

WHITE PAPER

ASTROFÍSICA DE ONDAS GRAVITACIONAIS:

Uma Proposta de Plano Estratégico para a Comunidade Astrofísica Brasileira para o período 2010-2015

Colaboração GRÁVITON

Motivação:

A comunidade científica internacional está convencida da existência de ondas gravitacionais em razão da confirmação indireta da perda de energia e momento angular na emissão dessas ondas por sistemas binários de estrelas de nêutrons, como o PSR 1913+16, o PSR B1534+12 e o pulsar duplo PSR 0737-3039A+B; sendo que o estudo do primeiro sistema rendeu o prêmio Nobel de Física para Taylor e Hulse em 1993.

A primeira detecção das ondas gravitacionais, previstas pela teoria da relatividade geral de Einstein e outras teorias de gravitação, e a sua observação regular estão, certamente, entre os objetivos científicos e desafios tecnológicos mais importantes deste início de milênio. Elas vão abrir uma nova janela para a observação do Universo.

Finalmente, a detecção direta destas ondas é esperada ocorrer a qualquer momento dentro da próxima década, em razão da existência atual de detectores muito sensíveis, como o LIGO (Laser Interferometer Gravitational Observatory), o VIRGO, o Planck e o PPTA (Parkes Pulsar Timing Array), e a perspectiva de estarem prontos, já em 2014, detectores ainda mais sensíveis como o Advanced LIGO e o Advanced VIRGO, com os quais são previstas algumas dezenas de detecções por ano.

Introdução:

Os modelos astrofísicos e cosmológicos atuais prevêm que o espectro de ondas gravitacionais deve cobrir a faixa em frequências de 10^{-18} a 10^{10} Hz. Satélites como o Planck e experimentos voltados para a detecção da componente polarizada da radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM) vão poder observar as marcas deixadas pelas ondas gravitacionais primordiais da faixa de 10^{-18} a 10^{-15} Hz na última superfície de espalhamento eletromagnético. “Pulsar Timing Arrays”, como o NANOGrav, o Parkes Pulsar Timing Array (PPTA) e o European Pulsar Timing Array (EPTA) e o futuro Square Kilometre Array (SKA) vão poder observar ondas gravitacionais na faixa de 10^{-9} a 10^{-8} Hz, acompanhando o comportamento temporal simultâneo de diversos pulsares. Por outro lado, a faixa que vai de 10^{-4} a 10^4 Hz estará sendo coberta pelo conjunto formado pelos interferômetros espaciais, como o LISA (10^{-4} a 10^{-1} Hz), DECIGO (10^{-2} a 10^2 Hz), o Big Bang Observer (BBO) (10^{-2} a 10^1 Hz), e pelos detectores/observatórios de solo, como o LIGO, VIRGO, GEO, LCGT, AIGO, EINSTEIN, SCHENBERG, MINIGRAIL. Finalmente, na faixa de 10^5 a 10^{10} Hz (HFGW) existem algumas propostas de interferômetros laser e antenas formadas por

guias de onda (circuladores) em microondas, que estão sendo investigadas experimentalmente, e que poderiam abrir perspectivas promissoras.

No Brasil vem sendo desenvolvido, sob a colaboração GRÁVITON*, o detector Mario SCHENBERG, instalado no Departamento de Física dos Materiais e Mecânica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (campus da capital). Quando plenamente operacional, este detector poderá determinar a direção e a polarização, além da amplitude das ondas detectadas na faixa de frequências em torno de 3,2 kHz, se tornando um observatório importante de uma rede internacional.

Este detector é composto de uma antena esférica de cobre (94%)-alumínio (6%) de 1150 kg de massa e 65 cm de diâmetro e foi construído, com apoio da FAPESP (projeto especial + projeto temático), sob uma ampla colaboração brasileira e internacional. Foram investidos o equivalente a 2 milhões de reais (FAPESP) na construção do detector SCHENBERG, o qual se encontra em fase de comissionamento, ou seja, de aperfeiçoamento e melhoria de sensibilidade. A meta para operação científica é atingir a densidade espectral de ruído de amplitude de $h \sim 2 \times 10^{-21} \text{ Hz}^{-1/2}$ em uma banda de 50 Hz em torno de 3,2 kHz. Já a meta de projeto é atingir $h \sim 2 \times 10^{-22} \text{ Hz}^{-1/2}$ para a mesma banda e investigar a possibilidade prática de implementar uma previsão teórica de que sua banda de observação possa se estender para cobrir todas as frequências acima de 2 kHz até, pelo menos, 10 kHz, que colocaria o detector brasileiro em vantagem em relação a todos os detectores interferométricos atuais.

A relevância científica do tema, a existência de projetos temáticos na FAPESP neste assunto e a massa crítica de pessoal no Brasil envolvido no mesmo, tanto do ponto de vista teórico como experimental, demonstram a importância da formação de uma subcomissão sobre o tema "Astrofísica de Ondas Gravitacionais" (AOG)** , que analisaria aspectos de formação de recursos humanos (em fontes astrofísicas, em análise de dados e na parte experimental), a participação colaborativa com outros experimentos internacionais e o desenvolvimento de detectores brasileiros e sua instrumentação.

A seguir será apresentada a proposta de um plano estratégico para o desenvolvimento da astrofísica de ondas gravitacionais no país de forma que pesquisadores de instituições brasileiras tenham um papel de liderança mundial nesta área.

* Colaboração envolvendo mais de 40 pesquisadores de várias instituições nacionais e internacionais, como o INPE, USP (IF e IAG), CTA (ITA e IEAv), UNICAMP, IFSP, UNIFESP (Diadema), UFABC, CBPF, Universidade Federal dos Pampas, Universiteit Leiden, Louisiana State University, University of Western Australia, Observatoire de la Côte d'Azur, Jet Propulsion Laboratory, entre as principais.

** A pesquisadora Nadja S. Magalhães, da UNIFESP, propõe cunhar-se o termo genérico "gravitoastronomia", que seria análogo, no que se refere à radiação gravitacional, a termos já estabelecidos, como "radioastronomia".

Plano Estratégico para desenvolvimento da Astrofísica de Ondas Gravitacionais no Brasil:

Considerações preliminares

As atividades em Astrofísica de Ondas Gravitacionais podem ser divididas nos seguintes temas:

- I) Estudo da geração de OGs por fontes astrofísicas ou cosmológicas;
- II) Análise de dados de detectores/observatórios;
- III) Operação, aquisição, vetagem e processamento de dados de detectores;
- IV) Desenvolvimento de detectores e sua instrumentação.

As atividades I e II são fundamentalmente teóricas, enquanto as atividades III e IV são experimentais, com a ressalva que a atividade IV pressupõe um desenvolvimento teórico de projeto.

A maior parte dos pesquisadores e estudantes brasileiros está atualmente envolvida nas atividades I e II, nesta ordem. Os que participam da atividade II, utilizam dados do detector norteamericano ALLEGRO, apesar desta atividade já ter sido realizada também para o caso do detector SCHENBERG em corridas de engenharia.

Obviamente, a atividade I dispensa o acesso a dados de detectores. Entretanto, haveria uma sinergia interessante se esta atividade estivesse vinculada com a de análise dos dados de um detector, pois permitiria a elaboração de filtros adequados para a extração de sinais e uma mais rápida interpretação astrofísica de sinais detectados.

O acesso a dados de detectores estrangeiros pode ocorrer em três situações:

- A) O Brasil tem participação na construção ou orçamento do detector estrangeiro;
- B) O Brasil oferece dados de um detector nacional como contrapartida;
- C) Brasileiros(as), individualmente, participam de colaborações estrangeiras.

A possibilidade B é viável quando existe uma faixa de frequências comum entre o detector brasileiro e o estrangeiro. No caso do detector SCHENBERG, isto ocorreria com o LIGO, o VIRGO, o GEO, o LCGT, o AIGO, o EINSTEIN e o MINIGRAIL. Entretanto, não seria possível, provavelmente, com os detectores espaciais LISA, DECIGO e BBO.

A situação A é praticamente inviável para o caso dos interferômetros espaciais, pois são projetos caríssimos (da ordem de 2 bilhões de dólares, ou mais) cuja tecnologia envolvida está fora das possibilidades brasileiras e as indústrias americanas e européias envolvidas, via NASA e ESA, não as repassam/revelam.

No caso dos “Pulsar Timing Arrays”, experimentos de RCFM, detectores na faixa HFGW (10^5 a 10^{10} Hz) e do EINSTEIN Telescope, a possibilidade de participação do país na construção de parte do projeto não estaria descartada, mas precisaria ser discutida com a inclusão de especialistas destas outras técnicas observacionais.

Em todos os casos, a situação C é possível.

A Proposta

Levando-se em consideração os pontos levantados na seção anterior, propõe-se o seguinte conjunto de atividades para o período 2010-2015:

- 1) Colocar o detector SCHENBERG em operação científica o mais cedo possível;
- 2) Analisar a possibilidade do Brasil ter participação na construção de projetos internacionais de:
 - (a) “Pulsar Timing Arrays”;
 - (b) Experimentos de RCFM que possam detectar ondas gravitacionais primordiais;
 - (c) O “EINSTEIN Telescope”;
- 3) Analisar propostas nacionais de detectores de baixo custo para HFGW;
- 4) Enviar brasileiros(as) para trabalharem, principalmente, na análise de dados de projetos estrangeiros e nos experimentos que se mostrassem viáveis para uma participação brasileira na construção;
- 5) Analisar a necessidade de se construir um segundo detector esférico, após a obtenção bem sucedida da sensibilidade de projeto do SCHENBERG, e iniciar os trabalhos para sua construção, se for o caso;
- 6) Realizar um *workshop* anual especializado em AOG;
- 7) Realizar cursos de AOG em uma ou mais das escolas periódicas já existentes;
- 8) Estudar a criação de núcleos de pesquisa de caráter nacional, conectados preferencialmente por rede de comunicação de alta velocidade, para concentrar o empenho dos cientistas do país no avanço da área, coordenando trabalhos de interesse comum e investigando temas como:
 - (a) Fontes de ondas gravitacionais: (i) Impulsivas; (ii) Contínuas; (iii) Estocásticas;
 - (b) Análise de dados experimentais;
 - (c) Desenvolvimento/otimização de detectores/observatórios;
- 9) Estimular o desenvolvimento da área em regiões do país que ainda não possuam pesquisa em temas da mesma.

Estimativas preliminares de recursos

- Duas bolsas de pós-doutoramento por dois anos: total de ~ R\$ 200k (para desenvolvimento experimental relacionado ao detector SCHENBERG);
- Dez bolsas de pós-doutoramento de dois anos no exterior: total de ~ R\$ 1 milhão (para enviar brasileiros(as) para trabalharem, principalmente, na análise de dados dos projetos estrangeiros e nos experimentos que se mostrassem viáveis para uma participação brasileira na construção);
- Dez bolsas de doutoramento no país: total de ~ R\$ 800k (para os quatro temas de atividades em AOG);
- Verba para realização de um *workshop* especializado ao ano (valor a estimar);
- Verba para colaboração na realização de escola(s) periódica(s) (valor a estimar);
- Rede nacional para troca de dados em alta velocidade (verificar as já existentes);
- Bolsas de estudo em todos os níveis para grupos emergentes em AOG (necessita estudo de demanda por região).

Sítios eletrônicos e outras referencias de projetos em AOG:

NANOGrav (<http://www.nanograv.org/>)

Parkes Pulsar Timing Array (PPTA) (<http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/ppta/>)

European Pulsar Timing Array (EPTA)

(<http://www.astron.nl/~stappers/epta/doku.php>)

Square Kilometre Array (SKA) (<http://www.skatelescope.org/>)

LISA (<http://lisa.nasa.gov/> e

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=27>)

DECIGO (2 Ando.pdf apresentado Wednesday em

<http://sites.google.com/site/amaldi8projectwednesday624/abstracts>)

Big Bang Observer (BBO) (http://en.wikipedia.org/wiki/Big_Bang_Observer)

LIGO (<http://www.ligo.org/> e <http://www.ligo.caltech.edu/>)

VIRGO (<http://www.virgo.infn.it/> e

http://www.ego-gw.it/virgodescription/pag_4.html)

GEO (<http://www.geo600.org/>)

LCGT (04_Kuroda.pdf apresentado Tuesday em

<http://sites.google.com/site/amaldiproject8tuesday623/presentations-1>

e www.icrr.u-tokyo.ac.jp/gr/LCGT.pdf)

AIGO (<http://www.aigo.org.au/>)

EINSTEIN Telescope (<http://www.et-gw.eu/>)

Mario SCHENBERG (<http://www.das.inpe.br/graviton/index.html>

e <http://www.das.inpe.br/video/>)

MINIGRAIL (<http://www.minigrail.nl/>)

HFGW (Class. Quantum Grav. **25** (2008) 225011 (14pp) e

<http://www.sr.bham.ac.uk/gravity/project.php?project=MHzDetector>).