

L'astronomie au-delà du visible

Beatriz García, Ricardo Moreno

Union Astronomique Internationale, Université Nationale de Technologie
(Mendoza, Argentine), École Retamar (Madrid, Espagne)

Résumé

Les corps célestes émettent un rayonnement dans diverses longueurs d'onde du spectre électromagnétique, essentiellement invisible à l'œil humain, qui perçoit seulement une très petite partie du spectre de rayonnement. Il existe de nombreuses façons de démontrer l'existence de ces rayonnements, au-delà du spectre visible, des méthodes qui utilisent des expériences simples. Ce matériel est une introduction pour voir au-delà de ce qui est perçu par un télescope, en utilisant des méthodes utilisées dans les écoles primaires et secondaires.

Objectifs

Ces activités sont proposées pour expliquer des phénomènes qui ne peuvent être observés avec un télescope amateur, tels que:

- Corps célestes émettant des énergies électromagnétiques qui ne peuvent être détectées par l'œil humain. Les astronomes sont intéressés par ces rayonnements parce que seul le rayonnement dans le spectre visible n'est pas suffisant pour créer une image de l'Univers aussi proche de la réalité que possible.
- Émissions émises dans les domaines de la radio, de l'infrarouge, des ultraviolets, des micro-ondes et des rayons X

Le spectre électromagnétique

Les ondes électromagnétiques couvrent une grande variété de fréquences d'onde et de longueurs d'onde et peuvent être classées par source de production. Par classification, ils ne sont pas complètement différenciés. La somme de toutes les ondes électromagnétiques est appelée spectre électromagnétique.

La figure 1 montre différentes régions du spectre électromagnétique. Aussi, les distances entre deux maximes d'onde (longueur d'onde λ) et quelques objets en fonction de leur taille sont indiquées: atomes, insectes, montagnes ... afin de faire une comparaison des longueurs d'onde.

Dans la même figure, vous pouvez voir le Soleil et Saturne photographiés dans des longueurs d'onde insaisissables pour l'œil humain. Les photos ont été faites en utilisant des filtres spéciaux sensibles à ces longueurs d'onde. Dans l'Univers il y a des substances avec des températures beaucoup plus basses que les étoiles, par exemple des nuages interstellaires. Ces nuages n'émettent pas de rayonnement visible, mais peuvent être détectés dans de grandes longueurs d'onde: infrarouge, micro-ondes et ondes radio. En observant l'Univers dans toutes

les régions du spectre électromagnétique, des "observations de longueur d'onde", on obtient une image beaucoup plus claire de la structure, de la température et de l'énergie, rendant les modèles cosmologiques plus réalistes.

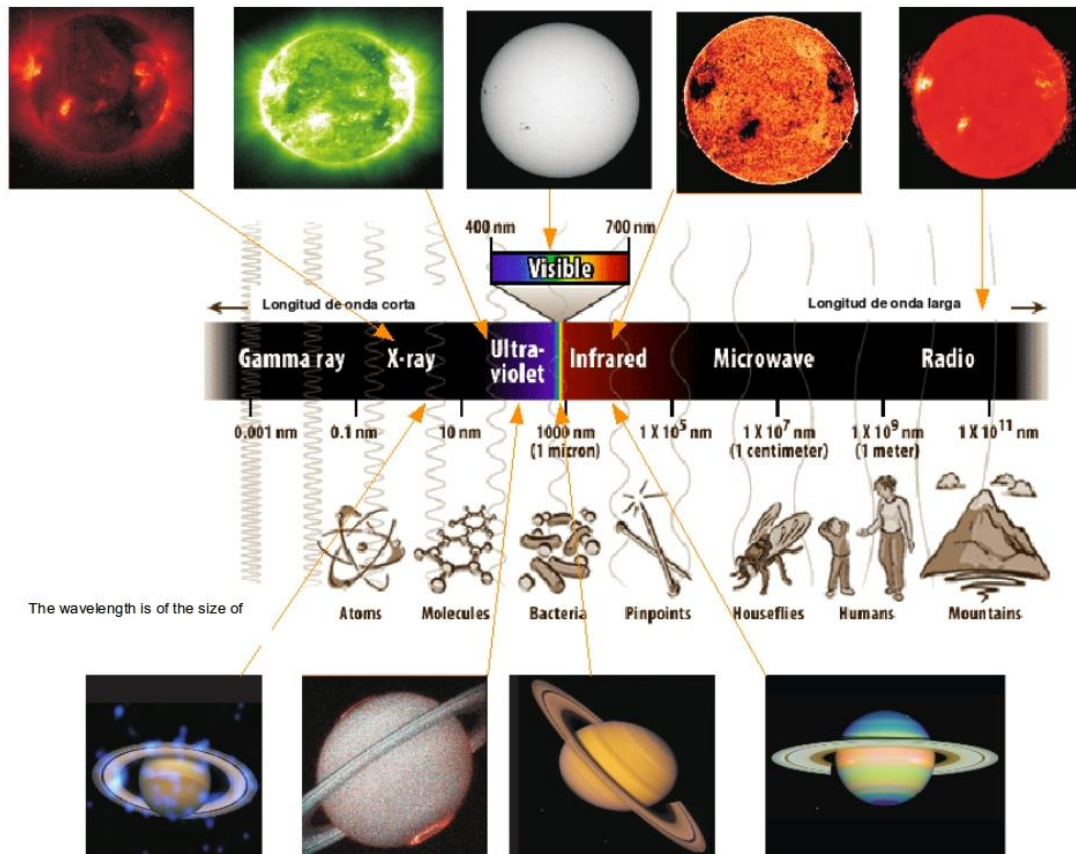


Fig. 1: Spectre électromagnétique, avec des objets de la taille de ces ondes. Le Soleil (ci-dessus) et Saturne (bas) observés à différentes longueurs d'onde (les couleurs sont simulées).



Fig. 2: Le centre de notre galaxie de la voie lactée imagée à différentes longueurs d'onde

Dans la figure 2, vous pouvez voir des images du centre de notre galaxie, des images prises par le télescope spatial Spitzer, Hubble (visible), et Chandra (rayons X). Dans chacune des trois images, vous pouvez voir des détails et des objets invisibles dans d'autres longueurs d'onde.

Activité 2: Construction d'un spectromètre

La lumière blanche d'une ampoule à filament est composée de toutes les couleurs, tandis que la lumière d'une lampe à gaz n'a que certaines couleurs dans sa composition. En séparant les couleurs dont est composée la lumière, c'est le spectre de la lumière qui, dans le cas des gaz, ne se compose que d'une multitude de lignes colorées. Chaque type de gaz a son spectre représentant le "code à barres" des composants du gaz. En regardant un spectromètre de lumière d'une galaxie lointaine, les lignes de l'hydrogène et d'autres gaz apparaissent déplacées au rouge.

À l'aide d'une paire de ciseaux, coupez un morceau de CD ou de DVD (figure 10a) qui n'a pas d'étiquette. Si vous utilisez un DVD, séparez la couche supérieure de la partie inférieure du DVD (vous aurez peut-être besoin d'un ciseau) et vous disposerez ainsi du réseau de diffraction. Dans le cas d'un CD, il y a une seule couche de plastique, mais la couche de métal doit être soigneusement retirée (un couteau tranchant ou une lame de rasoir peut être utile).

Copiez les modèles de la figure 11, de préférence au format A3. Couper le contour (y compris les sections blanches et courbes) et faire un trou mince dans la partie graduée. Vous n'avez pas à couper toute la partie graduée. Assemblez la boîte avec le côté noir à l'intérieur, et collez les bords. Dans le trou fourni par la section incurvée, insérez le CD ou le DVD.

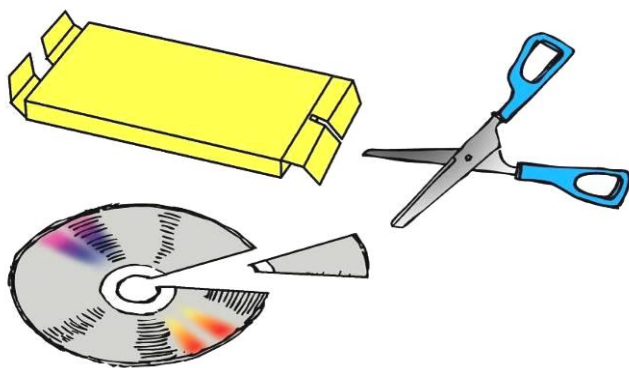


Fig. 3a: Matériel dont vous aurez besoin: DVD, ciseaux et boîte de papier.



Fig. 3b: Retrait de la couche métallique du CD, avec du ruban adhésif.

Regardez à travers le DVD et redressez la fente sur la boîte à une ampoule ou au néon (figure 4). Vous devriez remarquer les lignes d'émission de gaz dans l'ampoule. Si vous réussissez la première tentative, déplacez la fente lentement d'avant en arrière jusqu'à ce que les lignes apparaissent. L'unité pour l'échelle donnée est le nanomètre (5 correspond à 500 nm). Plus la fente est étroite, plus la mesure de la longueur d'onde est précise.



Fig. 4: Regard sur une lampe fluorescente.

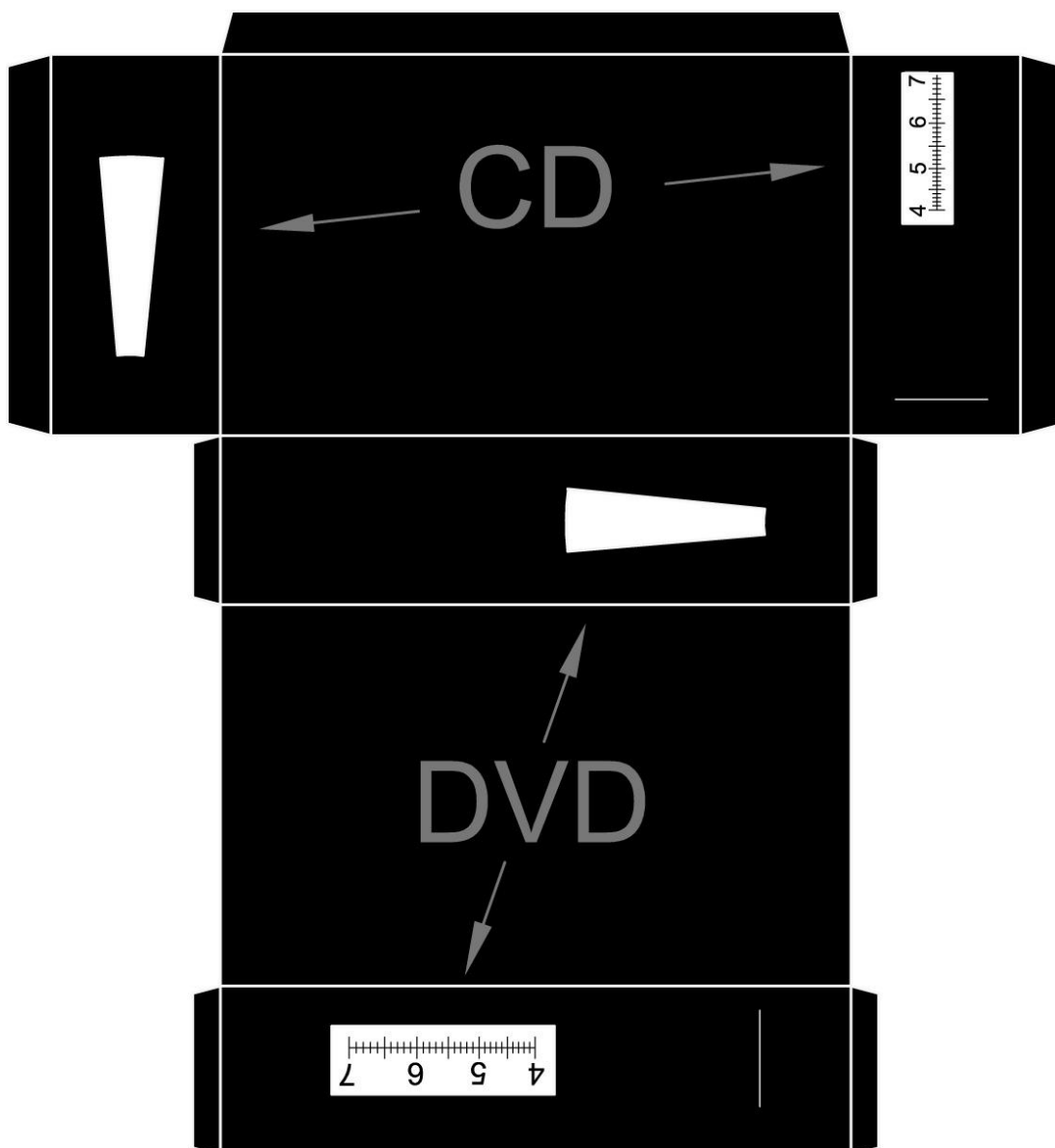


Fig. 5. Gabarit pour le spectromètre.

La boîte peut également être faite de carton, mais pour l'échelle de mesure, la forme en carton est coupée et l'échelle de papier est collée en place pour voir à travers elle. En outre, les lumières des rues peuvent être observés (lumière orange-sodium et lumière blanche-mercure). Les ampoules à incandescence classiques produiront un spectre continu.

Les plus petits élèves peuvent briser la lumière en obtenant un arc-en-ciel. Utilisez un tuyau d'arrosage avec le soleil à l'arrière (figure 6).



Fig. 6: Les élèves plus jeunes peuvent décomposer la lumière en arc-en-ciel

Qu'est-ce que le rayonnement dans l'infrarouge?

L'onde infrarouge du spectre électromagnétique a été découverte par William Herschel (découvreur d'Uranus) en 1800 à l'aide d'un prisme et d'un thermomètre. Herschel a obtenu un spectre de la lumière du Soleil qui a passée à travers un prisme optique et puis il a utilisé quatre thermomètres: un dans la région bleue du spectre, l'un dans la région rouge du spectre (deux couleurs détectables à l'oeil nu) et le troisième placé sous le rouge. Le quatrième thermomètre pour mesurer la température ambiante. En notant la température enregistrée par le troisième thermomètre (situé à « sous » « infra » rouge - le rouge d'où le nom) elle a été plus élevée que la température ambiante.

Herschel a fait d'autres expériences avec « ondes chaudes » (comme il les appelait) qui existe dans sous le spectre rouge, montrant qu'elles se reflètent, réfractées, absorbés et transmis tout comme la lumière visible. Ces "ondes chaudes" ont été désignées plus tard sous le nom de rayonnement infrarouge ou infrarouge. Ces résultats ont été suivis par d'autres, utilisés dans de nombreuses applications technologiques.

Les corps à basse température n'émettent pas dans le spectre visible, mais à des longueurs d'onde plus longues, de sorte que l'énergie libérée est plus petite. Par exemple, le corps de l'animal émette un rayonnement infrarouge, inaperçu à l'oeil nu, mais vue sous forme de chaleur dégagée par le corps. Tous les objets à différentes températures émettent dans

l'infrarouge (figures 6 et 7). Des instruments spécifiques de vision nocturne nous permettent d'enregistrer ce rayonnement.

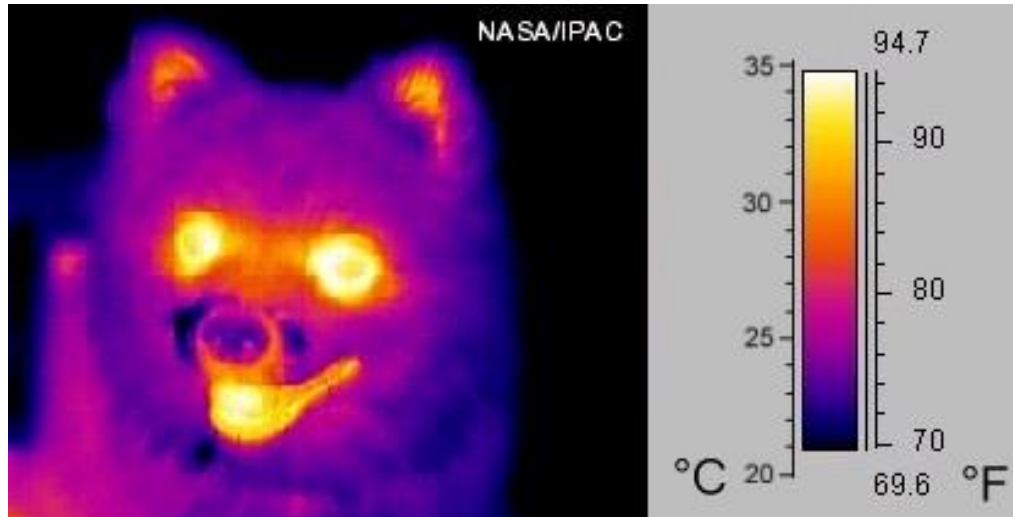


Fig. 7: Photo infrarouge. Nous distinguons les zones plus chaudes à plus froides.

Activité 3 L'expérience dans infrarouge de Herschel

Le but de cette activité est de reproduire l'expérience du Herschel en 1800, après quoi Sir William Herschel a découvert une autre forme de rayonnement en dehors de la lumière visible. Les matériaux requis sont: prisme de verre, quatre thermomètres, marqueur noir permanent, ciseaux, ruban adhésif, une boîte en carton et une feuille blanche. L'ampoule du thermomètre doit être recouverte d'un ruban adhésif de couleur noire pour mieux absorber la chaleur.

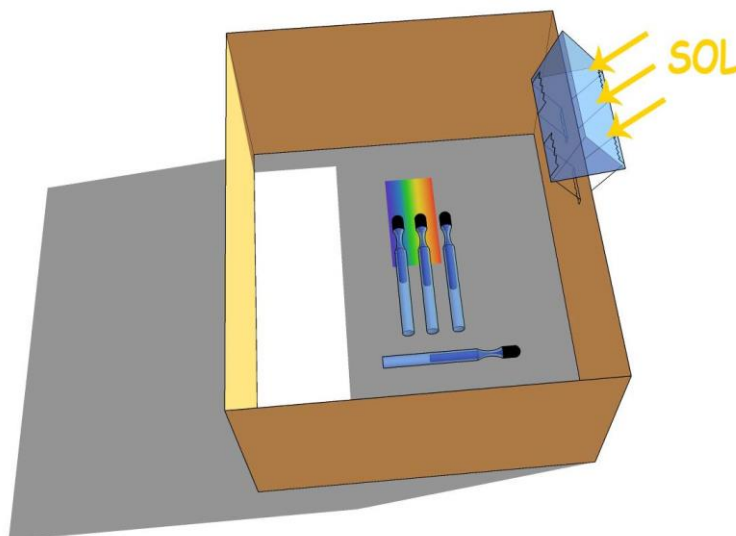


Fig. 8: Appareil Herschel. Les trois thermomètres dans le spectre marquent une température plus élevée que l'environnement.

L'expérience devrait être faite à l'extérieur dans une journée très ensoleillée. Si c'est du vent, l'expérience peut être réalisée à l'intérieur, à condition qu'il y ait une fenêtre à travers laquelle la lumière du Soleil entre directement. Placez une feuille blanche au fond de la boîte en carton. Le prisme est soigneusement placé sur le dessus de la boîte afin qu'il soit dans le Soleil. L'intérieur de la boîte doit être tout ou presque tout à l'ombre (figure 8 et 9 a), b), c)). Tourne le prisme prudemment jusqu'à ce qu'un large spectre se forme sur le fond de la boîte.

Après avoir fixé le prisme avec la bande adhésive dans la position appropriée, fixez les trois thermomètres de sorte que le bulbe des thermomètres soit sur une couleur du spectre: un dans la région bleue, un dans la région jaune et le troisième près de la région rouge visible. Les thermomètres doivent être fixés de manière à ce que l'échelle du thermomètre soit visible afin qu'ils ne bougent pas lorsque les données sont collectées. (figures 8 et 9 a), b), c))



Fig.9a: Placer les trois thermomètres, avec l'ampoule noire, et le spectre dans la partie d'ombre

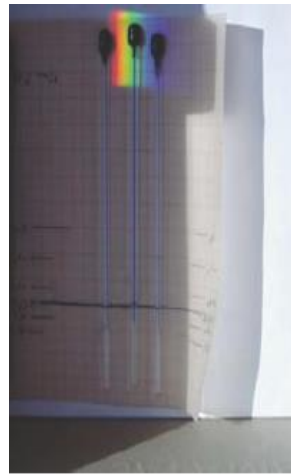


Fig.9b: Thermomètres en bleu, en jaune et en rouge juste après.

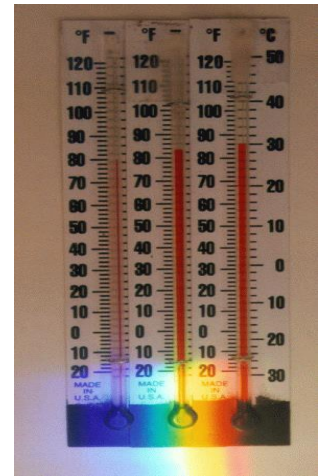


Fig.9c: Un exemple des mesures en 3 minutes. (www.spitzer.caltech.edu)

La valeur de température se stabilisera après environ cinq minutes. Chaque minute, les valeurs de température seront enregistrées dans un tableau similaire à celui ci-dessous pour chacune des trois zones ainsi que pour l'environnement ambiant. Soyez prudent de ne pas déplacer les thermomètres ou de bloquer la lumière.

Le thermomètre situé dans la zone jaune (figure 9c) devrait indiquer une température plus élevée que celle de la zone bleue et celui près de la région rouge indique une température encore plus élevée. La conclusion logique est que le thermomètre près de la région rouge absorbe un type rayonnement solaire, invisible à l'œil.

	Term. 1 en bleu	Term. 2 en jaune	Term. 3 en IR	Term 4 en ombre
Après 1 minute				
Après 2 minutes				
Après 3 minutes				
Après 4 minutes				
Après 5 minutes				

Tableau 1: Tableau des données

Activité 4: Détection des ondes IR en utilisant des méthodes de détection modernes

Les dispositifs modernes de détection du rayonnement infrarouge émis par le corps humain sont extrêmement coûteux et ne sont accessibles à personne. La télécommande du téléviseur ou le four à micro-ondes ne sont que deux exemples d'outils disponibles pour quiconque utilise le rayonnement IR. Existe-t-il un moyen de rendre le rayonnement IR facilement observable?

Pour cela, vous avez besoin d'un détecteur sensible aux IR. Un de ces dispositifs est le CCD (Charged Coupled Device). Ce dispositif, utilisé principalement en astronomie peut capturer et collecter des photons à partir d'une source dans une période de temps donnée, de sorte que l'objet qui transmet / reflète la lumière devient visible. Le CCD est plus sensible dans le spectre rouge, dans certains cas même infrarouge. Tout appareil photo moderne est basé sur un CCD, ce qui vous permet de photographier dans de mauvaises conditions d'éclairage. L'appareil photo le plus pratique avec un appareil photo intégré, un dispositif CCD, est le téléphone mobile.



Fig. 10a: Oeil nu activé à distance.



Fig. 10b Télécommande activée par téléphone portable.

En regardant la télécommande du téléviseur à l'œil nu, il n'y a pas de différence entre la télécommande allumée et éteinte (figure 10a). Mais en prenant un appareil photo, en utilisant le téléphone portable, la télécommande activée (figure 10b) ... surprise! L'instrument utilisé pour transmettre des signaux à la télévision ou à d'autres équipements électroniques utilise la lumière infrarouge, une lumière qui est invisible à l'œil nu mais qui devient visible par l'appareil photo.

Activité 5. Détection du rayonnement infrarouge d'une ampoule

La plupart des corps célestes émettent dans de multiples longueurs d'onde. S'il y a de la poussière ou du gaz interposé entre le corps céleste et l'observateur, certaines longueurs d'onde seront bloquées. Par exemple, la poussière au centre de notre galaxie nous empêche de voir une forte lumière provenant des millions d'étoiles qui s'y concentrent. Si la poussière est transparente aux rayons infrarouges, elle peut être détectée depuis la Terre. La même chose se produit avec n'importe quel nuage de poussière dans notre galaxie (figure 11a et 11b).

Une ampoule à incandescence émet principalement le spectre visible, mais émet également des infrarouges. Le rayonnement infrarouge peut traverser des matériaux opaques au spectre visible.



Fig. 11a: Nuage de poussière dans le visible

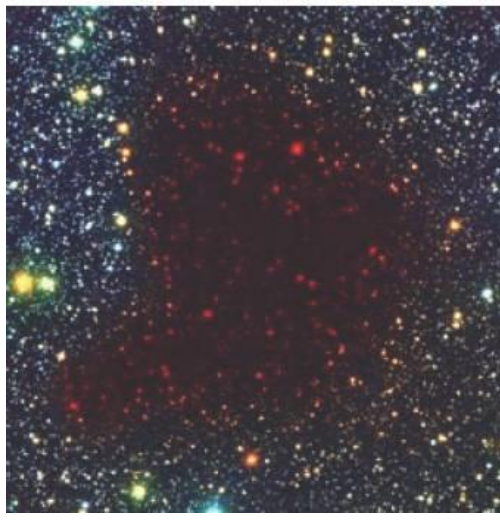


Fig. 11b: En superposant la vision infrarouge

Nous pouvons utiliser une lampe de poche et un tissu en feutre pour bloquer la lumière visible. Dans une pièce sombre, la torche s'allume et est couverte de feutre. Si nécessaire, deux ou trois couches de feutre peuvent être utilisées; cependant, si trop de couches sont utilisées, le rayonnement infrarouge peut également être bloqué. En utilisant une caméra dans la pièce sombre, la lampe de poche peut être distinguée (figure 12a et 12b).



Fig. 12a et 12b: Le feutre bloque complètement la lumière visible mais pas l'infrarouge.

Activité 6: Constellations avec lumière infrarouge

Dans les magasins d'électronique ou en ligne, peuvent être achetés les LED infrarouges, similaires à ceux utilisés pour la télécommande du téléviseur. Elles ne coûtent pas cher (environ 0,2 euro). Elles fonctionnent avec des piles de 3 ou 9 V ou avec une alimentation CC. Elles sont connectées en parallèle avec une résistance comprise entre 100 et 500 Ω .

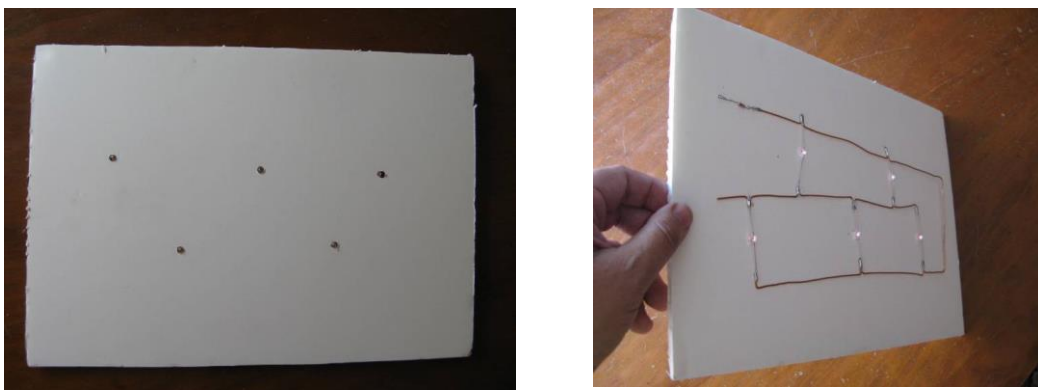


Fig. 13a et 13b: Cassiopée réalisée avec des leds infrarouges. Ils sont connectés en parallèle.

Vous pouvez créer un circuit en utilisant ces LED sous la forme d'une constellation: Cassiopée (figures 13a et 13b), Orion ou la Croix du Sud par exemple. En utilisant une caméra, ces constellations infrarouges peuvent être vues.

Activité 7. Constellations à l'aide de la télécommande

Une tâche beaucoup plus facile que la précédente est de former une constellation en utilisant quelques télécommandes infrarouges. Si elles sont photographiées dans une pièce sombre, vous pouvez voir la constellation formée (figure 14a et 14b).

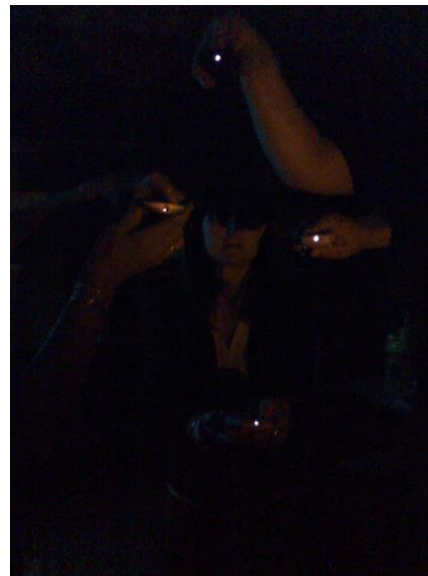


Fig. 14a et 14b: Réalisation de la constellation de la Croix du Sud avec télécommandes

L'énergie électromagnétique dans la zone radio

Le rayonnement électromagnétique avec des longueurs d'onde allant du mètre au kilomètre s'appelle le rayonnement radio (ondes radio). Les ondes radio sont utilisées à des fins commerciales (télécommunication) mais atteignent nous et l'espace, révélant ce que d'autres longueurs d'onde échouent (figure 15a, 15b et 15c).

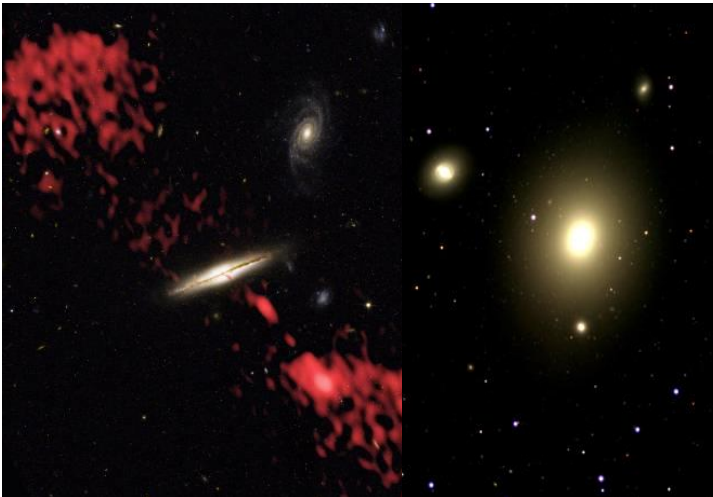


Fig. 15a: Cette galaxie émet des jets détectables uniquement à la radio (rouge artificiellement coloré).



Fig. 15b: Photographie de la galaxie NGC 4261 dans le visible.

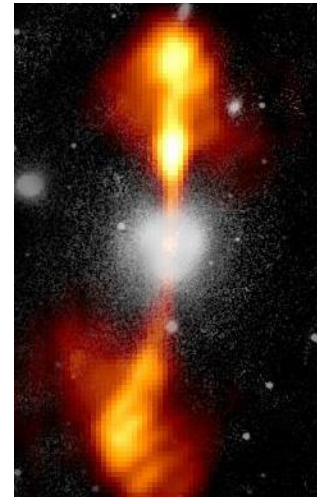


Fig. 15 c: La même galaxie avec l'image radio superposée. Il y a quelques jets de matière artificiellement colorés en rouge.

Il y a beaucoup de sources radio dans l'univers: le centre de notre galaxie, des étoiles à neutrons ou même des planètes comme Jupiter.

Activité 8: La production d'ondes radio

Lorsque vous ouvrez et fermez un circuit électrique, les ondes radio sont produites similaires à celles produites dans le commerce. Il est possible de les capturer avec une radio AM et de les transformer en son, ce qui est un autre type d'ondes. La puissance de ces émissions radio diminue lorsque le récepteur s'éloigne de la source. Les ondes radio peuvent traverser tous les obstacles, même à travers les murs.

Pour ce faire, nous prenons deux morceaux de câble d'environ 20 cm chacun. Retirez l'isolation aux deux extrémités de l'un des câbles. Pour l'autre câble, enlevez l'isolation à une extrémité, laissez environ 10 cm d'isolation, enlever le reste de l'isolation. À la fin sans isolation, le fil se rassemblera sous la forme d'une boule. L'autre extrémité se connecte à une batterie 9V.

Utilisez un crayon pointu sur les deux extrémités. Le crayon avec graphite sera utilisé comme source de rayonnement radio. À une extrémité du crayon, connectez le premier morceau de fil, en le fixant avec de bande isolant. L'autre extrémité est connectée au fil connecté à la batterie (figure 16).

La radio ouverte dans la bande AM (pas FM). Avec la pointe libre du stylo, frappe la balle de fil. Changer la fréquence de la radio jusqu'à ce qu'il sonne sur la radio comment toucher la boule de fil. Il peut essayer de mettre différents obstacles entre l'émetteur et la radio, il peut même déplacer la radio vers une autre pièce pour vérifier si elle reçoit des ondes radio ou non.



Fig. 16: Production d'ondes radio.

Activité 9: Écouter la voix de Jupiter

Jupiter émet des ondes radio à différentes fréquences. Leur origine est encore incertaine, mais ils semblent être liés au champ magnétique de Jupiter ainsi qu'à l'interaction de la planète avec le satellite Io. La transmission est dans la bande de fréquences 18-22 MHz, avec un maximum

à 21 MHz. Ces valeurs sont disponibles pour de nombreux récepteurs domestiques. Vous devez avoir une radio à ondes courtes (SW) pour recevoir des ondes radio à ces valeurs.

Les émissions de Jupiter ne sont pas continues. Jupiter a trois jets plus ou moins égaux (émissions) qui tournent avec la planète toutes les 10 heures. Ces jets (émissions) ne sont pas toujours actifs, il faut donc beaucoup de patience pour les capturer. Pour les recevoir, il faut une radio à ondes courtes, positionnée sur des fréquences comprises entre 18 et 22 MHz, où il n'y a pas de bruit de fond. Les sons capturés ressemblent au bruit des vagues de l'océan sur la plage (ou rafales de vent) capturé par une fréquence d'environ trois par seconde. La force du signal augmente jusqu'à un maximum qui peut prendre entre quelques secondes et quelques minutes, puis diminue progressivement. Par expérience, si vous écoutez pendant 20 minutes, il y a une chance de six pour entendre les ondes radio de Jupiter. Bien sûr, Jupiter doit être à l'horizon, mais peu importe s'il y a des nuages ou pas.

Une antenne radio est adaptée pour capturer les ondes émises par Jupiter, mais captera les ondes radio provenant de toutes les directions. Pour améliorer la réception et s'assurer que le signal capturé provient de Jupiter, nous avons besoin d'une antenne unidirectionnelle. Cela peut être fait comme suit: prendre 165 cm de fil de cuivre et faire un cercle avec celui-ci sans le fermer. Le fil est mis sur quatre bâtons de 30 cm de long chacun. Couvrir un morceau de bois avec une forme carrée (60x60 cm) d'un côté avec du papier d'aluminium. Les quatre bâtons sur lesquels repose le fil de cuivre sont fixés à la pièce de bois. Nous y lions le cercle de cuivre tenu par les quatre bâtons. Prenez un câble coaxial et divisez-le de sorte que le côté interne se connecte au fil de cuivre et le côté extérieur à la feuille d'aluminium. L'autre extrémité se connecte à la radio pour écouter les ondes radio reçues. Enfin, la nouvelle antenne se dirige vers Jupiter.

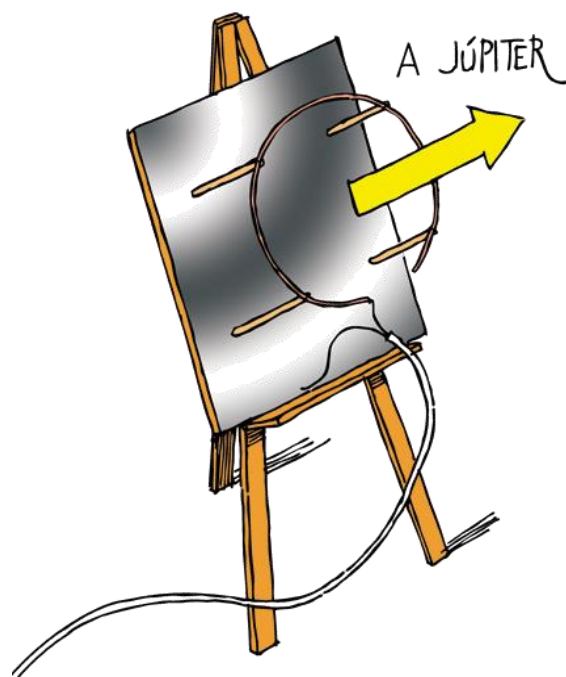


Fig. 17: Antenne pour écouter Jupiter.

Lumière ultraviolette

Les photons du rayonnement ultraviolet ont beaucoup plus d'énergie que ces de la lumière visible. Par conséquent, en grandes quantités (à longue exposition), ils peuvent détruire les liaisons chimiques des molécules organiques, ce qui est mortel à la vie. En raison de ces propriétés, le rayonnement ultraviolet est utilisé pour stériliser les ustensiles chirurgicaux.

Le soleil émet des rayons ultraviolets, mais heureusement, l'atmosphère terrestre (en particulier la couche d'ozone) filtre la plus grande partie du rayonnement ultraviolet, arrivant chez nous seulement la quantité nécessaire pour maintenir la vie. En raison du rayonnement ultraviolet, la peau est bronzée lors de l'exposition au Soleil, mais une exposition trop longue peut provoquer un cancer de la peau. Pour les usines de photosynthèse, on utilise également le rayonnement ultraviolet. Cependant, si la couche d'ozone est plus mince, la Terre recevra trop de rayonnement UV et l'incidence des maladies liées au cancer augmentera considérablement.

Activité 10: Lumière noire (UV)

Il y a des ampoules noires ultraviolettes, qui sont souvent utilisées pour faire pousser des plantes dans des serres ou des endroits légèrement éclairés. Le verre de ces ampoules est souvent presque noir, émettant une très petite quantité de lumière bleue visible. Certaines usines de textile utilisent des agents de blanchiment pour les matériaux blancs qui reflètent cette lumière dans un violet lumineux. C'est pourquoi ce type d'éclairage est utilisé dans les discothèques, où les tissus blancs deviennent brillants.

Cette propriété est également utilisée pour fabriquer le papier de la plupart des billets de banque: des lignes fluorescentes peuvent être vues dans le rayonnement UV (figure 18). C'est pourquoi les billets de banque sont difficiles à simuler. Les détecteurs de billets de banque contrefaits sont basés sur le rayonnement ultraviolet (figure 19). De nombreux documents officiels ont également des signes visibles uniquement avec les UV.



Fig. 18: Une note de 50 € illuminée par des rayons UV, montre de petites bandes fluorescentes marquées ici par des flèches.



Fig. 19: Détecteur de faux billets, qui utilise la lumière ultraviolette

Rayons X

Le rayonnement X est chargé avec encore plus d'énergie que les UV. Il est utilisé en médecine en radiologie (figure 20a).



Fig. 20a: Rayons X utilisés en médecine. Fig. 20b: Galaxy M81 avec le noyau photographié en rayons X, suggérant la présence d'un trou noir très massif

Dans l'Univers, les rayonnements X sont spécifiques aux événements à très forte consommation / libération d'énergie: trous noirs, quasars, supernovae, etc. La mission du télescope spatial Chandra est de détecter et de surveiller de tels objets / événements (figure 20b).

Rayonnement gamma

À la fin du spectre, avec des longueurs d'onde plus courtes que le rayonnement X, il y a le rayonnement gamma. C'est le rayonnement le plus chargé d'énergie. Il existe différentes sources dans l'Univers (figure 21a). Des éruptions violentes émettant de grandes quantités de rayonnement gamma sont détectées assez fréquemment pendant plusieurs minutes ou plusieurs heures.

Ayant une faible longueur d'onde, la source de rayonnement est assez difficile à identifier avec précision. Des noyaux actifs galactiques, des pulsars et des supernovae ont été identifiés jusqu'à présent comme émetteurs de rayonnement gamma. Sur la Terre, le rayonnement gamma est émis par la plupart des éléments radioactifs. Comme le rayonnement X, le rayonnement gamma est utilisé en imagerie médicale (figure 21b) ainsi que dans des thérapies pour des maladies telles que le cancer.

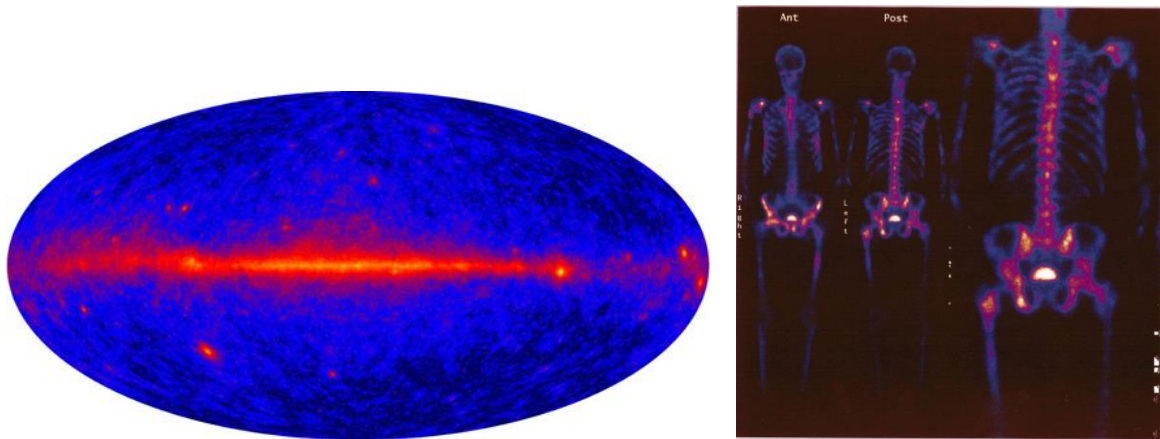


Fig. 21a: Carte de l'Univers vue par le «Télescope Spatial Gamma-Ray de Fermi» La ligne centrale est notre galaxie Fig. 21b: Scintigraphie osseuse avec gamma du corps humain

Bibliographie

- Mignone, C., Barnes, R., More than meets the eye: how space telescopes see beyond the rainbow, Science in the School, Eiro Forum, 2014
- Moreno, R, *Experimentos para todas las edades*, Ed. Rialp. Madrid 2008.

Sources Internet

- Spitzer Telescope, Educacion, California Intitute of Technology.
<http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/index.shtml>
- http://www.scienceinschool.org/2014/issue29/EM_Astronomy
- <https://www.khanacademy.org/science/cosmology-and-astronomy/universe-scale-topic/light-fundamental-forces/v/introduction-to-light>
- Chandra X-ray Observatory <http://chandra.harvard.edu/about/>
- The Fermi Gamma-ray Space Telescope <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>