fig. 6). Este fenômeno é causado pela interferência do ruído elétrico na malha interna com sua reflexão no oscilador mecânico, em decorrência do acoplamento eletro-mecânico existente.

Foi observada, para este transdutor, uma sensibilidade de até 4×10^{-16} m/ \sqrt{Hz} na frequência de 929 Hz. Acoplada à massa ressonante de 2,3 toneladas do tela-sensor (detector de ondas gravitacionais) da LSU este transdutor permitiria serem atingidas sensibilidades, para a detecção de ondas gravitacionais com deformação da métrica espaço-tempo (h), da ordem de 10^{-18} . Uma melhor performance facilmente poderia ser obtida com o emprego de um amplificador eletrônico por interferência quântica (SQUID), em substituição ao de arseneto de gálio, e por uma melhor sintonia da frequência de ressonância da malha externa com a frequência do oscilador a crystal.



REFERÊNCIAS

[*] Aguiar, O.D.; Johnson, W.W. and Hamilton, W.O. "A cryogenic double-resonant parabridge motion transducer for resonant-mass Gravitational Wave Detectors". Rev. Sci. Instrum. (in press).