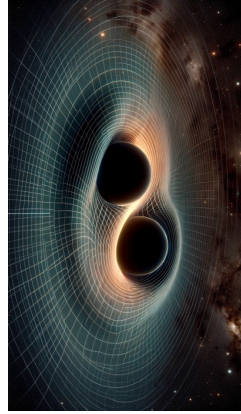


Representação artística da fusão de dois buracos negros com uma visualização da deformação do espaço-tempo ao seu redor. Essa deformação, enorme perto dos buracos negros, tem uma amplitude muito pequena quando atinge a Terra e só é detectável por instrumentos muito sensíveis, como o LIGO e o VIRGO.

(Imagem de Gianluca Inguglia gerada por DALL-E da OpenAI)



Luz

A luz é feita de partículas sem massa chamadas fótons que também se comportam como ondas. A interferência e a difração revelam o aspecto ondulatório da luz, enquanto o efeito fotoelétrico e as câmeras CCD revelam seu aspecto corpuscular. Quando dizemos "luz", pensamos na luz visível que vemos em um arco-íris, mas esta é apenas uma pequena parte do espectro de luz.

A luz é caracterizada por sua frequência de vibração, ν , ou por seu comprimento de onda, λ , relacionados por $v \cdot \lambda = c$ (onde c é a velocidade da luz). Os comprimentos de onda do arco-íris estão localizados entre 0,4 e 0,8 μm . Abaixo do vermelho (0,8 μm), há infravermelho que se estende até cerca de 300 μm , depois ondas de rádio até ondas quilonétricas e mais. Além do violeta (0,4 μm), há ultravioleta, depois raios-X e raios gama.

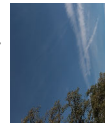


Transparência do céu em função do comprimento de onda. O céu é principalmente transparente nos comprimentos de onda da luz visível, de 0,4 a 0,8 μm ($1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$), e em ondas de rádio de 1 cm a 20 m. Os raios gama não estão representados aqui, eles estão abaixo de 0,01 nm ($1 \text{ nm} = 0,000001 \text{ mm}$).



Um aspecto da natureza

da luz: painéis fotovoltaicos absorvem partículas de luz que arrancam elétrons.



Um aspecto da natureza

ondulatória da luz: a cor azul do céu é devido à dispersão da luz solar por partículas na atmosfera (ver tump 24).

Ondas gravitacionais

2015 foi o ano da primeira detecção de ondas gravitacionais (ver tump 18).

Previstas 100 anos antes por Albert Einstein, sua intensidade é tão fraca que o físico estava convencido de que elas nunca poderiam ser detectadas.

Eventos extremamente energéticos, como a fusão de dois buracos negros são necessários para que as ondas emitidas sejam detectadas pelos instrumentos atuais. É apenas a forma muito particular do sinal que permite extrair o ruído (devido, em particular, às vibrações residuais dos espelhos do instrumento, que causam movimentos muito maiores do que o deslocamento causado pela passagem das ondas). As numerosas fusões de buracos negros e estrelas de nêutrons que os detectores observaram desde 2015 revelam um universo que era invisível até agora.

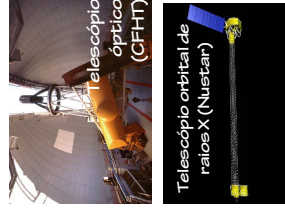
Os raios cósmicos são partículas de matéria carregadas (prótons, elétrons, núcleos de hélio) que viajam a velocidades muito próximas à da luz e, portanto, têm uma energia cinética gigantesca. Sua origem é pouco compreendida. Eles podem vir de supernovas ou da fusão de buracos negros. Eles são detectados pela luz que emitem durante sua interação com a atmosfera da Terra, criando uma chuva de partículas em cascata de luz.

Em regiões muito escuras, essa luminosidade fraca pode ser capturada por telescópios projetados para observar essas chuvas de luz, como o telescópio HESS na Namíbia, ou o experimento Auger na Argentina, que combina telescópios e detectores de partículas para detectar os raios cósmicos mais energéticos.

Estes últimos são muito raros, apenas cerca de um desses raios cósmicos passa por quilômetro quadrado na Terra durante um século inteiro.

Em regiões muito escuras, essa luminosidade fraca pode ser capturada por telescópios projetados para observar essas chuvas de luz, como o telescópio HESS na Namíbia, ou o experimento Auger na Argentina, que combina telescópios e detectores de partículas para detectar os raios cósmicos mais energéticos.

Raios cósmicos



Telescópio orbital de raios X (NuSTAR)



Radiointerferômetro (VLA)



Radiotelescópio (GBT)



Detector de raios cósmicos (Auger)

Quiz
Qual desses telescópios não detecta fótons?



Resposta no verso

O Universo no meu bolso



Mensageiros celestiais

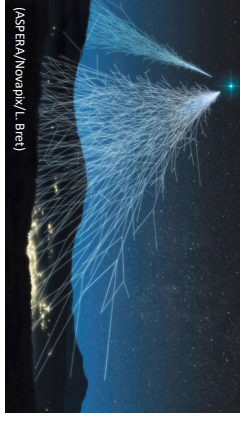


Laurent Pagani
CNRS & Observatoire de Paris



Foto de H.E.S.S. II, um detector de chuvas de luz visível que rastreia raios cósmicos.

(Wikipedia)



(ASPERA/Novipix/L. Bert)

Representação artística da interação de um raio cósmico com a atmosfera causando uma chuva de raios de luz.

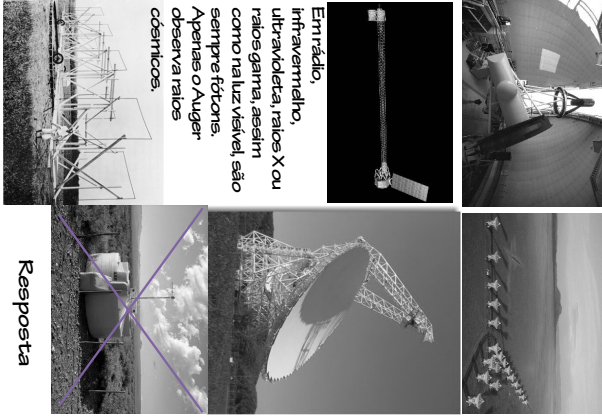


Para saber mais sobre esta coleção e os temas apresentados neste livrinho, visite <http://www.tumip.org>

Imagem da capa: Chuva de meteoros conhecida como Perseidas. A órbita da Terra cruza regularmente o caminho de detritos deixado por cometas. Esses grãos de poeira muito numerosos entram na atmosfera em grupos, inflamam-se e parecem vir da mesma direção. A de agosto parece vir da constelação de Perséu. (Foto de CGTN).

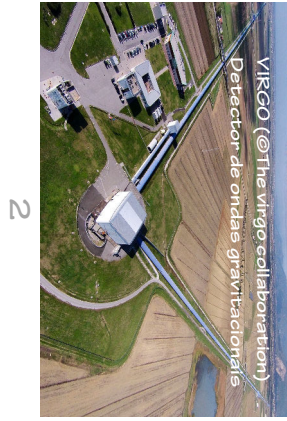
Este livrinho foi escrito em 2025 por Laurent Paganí do Observatório de Paris e do CNRS e revisado por Grażyna Stasińska (do Observatório de Paris) e Stan Kurtz (do IRYA, México).

O Universo no meu bolso Nº 43



Resposta

Então, infravermelho, ultravioleta, raios X ou raios gama, assim como na luz visível são sempre fótons. Apenas o Auger observa raios cósmicos.

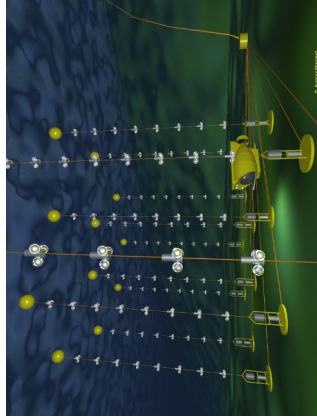


VIRGO (@The Virgo collaboration)

Detector de ondas gravitacionais



Grande Telescópio do Observatório de Paris-Meudon (desativado)



Telescópio de neutrinos ANTARES; milhares de câmeras imersas a até 2500 m de profundidade no Mar Mediterrâneo monitoram a ocorrência de cintilações (pequenos flashes de luz) causadas pela interação de um neutrino com a água.

Credit: François Montanet

Meteoritos

Os meteoritos podem ter várias origens (ver tumip 11). Poeira deixada por cometas, colisões entre asteroides no Cinturão de Asteróides localizado entre Marte e Júpiter, ou rochas ejetadas da superfície de Marte ou da Lua após uma colisão com um asteroide. Neste último caso, os meteoritos nos fornecem informações diretas sobre a composição da Lua, Marte ou dos próprios asteroides, que retêm uma certa memória do estado da nebulosa solar na época da formação dos planetas, há cerca de 4,5 bilhões de anos.

Os menores meteoritos queimam completamente na atmosfera (como estrelas cadentes), enquanto os maiores sobrevivem e atingem o solo. Podemos recuperá-los e analisar sua composição química.



Um fragmento do meteorito de Murchison e partículas isoladas individuais (no tubo de ensaio).

Abaixo: a cratera Meteor no Arizona. Os maiores meteoritos fazem crateras no solo como esta. A maioria das crateras desapareceu na Terra. Por outro lado, a Lua, que não tem erosão ativa, retém muitas crateras (ver tumip 27).



Neutrinos

Neutrinos são partículas produzidas por certas reações nucleares. Existem três 'sabores' de neutrinos, ligados às três famílias de léptons, o mais conhecido dos quais é o elétron, depois o múon e o tau, mais massivos. A medida que se movem, os neutrinos oscilam entre esses três sabores, o que implica que eles têm uma massa. Mas é tão pequena que ainda não conseguimos medi-la.

O Sol, devido ao número extremamente alto de reações nucleares em seu núcleo, emite um grande número de neutrinos. A maioria deles passa pela Terra sem sequer diminuir a velocidade. Algumas experiências conseguem capturar alguns neutrinos, entre os bilhões que banham a Terra a cada momento. Como os neutrinos quase não interagem com a matéria, eles são difíceis de estudar e ainda são pouco compreendidos, mas nos permitem sondar o interior do Sol e das supernovas.

É difícil deixar a Terra para explorar o Universo. Além de algumas sondas espaciais para explorar o sistema solar, precisamos nos contentar em observar as mensagens que o céu nos envia. Conhecemos 5 tipos de mensagens celestiais:

- 1) Luz, que é muito mais rica do que o que nossos olhos percebem.
- 2) Neutrinos: partículas de baixa massa que quase não interagem com a matéria.
- 3) Raios cósmicos: partículas de matéria ionizada de energia muito alta que são reveladas ao entrar na atmosfera da Terra.
- 4) Meteoritos (ver tumip 11): os maiores sobrevivem à passagem pela atmosfera para chegar ao solo, onde são coletados.
- 5) Ondas gravitacionais (ver tumip 18): previstas por Einstein e detectadas em 2015.