

L'Univers dans ma poche



Les messagers célestes



Laurent Pagani
CNRS & Observatoire de
Paris



Grande Lunette de l'Observatoire de Paris-Meudon (désaffectée)



VIRGO (©The virgo collaboration)
Détecteur d'ondes gravitationnelles

2

Il est difficile de quitter la Terre pour explorer l'Univers. En dehors de quelques sondes spatiales qui partent explorer le système solaire, on doit se contenter d'observer les messages que le ciel nous envoie. On connaît 5 types de messagers célestes :

1) La lumière, qui est bien plus riche que ce que notre œil en perçoit.

2) Les neutrinos : des particules de très faible masse qui n'interagissent presque pas avec la matière.

3) Les rayons cosmiques : des particules de matière ionisée et de très haute énergie qui se révèlent en pénétrant l'atmosphère terrestre.

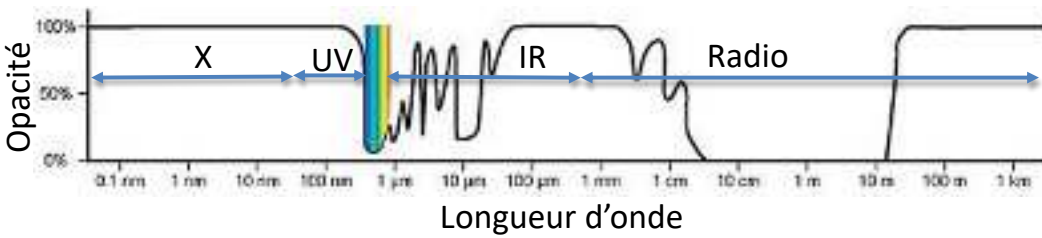
4) Les météorites (voir tuimp 11) : les plus grosses survivent à la traversée de l'atmosphère pour arriver au sol où on les récupère.

5) Les ondes gravitationnelles (voir tuimp 18) : prédites par Einstein et détectées en 2015. 3

La lumière

Elle est faite de particules sans masse qu'on appelle des photons et qui parfois se comportent comme si c'était des ondes. Les interférences, la diffraction, la diffusion révèlent son aspect ondulatoire, l'effet photo-électrique et les caméras CCD son aspect corpusculaire. Quand on dit lumière, on pense à la lumière visible qu'on voit dans un arc en ciel mais ce n'est qu'une toute petite partie du spectre de la lumière. La lumière est caractérisée par sa fréquence de vibration, ν , ou par sa longueur d'onde, λ , reliées par $\nu \times \lambda = c$ (vitesse de la lumière). Les longueurs d'onde de l'arc-en-ciel sont situées entre 0,4 et 0,8 μm . En-deçà du rouge (0,8 μm), on trouve l'infra-rouge qui s'étend jusque vers 300 μm puis les ondes radio jusqu'aux ondes kilométriques et plus. Au-delà du violet (0,4 μm), se trouve l'ultra-violet, puis les rayons X et les rayons gamma.

5



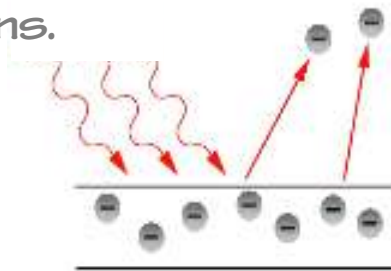
Transparence du ciel en fonction de la longueur d'onde. Le ciel est principalement transparent dans les longueurs d'onde de la lumière visible, de 0,4 à 0,8 μm (1 $\mu\text{m} = 0,001$ mm), et dans les ondes radio de 3 cm à 20 m. Les rayons gamma ne sont pas représentés ici, ils sont en dessous de 0,01 nm (1 nm = 0,000001 mm).



Un aspect de la nature ondulatoire de la lumière : la couleur bleue du ciel est due à la diffusion de la lumière solaire par les particules de l'atmosphère (voir tuimp 24).



Un aspect de la nature corpusculaire de la lumière : les panneaux photo-voltaïques absorbent des grains de lumière qui arrachent des électrons.



4

Les neutrinos

Ce sont des particules produites par certaines réactions nucléaires. Il y a trois « saveurs » de neutrinos, liées aux trois familles de leptons dont le plus connu est l'électron, puis le muon et le tau. Les neutrinos en se déplaçant oscillent entre ces trois saveurs, ce qui implique qu'ils aient une masse. Mais elle est tellement faible qu'on n'a pas réussi encore à la mesurer.

Le Soleil de par le nombre extrêmement élevé de réactions nucléaires en son cœur, émet un grand nombre de neutrinos qui traversent la Terre sans même ralentir. Certaines expériences arrivent à en capturer quelques-uns, parmi les milliards qui arrosent la Terre à chaque instant. Du fait que les neutrinos n'interagissent presque pas avec la lumière, ils sont difficiles à étudier et on les connaît encore mal mais ils permettent de sonder un peu l'intérieur du Soleil ou des supernovae.

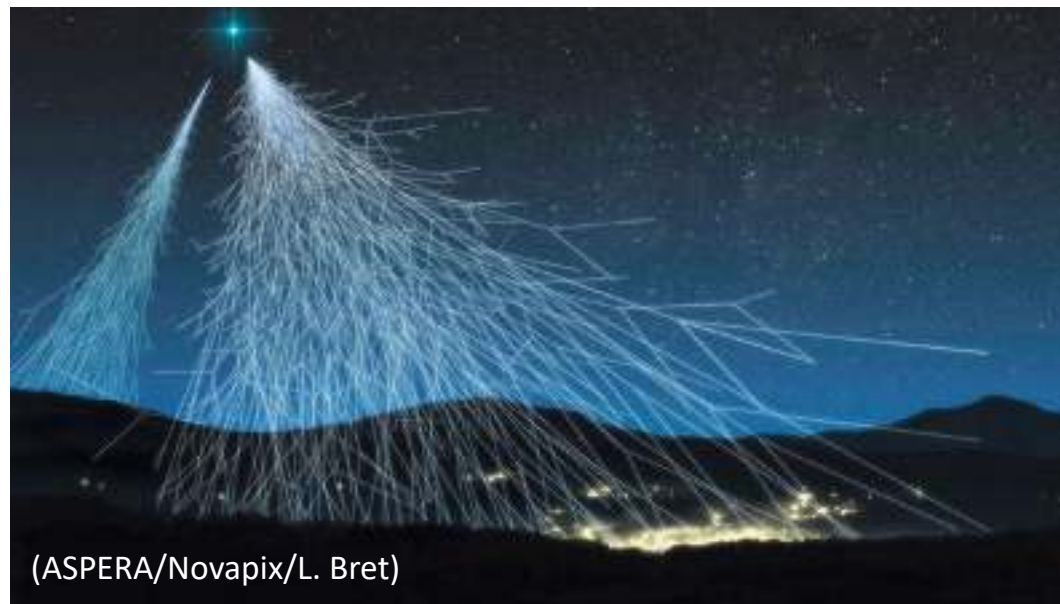
Télescope à neutrinos ANTARES ; des milliers de caméras immergées jusqu'à 2500 m de profondeur dans la méditerranée surveillent la survenance de scintillations (petits flashes de lumière) provoquées par l'interaction d'un neutrino avec l'eau.

Credit: François Montanet

Les rayons cosmiques

Ce sont principalement des particules de matière chargées (protons, électrons, noyaux d'hélium) qui se déplacent à des vitesses très proches de la vitesse de la lumière et ayant donc une énergie cinétique gigantesque. On connaît mal leur origine. Ils pourraient venir de supernovae ou de la fusion de trous noirs entre eux. On les détecte par la lumière qu'ils émettent lors de leur interaction avec l'atmosphère terrestre, créant alors une gerbe de particules.

Dans des régions très sombres, leur faible luminosité peut être captée par des télescopes spécialisés dans l'observation de ces gerbes lumineuses, comme le télescope HESS en Namibie, ou l'expérience Auger en Argentine qui combine télescopes et détecteurs de particules pour pouvoir détecter les rayons cosmiques les plus énergétiques qui sont très rares (1/siècle/km²).



(ASPERA/Novapix/L. Bret)

Représentation artistique de l'interaction d'un rayon cosmique avec l'atmosphère provoquant une gerbe de rayons lumineux.



(Wikipedia)

Photo de H.E.S.S. II, détecteur de gerbes dans le visible pour traquer les rayons cosmiques.

Les météorites

Elles ont plusieurs origines (voir tuimp 11). Poussières laissées derrière elles par les comètes, collisions entre astéroïdes de la ceinture d'astéroïdes située entre Mars et Jupiter, ou plus indirectement de roches expulsées de la surface de Mars ou de la Lune suite à une collision avec un astéroïde. Dans ce dernier cas elles nous apportent directement des informations sur la composition de la Lune, de Mars ou des astéroïdes eux-mêmes qui gardent une certaine mémoire de l'état de la nébuleuse solaire au moment de la formation des planètes, il y a environ 4,5 milliards d'années.

Les plus petites météorites se consomment entièrement dans l'atmosphère (ce sont les étoiles filantes), les plus grosses survivent et arrivent au sol. On peut les récolter et analyser leur composition chimique.

Un fragment de la météorite de Murchison et des particules individuelles isolées (dans le tube à essai).

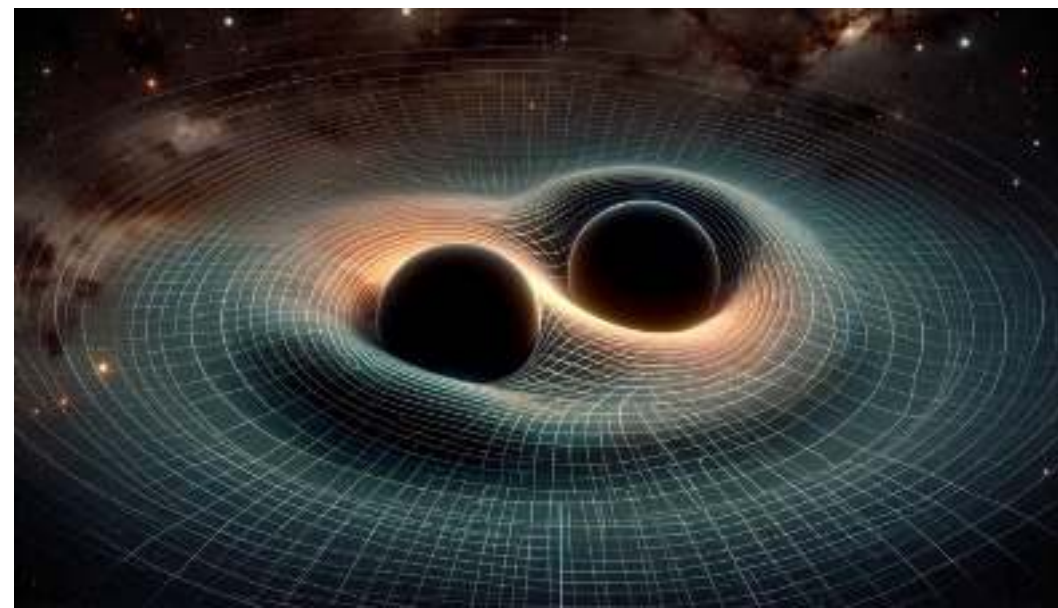
Ci-dessous: le Meteor crater en Arizona. Les plus grosses météorites font des cratères dans le sol comme celui-ci. Mais la plupart se sont effacés sur Terre. Par contre la Lune qui n'a pas d'érosion active en garde de nombreuses traces (voir tuimp 27).



Les ondes gravitationnelles

2015 fut l'année de la première détection d'ondes gravitationnelles (voir tuimp 18). Prédites 100 ans plus tôt par A. Einstein, leur intensité est tellement faible que le physicien fut convaincu qu'on ne pourrait jamais les détecter.

Il faut des événements extrêmement intenses comme la fusion de deux trous noirs pour que les ondes émises soient détectées par nos instruments actuels. C'est seulement la forme bien particulière du signal qui permet de l'extraire du bruit (dû, en particulier, aux vibrations résiduelles des miroirs de l'instrument qui provoquent des mouvements bien plus grands que le déplacement induit par le passage de l'onde). Les nombreuses fusions de trous noirs et d'étoiles à neutrons que les détecteurs observent depuis 2015 révèlent un univers pratiquement invisible jusqu'alors.



Représentation artistique d'une fusion de deux trous noirs avec une visualisation de la déformation de l'espace-temps autour. Cette déformation, majeure à proximité des trous noirs a une amplitude très faible quand elle arrive à la Terre et n'est perceptible que par des instruments aussi sophistiqués que LIGO et VIRGO (Image de Gianluca Inguglia générée par DALL-E de OpenAI)



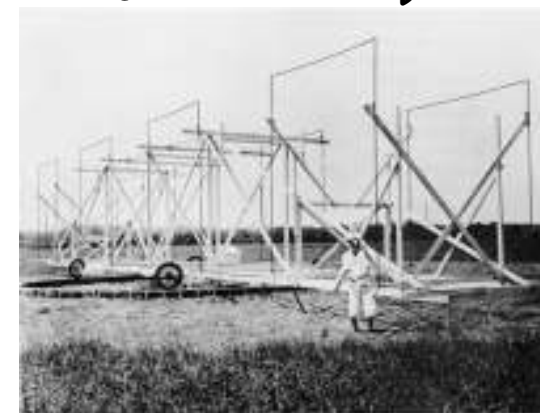
Quiz

Lequel de ces télescopes ne détecte pas de photons ?



Réponse au verso

En radio, en optique, en rayons X ou gamma, comme en infrarouge et en ultraviolet, il s'agit toujours de photons. Seul Auger observe les rayons cosmiques.



Réponse

L'Univers dans ma poche N° 43

Ce mini-livre a été rédigé en 2025 par Laurent Paganì de l'Observatoire de Paris et du CNRS et revu par Grażyna Stasińska (Observatoire de Paris) and Stan Kurtz (IRYA, Mexique).

Image de couverture : pluie de météores dite des Perséides. Régulièrement la Terre croise sur son orbite les débris laissés par des comètes. Ces très nombreux grains de poussières pénètrent l'atmosphère en groupes, s'enflamment et semblent venir de la même direction. Celle d'août semble venir de la constellation de Persée. (Photo de CGTN)



Pour en savoir plus sur cette collection et sur les thèmes présentés dans ce mini-livre visiter

<http://www.tuimp.org>

TUIMP Creative Commons

