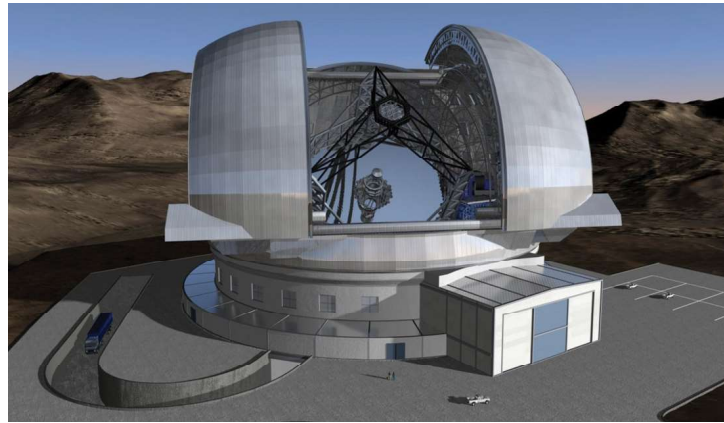




34- Telescópios Gemini Sul (à frente) e SOAR (ao fundo) localizados no Cerro Pachón, Chile. O Brasil é sócio dos consórcios que operam ambos os telescópios (crédito: SOAR Telescope)



35- Concepção artística do E-ELT, cujo espelho primário será composto por um mosaico de 984 segmentos hexagonais, cada um com 1,45 m de extensão e apenas 5 cm de espessura. O prédio terá cerca de 90 metros de altura e 90 metros de diâmetro (crédito: ESO).

Como serão os telescópios do futuro? Os projetos em desenvolvimento permitem antever como serão os telescópios das próximas décadas: já estão em andamento projetos de construção de telescópios na faixa de 30 a 40 metros de diâmetro que devem ser a vanguarda da astronomia observacional a partir de 2020 aproximadamente.

Vários desses projetos estão consolidados ou em fase final de revisão ou estágio inicial de construção. Entre eles estão o E-ELT (*European Extremely Large Telescope*), um telescópio de 42 metros de diâmetro a ser instalado no Chile que está sendo projetado por um consórcio de países europeus. Outro projeto em fase adiantada é o TMT (*Thirty Meter Telescope*) que como o nome diz se trata de um telescópio de trinta metros de diâmetro projetado e construído por um grupo de instituições de pesquisa dos Estados Unidos e Canadá, que será instalado no Monte Mauna Kea, no Haváí. O GMT (*Giant Magellan Telescope*) será um telescópio composto por sete espelhos de 8,4 metros de diâmetro alinhados num foco comum, com desempenho equivalente ao de um telescópio de 24,5 metros de diâmetro; ele será instalado em Las Campanas, no Chile, e pertence a um grupo de instituições de diversos países, liderados pelos Estados Unidos.

Todos esses telescópios têm o início de suas operações de pesquisa previsto para 2018-2020 aproximadamente e deverão ser os instrumentos mais importantes das próximas décadas para a astronomia observacional na faixa óptica. Mas, o que deverá vir em seguida? Aí só se pode especular: fala-se em telescópios na faixa dos cem metros de diâmetro instalados no lado oculto da Lua, ou então de telescópios no espaço, bem afastados da Terra, com dezenas de metros de diâmetro. Isso para não falar em sistemas interferométricos compostos por grupos de telescópios, cada um também com dezenas de metros de diâmetro, separados por quilômetros entre si e com foco comum. Um sistema assim só poderia funcionar no espaço e teria resolução equivalente ao de um telescópio com diâmetro igual à separação das unidades mais separadas como em qualquer interferômetro, ou seja, quilômetros de diâmetro! O que um instrumento assim poderá fazer desafia a imaginação.



36- Meteorito Allende, que se fragmentou em milhares de pedaços ao cair em Chihuahua, no México, em 1969. Esse objeto celeste contém os minerais mais antigos do Sistema Solar já recuperados, com 4,567 bilhões de anos (crédito: Lawrence Berkeley National Laboratory).

2.4 A INFORMAÇÃO QUE NÃO CHEGA PELA LUZ

Como visto antes, historicamente a astronomia nasceu da observação a olho nu dos corpos celestes. Com o uso de elaboradas miras e quadrantes ou sextantes os astrônomos da Antiguidade conseguiram compilar de catálogos de posição de estrelas e planetas. A determinação de efemérides para o Sol, a Lua e planetas, sem falar de teorias sobre o movimento dos corpos celestes. Mesmo depois da introdução dos telescópios, a partir do século 17, as observações astronômicas limitaram-se à faixa visível do espectro eletromagnético até o início do século 20 quando começaram a ser feitas as observações em ondas de rádio e posteriormente em outras faixas como raios X e gama.

Uma conclusão apressada poderia considerar que toda a informação sobre os corpos celestes que chega até a Terra é obtida exclusivamente pela radiação eletromagnética. Mas isso não é verdade.

Outros portadores de informação chegam até a Terra, caso de meteoritos que relatam a composição química primitiva do Sistema Solar, neutrinos, partículas fundamentais para entender o processo de produção de energia nos interiores estelares, raios cósmicos cuja origem é ainda tema de discussão devido à sua ampla faixa de energias, e mesmo as ondas gravitacionais que, previstas pela teoria da relatividade geral, ainda não foram detectadas. Mas, quando isso ocorrer, trarão informações preciosas sobre a estrutura do espaço-tempo impossível de ser obtidas de outra forma. Além disso, existem também as sondas viajando pelo Sistema Solar que já permitem a coleta de informação fora da Terra.

2.4.1 MATERIAL DO SISTEMA SOLAR: METEORITOS E COLETA LOCAL

Os meteoritos são reconhecidos desde a Antiguidade como objetos extraterrestres. A partir do desenvolvimento da química e das ciências da Terra, como a mineralogia e a geologia, foi possível estabelecer um sistema de classificação para esses corpos de acordo com sua estrutura e composição química (ver capítulo 3). Atualmente coletam-se meteoritos no mundo todo, de preferência em locais onde é fácil localizá-los como em desertos, planícies ou regiões geladas.

Um exemplo interessante neste caso é o meteorito Allende, que caiu no México em 1969. Uma



37- Microfotografia do meteorito ALH 84001, originado de Marte. A estrutura cilíndrica alongada no centro da imagem foi interpretada por alguns especialistas como restos fossilizados de bactérias (crédito: NASA).

análise desse objeto revelou a presença de inclusões de cálcio-alumínio, materiais mais antigos já coletados do Sistema Solar, com idade de 4,567 bilhões de anos.

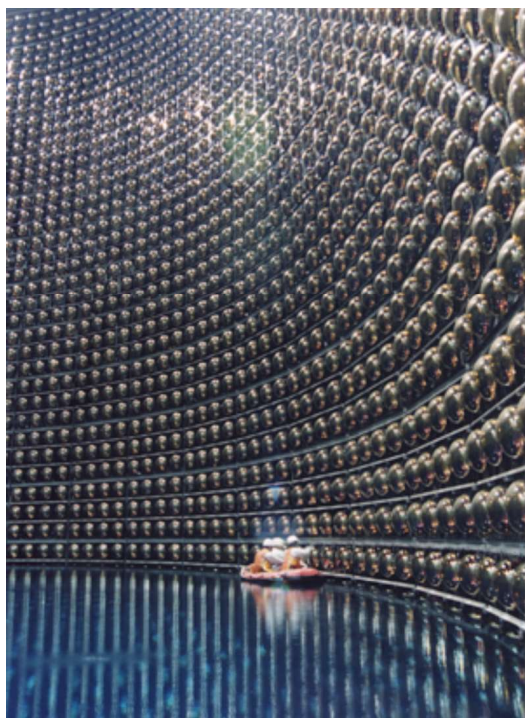
Outro exemplo digno de registro é o meteorito ALH 84001, com apenas 1,93 kg, encontrado na Antártida em 1984. Uma análise desse corpo revelou que se trata de material arrancado da superfície de Marte pelo efeito do impacto de um bólido ainda maior. A descoberta mais fascinante neste meteorito, discutida durante algum tempo, foi que talvez contivesse traços de vida fossilizada. Essa descoberta continua sendo questionada e não é aceita por toda a comunidade científica, mas a perspectiva de que este meteorito seja o portador da informação de que houve vida marciana é instigante.

Os voos de sondas automáticas aos planetas do Sistema Solar, assim como os voos tripulados à Lua, entre 1969 e 1972, proporcionam a coleta direta de material, fonte de informações até então inacessível. Além dos voos tripulados à Lua já foram enviadas sondas que pousaram ou passaram próximos de diversos planetas, de alguns satélites, do próprio Sol e mesmo de cometas. Em alguns casos a análise do material é feita no próprio local de chegada da sonda; foi o caso dos veículos-robôs Spirit e Opportunity, que exploram Marte desde o início de 2004. Outra sonda que fez análises no próprio local de pouso foi o módulo Hyugens, parte da sonda Cassini projetada para explorar Saturno e seu sistema de luas. O módulo pousou em Titã em janeiro de 2005. De modo análogo, a sonda Rosetta coletará material do cometa Churyumov-Gerasimenko em 2014, com perspectiva de pousar no seu núcleo para análises locais.

E existem projetos para coleta de material e transporte para a Terra. Foi o caso da sonda Stardust que passou próximo ao cometa Wild 2 e recolheu material desse astro em 2004; a seguir, essa sonda trouxe material de volta à Terra, onde chegou em janeiro de 2006.

2.4.2 DETECTORES DE NEUTRINOS

Os neutrinos são produzidos em grande quantidade nos núcleos estelares como parte dos processos de nucleossíntese e produção de energia. Além disso, eventos astrofísicos como o colapso de núcleos estelares, o que dá origem a supernovas, produzem imensas quantidades de neutrinos. Assim, a detecção dessas partículas é uma fonte de informação sobre estes processos. Mas detectar neutrinos é uma tarefa extremamente complexa já que essas partículas têm baixíssima interação com a matéria.



38- Técnicos num bote de borracha dentro do detector de neutrinos Super Kamiokande, no Japão. O tanque está localizado a um quilómetro abaixo da superfície, contém 50.000 metros cúbicos de água pura e é internamente rodeado por 11.200 fotodetectores (crédito: Kamioka Observatory).

A probabilidade de interação dos neutrinos com a matéria é tão baixa que os essas partículas, comumente chamadas de “fantasmas”, normalmente atravessam corpos como um planeta como se ele não existisse. Os detectores, na Terra, são baseados na fraquíssima probabilidade de interação dos neutrinos com certos núcleos atômicos: para isso são construídos imensos tanques subterrâneos preenchidos com água ou uma solução de cloro, normalmente instalados centenas de metros da superfície para blindar a influência dos raios cósmicos e de outras fontes de radiação sobre os detectores. Nas raras vezes em que o neutrino interage com um núcleo atômico, ocorre a emissão de um fóton, detectado por um dos fotodetectores do tanque.

2.4.3 DETECTORES DE RAIOS CÓSMICOS

O termo “raios cósmicos” se refere às partículas carregadas que vêm de fora da Terra e colidem com a atmosfera. O termo em si é um equívoco histórico já que não se trata de radiação e sim de matéria. Em termos de composição, 90% dos raios cósmicos são prótons, cerca de 9% são partículas alfa, ou seja, núcleos de hélio, e cerca de 1% são elétrons e partículas mais pesadas. A faixa de energia dos raios cósmicos varia imensamente, por mais de vinte ordens de grandeza, refletindo a diversidade de suas origens. Uma fração grande da radiação cósmica de baixa energia vem do Sol, mas os mais energéticos têm origem controversa, vindo provavelmente de fora da Galáxia. Muito tem sido discutido sobre a influência dos raios cósmicos sobre a Terra, em particular sobre a estrutura da atmosfera, e existem sugestões dentro da comunidade científica de que talvez o clima da Terra seja influenciado por oscilações periódicas da taxa de incidência de raios cósmicos.

A detecção da radiação cósmica depende da faixa de energia dessas partículas: os menos energéticos, mais abundantes, são absorvidos pelas camadas superiores da atmosfera e só podem ser detectados em grande altitude por balões ou satélites. A fração de maior energia colide com os núcleos atômicos de oxigênio e nitrogênio na atmosfera superior e perdem parte de sua energia criando “chuveiros” de partículas secundárias menos energéticas que podem colidir com outros núcleos, todos eles descendo até o solo aproximadamente na mesma direção da partícula primária e formando um cone de partículas que pode ser detectado no solo. O que se detecta no solo são as

39- Um dos detectores de raios cósmicos do Observatório Pierre Auger, na Argentina, com os Andes ao fundo. As informações de cada um dos 1.600 detectores são transmitidas por rádio em tempo real para o escritório central do observatório (crédito: Observatório Pierre Auger).



partículas secundárias produzidas por um raio cósmico primário, e a partir delas é possível inferir a direção e a energia da partícula primária.

A detecção é feita com as mesmas técnicas usadas para identificar partículas elementares em laboratórios como câmaras de bolha ou cintiladores, mas esses equipamentos devem ser espalhados por uma extensa área para medir um chuveiro produzido por um raio cósmico de alta energia. O Brasil é um dos sócios do maior e mais eficiente sistema de detecção de raios cósmicos de alta energia do hemisfério sul, o Observatório Pierre Auger, localizado no noroeste da Argentina, na província de Mendoza. Ele se compõe de 1.600 tanques cilíndricos de água pura espalhados por uma área de 3.200 km². As partículas secundárias produzidas num chuveiro desencadeado por um raio cósmico de alta energia são detectadas dentro desses tanques pelo efeito Cherenkov: eles se deslocam com velocidade superior à velocidade da luz no meio e, portanto, emitem fótons que podem ser detectados com fotodetectores instalados dentro de cada tanque.

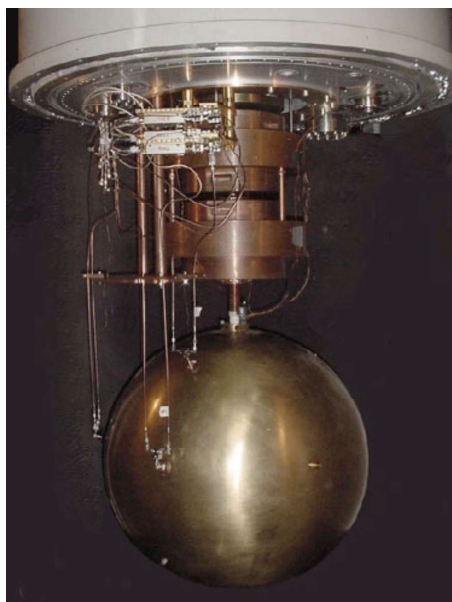
2.4.4 DETECTORES DE ONDAS GRAVITACIONAIS

De acordo com a Teoria da Relatividade Geral a gravidade é uma deformação no espaço-tempo produzida pela presença de uma massa. Quando grandes massas como as estrelas se deslocam rapidamente, isso deve gerar uma perturbação gravitacional que se propaga pelo Universo na velocidade da luz. Esse efeito é análogo ao que ocorre quando uma pedra é jogada em um lago e provoca anéis concêntricos que se afastam a partir do ponto em que a pedra mergulhou.

E quando isso ocorre?

Teoricamente diversos objetos astrofísicos geram ondas gravitacionais, como sistemas binários compostos por anãs brancas, estrelas de nêutrons ou buracos negros girando rapidamente em relação a um centro de massa. Ou então o colapso do núcleo de uma estrela que desencadeia uma supernova. As informações trazidas pela radiação gravitacional são de natureza totalmente diferente daquelas transportadas pela radiação eletromagnética, tanto para fins de aplicações astrofísicas como para a validação de teorias fundamentais como a da Relatividade Geral. Daí a importância de sua detecção.

Essas perturbações no espaço-tempo produzem uma radiação gravitacional e diversos esforços tem sido feitos para detectá-la, mas isso esbarra em dificuldades técnicas enormes e os esforços até



40- Detector Mário Schenberg de ondas gravitacionais, instalado no Instituto de Física da USP, em São Paulo, visto aqui sem a cápsula de isolamento térmico que o envolve. A antena é uma esfera maciça de uma liga de cobre (94%) e alumínio (6%) com 65 cm de diâmetro e massa de cerca de uma tonelada (crédito: INPE).

agora não produziram resultados definitivos. Uma onda gravitacional deve gerar uma pequena deformidade mensurável nas dimensões de um corpo de prova, mas essa deformidade é imensamente pequena, o que torna todo o processo de medida muito complexo. Nos casos mais favoráveis espera-se uma deformação linear da ordem de 10^{-18} vezes a dimensão do corpo, o que dá uma ideia da dimensão do efeito de uma onda gravitacional. Isto significa que um corpo de prova da ordem de um quilômetro de extensão, sofrerá uma deformação de $1000 \times 10^{-18} = 10^{-15}$ metros. Em outras palavras, a deformação de um corpo de um quilômetro de extensão pela passagem de uma onda gravitacional é da ordem do diâmetro de um próton: 10^{-15} metros!

Existem no mundo poucos detectores de ondas gravitacionais, todos ainda em fase de refinamento de sensibilidade na expectativa de que, atingindo a precisão suficiente nas medidas, em alguns anos uma onda gravitacional será efetivamente detectada. Entre os detectores pode-se destacar o detector Virgo, na Itália, e o detector LIGO, nos Estados Unidos. Ambos compostos por pares de longos braços ortogonais, da ordem de quilômetros, cuja extensão é medida com imensa precisão pelo uso de interferômetros de laser.

Detectores análogos no espaço, como o projeto LISA, também estão sendo considerados. Outros tipos de detectores de ondas gravitacionais são grandes massas esféricas resfriadas a temperaturas próximas do zero absoluto e envoltas em sensores de alta sensibilidade. Um detector como este está sendo desenvolvido no Brasil. Trata-se do detector Mário Schenberg, instalado no Instituto de Física da USP e construído numa colaboração entre diversas instituições brasileiras.