
"MARIO SCHENBERG", O DETETOR BRASILEIRO DE ONDAS GRAVITACIONAIS

Carlos Frajuca

Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo
Professor da Área de Mecânica e do Curso de Tecnologia Industrial do CEFET-SP

Um grupo de pesquisadores brasileiros está desenvolvendo o projeto "Gráviton", onde se propõe a construção do primeiro detetor brasileiro de ondas gravitacionais. Na primeira fase do projeto esse detetor compõe-se de uma esfera de 65 cm de diâmetro, pesando 1,15 tonelada e resfriada a uma temperatura de 15 a 20 mK (miliKelvin, poucos centésimos de grau acima do zero absoluto, -273,16°C). Iniciada em maio do ano passado com financiamento de cerca de US\$ 1 milhão da FAPESP, essa primeira fase tem como objetivo começar a operar o detetor até maio de 2004.

INTRODUÇÃO

Imagine uma maçã suspensa no galho de uma macieira, num certo instante essa maçã se solta do galho e cai no chão. Durante essa queda, está ocorrendo uma mudança no campo gravitacional criado pelo sistema planeta Terra — maçã, pois houve uma mudança na distribuição da massa e, como o campo gravitacional é proporcional à massa, a gravidade ao redor tem de se adaptar a essa reorganização da distribuição da massa. Acontece que, por uma excentricidade da natureza, essa mudança do campo gravitacional, que se propaga com uma velocidade limitada, pode alcançar distâncias fantásticas e o campo gravitacional que a gerou não pode mais ser sentido. Essas alterações do campo gravitacional (gravidade) se propagando em distâncias muito além de onde o próprio campo gravitacional é sentido são conhecidas como "Ondas Gravitacionais".

AS ONDAS GRAVITACIONAIS

A existência das ondas gravitacionais foi sugerida, entre o final

do século XIX e início do século XX por cientistas como Heaviside, Lorentz e Poincaré e foi uma das primeiras previsões da Teoria da Relatividade Geral (TRG) de Albert Einstein [1] em 1916. Esta teoria prevê que essas ondas se propagam com a velocidade da luz e carregam energia e momento [2]. Portanto, a detecção de ondas gravitacionais e de suas propriedades será um teste para a TRG, sendo talvez o teste mais importante, pois os testes atuais são realizados em campos fracos, ou melhor, lugares onde a gravidade não é muito intensa.

A detecção de ondas gravitacionais é um dos maiores desafios a que se propõe a ciência em nossos dias e, com a conquista desse desafio, teremos a abertura de uma nova janela na astronomia: a astronomia gravitacional. Essa nos permitirá observar eventos até o momento totalmente fora da nossa observação, como, por exemplo: colapso da região central em explosões de supernovas, a formação de buracos negros por coalescência de estrelas de neutrons e outros fenômenos entre entidades que não emitam radiação eletromagnética (luz visível, raios X, radiação gama, infravermelho e ondas de rádio) ou cujo processo esteja

oculto por alguma blindagem, como nuvens de gás. Inclusive, a observação de ondas gravitacionais na região de microondas permitiria, *a priori*, observar o momento de criação do universo (observações com ondas eletromagnéticas permitem observar o universo até quando este tinha uma idade de apenas 300.000 anos, não importando quão bom seja o telescópio usado, porque nessa fase da evolução do universo toda a matéria estava quente e emitia luz, portanto um telescópio óptico grande o bastante, colocado no espaço, só conseguiria ver uma grande quantidade de luz difusa, não existindo remanescente ou fóssil da origem do Universo).

OS DETETORES DE ONDAS GRAVITACIONAIS

Pelo princípio da equivalência de Einstein (que impõe que um campo gravitacional homogêneo seja indistinguível de um campo com aceleração constante), o campo gravitacional fornece a mesma aceleração a diferentes massas num mesmo lugar. O único efeito observável produzido por uma onda gravitacional são acelerações relativas de massas em lugares diferentes ao mesmo tempo.

Um detetor deve ter várias massas em lugares diferentes e um modo de medir a aceleração dessas massas. Na figura 1, vê-se o efeito de uma onda gravitacional passando perpendicularmente ao papel ao atravessar um anel de massas. A numeração embaixo refere-se à fase da oscilação das massas e pode ser calculada pela frequência multiplicada pelo tempo e por 2π . Existem duas polarizações (modos de vibração) possíveis, defasadas de um ângulo de 45° chamadas de h -mais e h -cruz.

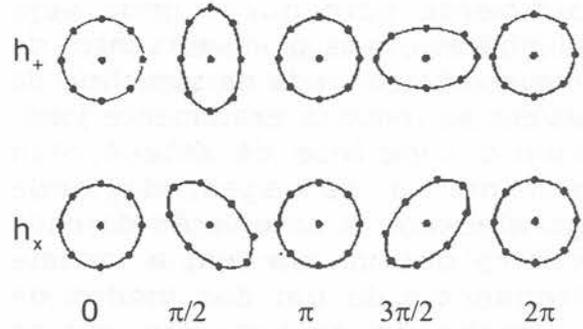


Figura 1: Distorção de um anel com massas de teste durante a passagem de um ciclo de uma onda gravitacional.

Atualmente existem duas técnicas principais para a detecção do movimento das massas causada pela passagem das ondas gravitacionais: antenas por interferometria *laser* e antenas de massas ressonantes.

Os interferômetros *a laser* funcionam pela medição da distância entre duas massas que estão separadas por grandes distâncias através do efeito de interferometria *laser*. Cada massa tem acoplado a ela um espelho que reflete um mesmo feixe de *laser* que foi dividido em duas partes iguais e que depois é recombinado, criando um padrão de interferência. Caso haja mudança na posição das massas, haverá uma mudança no padrão de interferência e, a partir dessa mudança, a intensidade da onda pode ser medida. Por causa do seu princípio de funcionamento, essa técnica tem a propriedade de banda larga, ou seja, é sensível a ondas gravitacionais num espectro grande de frequências, numa faixa desde poucas dezenas de hertz a poucos milhares de hertz (para mais detalhes veja o site www.ligo.caltech.edu).

O detetor brasileiro faz parte do grupo de detetores denominados de massa ressonante, estes fazem uso de uma grande massa distribuída pelo volume ocupado pela antena. No caso do nosso detetor, uma esfera de 65 cm de diâmetro. Diferentes regiões da antena são conectadas pelas forças elásticas de um corpo sólido. A antena começa a vibrar quando da passagem da onda gravitacional, mas isso não é

suficiente para que a onda seja identificada, pois qualquer sensor de movimento colocado na superfície da esfera se moveria exatamente junto com a superfície da antena, não sentindo a passagem da onda gravitacional. A observação da onda ocorre porque ela tem a mesma frequência de um dos modos de vibração da antena; em outras palavras, a frequência é ressonante. Se isso ocorre, parte da energia da onda gravitacional é transferida para a antena e esta continua a vibrar mesmo após a passagem da onda.

Uma analogia para um detetor de massa ressonante são as bolas infláveis de aniversário. Uma pessoa que ponha as mãos sobre sua superfície pode sentir as vibrações sonoras — que são deformações no ar — produzidas por uma fonte sonora (como música) em alto volume. No caso, os sensores de vibração seriam as mãos, que transportam um sinal para o cérebro. Nesse caso também as mãos podem ser chamadas de transdutores, pois para enviar o sinal da vibração para o cérebro têm de transformar esta vibração mecânica em sinal elétrico para poder ser transmitido para o cérebro e analisado lá.

Nesse ponto já temos um corpo sólido vibrando, mas falta um dispositivo para medir essa vibração. Ressonadores mecânicos secundários mais leves, com a mesma frequência de vibração, são colocados na superfície da antena para amplificar a amplitude da vibração, o ganho dessa amplificação é dado pela raiz quadrada da razão entre a massa do ressonador secundário e a massa efetiva da antena (a massa efetiva depende da geometria da antena e, para o detetor esférico,

essa massa efetiva vale, aproximadamente, um terço da massa total da esfera). A razão entre essas massas também determina a largura de banda do detetor de massa ressonante; essa largura de banda é proporcional à raiz quadrada da razão das massas multiplicada pela frequência ressonante. No nosso caso, essa banda está sendo projetada para ser de, aproximadamente, 200 Hz para uma frequência ressonante de 3200 Hz.

A amplitude de vibração é medida por transdutores eletromecânicos que transformam a vibração em sinal elétrico. Duas técnicas estão sendo estudadas para serem adotadas como transdutores: a do transdutor indutivo supercondutivo e a do transdutor paramétrico de microondas. No primeiro, uma bobina supercondutora plana é colocada paralelamente e muito próxima de uma superfície plana do ressonador secundário feita também de um material supercondutor¹. Os movimentos do último ressonador alteram a indutância da bobina, gerando um sinal elétrico que, passando por um transformador casador de impedâncias, é amplificado por um SquID (*Superconductive Quantum Interference Device*) que funciona como um pré-amplificador, muito usado em aparelhos de tomografia por ressonância magnética.

O segundo tipo de transdutor é constituído por uma cavidade ressonante, mas agora o tamanho da cavidade é ressonante com microondas, com frequência da ordem de 10 GHz. Essas microondas são injetadas dentro da cavidade, de tal modo que uma grande intensidade de microondas fica estocada dentro da cavidade. Uma das paredes dessa cavidade é conectada ao ressonador

¹ Supercondutores são materiais por onde passa uma corrente elétrica com resistência nula. Para exemplificar, a bobina plana é um circuito supercondutor fechado e uma corrente "estocada" dentro desse circuito ficará circulando dentro do circuito indefinidamente. Outra propriedade dos materiais supercondutores é que não permitem que campos magnéticos entrem em seu interior. Os materiais apresentam essa característica somente a temperaturas muito baixas. O nióbio, que é o material empregado, apresenta essa característica abaixo de 9,2 Kelvin.

secundário que, ao se mover, provoca um efeito *doppler* nas microondas dentro da cavidade, gerando duas bandas laterais no sinal que sai da cavidade. A amplitude desse sinal é proporcional à amplitude de vibração do ressonador secundário e o deslocamento com relação à frequência central é a frequência do próprio ressonador secundário.

O DETETOR "MÁRIO SCHENBERG"

O grupo proponente do projeto "Gráviton" é composto por pesquisadores do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), do Instituto de Física da USP (Universidade de São Paulo), da Universidade de Leiden (Holanda), do CEFETSP (Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo), da UNIBAN (Universidade Bandeirante) e do ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica); nomeia o detetor em homenagem ao físico brasileiro Mário Schenberg (1914-1990).

Este detetor faz parte de uma rede com outros dois detetores, um a ser montado na Holanda, chamado de miniGrail, e outro a ser montado na Itália, chamado de Sfera. Essa parceria com outros detetores forma o projeto Ômega. O funcionamento de três detetores similares, operando na mesma faixa de frequências, é necessário para cancelar a presença de sinais falsos causados por vibrações locais e mesmo eventos térmicos que ocorrem pela antena não estar na temperatura do zero absoluto.

Nas fases seguintes do projeto "Gráviton" estão previstas a construção de dois outros detetores: o "Newton", que terá o dobro do tamanho do "Schenberg" e, portanto, metade da frequência, pesando 9 toneladas; e o "Einstein", que será ainda maior, com 3 metros de diâmetro, e pesará 100 toneladas. Cada versão significa um

desafio, tanto na construção como no resfriamento.

Na figura 2 vê-se o projeto do detetor "Schenberg", original do projeto "Gráviton", mostrada na revista FAPESP Pesquisa nº 61.

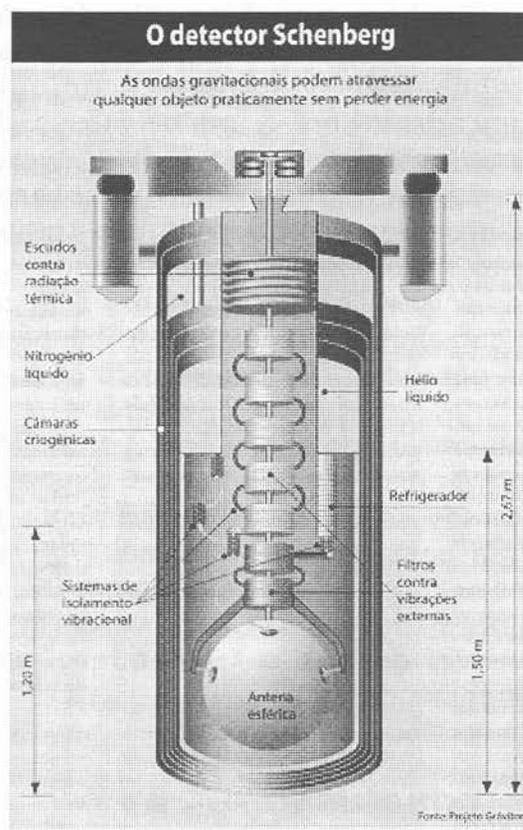


Figura 2

GARRAFA TÉRMICA

Os desafios da construção começam com a fundição da liga de cobre-alumínio, que foi escolhida por apresentar uma densidade alta, uma alta condutividade térmica (que facilita o resfriamento) e, sobretudo, um fator de qualidade mecânica elevado (característica definida pela energia perdida em cada vibração dividida pela energia total da vibração, ou seja, quanto maior a qualidade mecânica de um sino, mais tempo este continuaria vibrando), que é fundamental para diferenciar o sinal da onda gravitacional de um sinal térmico. Mas fundir um objeto como esse envolve dificuldades como o aparecimento de defeitos que diminuem sobremaneira o fator de

qualidade mecânico. Uma solução encontrada pela empresa brasileira que irá fundir todas as esferas de 65 cm foi fundir blocos no formato de cilindros, em que eventuais defeitos tendem a se deslocar para a parte superior, onde serão cortados fora.

Também o resfriamento de uma peça de mais de uma tonelada a essa temperatura requer tecnologia avançada e será a maior massa do mundo resfriada a essa temperatura.

Já pensando nos detetores maiores, que requerem um tempo muito maior para serem resfriados, o detetor será confinado numa espécie de garrafa térmica gigante e banhado por gás hélio. O gás será forçado a circular, o que propiciará que a temperatura de operação seja atingida em três dias e meio. Para o "Einstein" o tempo estimado de resfriamento já passa para cerca de um mês. Apesar de seu custo estar estimado em US\$ 7 milhões, deverá ser cem vezes mais sensível do que o "Schenberg" em temperatura.

CONCLUSÃO

A construção do detetor "Schenberg" é fundamental para que o grupo e o país adquiram o *know-how* para passar para detetores maiores. Com isso, poderá ingressar na era da astronomia gravitacional e participar das descobertas que estão por vir

nesta região totalmente inexplorada dos eventos astronômicos que não emitem radiação eletromagnética.

Além dos resultados que pretende obter, o "Gráviton" é um projeto importante por desenvolver, no país, uma instrumentação que poderá ser útil também em outras áreas.

A outra opção em detetores, que são os detetores interferométricos, traz diversas vantagens interessantes, mas o seu preço é proibitivo para um país como o Brasil. Por exemplo, o detetor americano LIGO (Laser Interferometer Gravitational Observatory) já consumiu perto de US\$400 milhões e ainda levará algum tempo para estar operacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EINSTEIN, A. (1916). "Näherungsweise Integration der Feld Gleichungen der Gravitation" Press. Akad. Weiss. Berlin, *Sitzungsberichte der Physikalisch-mathematischen Klasse*, 688.
- [2] BONDI, H. (1957). "Plane Gravitational Waves in General Relativity", *Nature*, 179, 1072.

Para contato com o autor:
frajuca@cefetsp.br