

Astronomia fora del visible

Beatriz García, Ricardo Moreno

International Astronomical Union, Universidad Tecnológica Nacional (Argentina),
Colegio Retamar (España)

Resum

Els objectes celestes irradien en moltes longituds d'ona de l'espectre electromagnètic, però l'ull humà només distingeix una part molt petita d'ell: la regió del visible. Hi ha formes de demostrar l'existència de formes de radiació electromagnètica que no veiem, mitjançant experiments senzills. En aquesta presentació serà possible introduir-se en aquelles observacions més enllà del que és observable a ull nu o amb un telescopi que pot usar-se en una escola de primària o secundària.

Objectius

Aquesta activitat pretén mostrar certs fenòmens més enllà del que pot ser observable amb un telescopi d'afecionat com són l'existència de:

- Energia electromagnètica en què els cossos celestes emeten i que el nostre ull no pot detectar. Per aquesta raó, amb només la part visible de l'espectre no tenim una imatge total de l'Univers.
- Emissions no visibles en les regions de les ones de ràdio, infraroig, ultraviolat, microones i raigs X.

Espectre electromagnètic

Les ones electromagnètiques cobreixen una àmplia gamma de freqüències o de longituds d'ones i poden classificar-se segons la seva principal font de producció. La classificació no té límits precisos. El conjunt de totes les longituds d'ona es diu espectre electromagnètic.

A la figura 1 es mostren les diferents regions de l'espectre, amb les seves diferents longituds d'ona. S'indica la mida entre les crestes de l'ona (longitud d'ona λ) i alguns objectes d'aquestes mides: àtoms, mosques, muntanyes ... per fer-nos una idea de les dimensions de les ones. A la mateixa figura és possible apreciar com es "veuen" el Sol i Saturn si els observem en longituds d'ona que els nostres ulls no poden detectar. Aquestes fotografies s'han fet amb detectors especials sensibles a aquestes longituds d'ona.

A l'Univers, hi ha material que està a temperatures molt més baixes que la de les estrelles, per exemple, núvols de material interestel·lar. Aquestes núvols no emeten radiació visible, però sí que poden ser detectades en longituds d'ona llarga, com l'infraroig, les microones i les ones de ràdio. Observar l'Univers en totes les regions de l'espectre electromagnètic, el que els astrònoms anomenen "observació multi longitud d'ona", ens permet tenir una imatge molt més precisa de la seva estructura, temperatura i energia, i confeccionar models molt més realistes vinculats amb la seva evolució .

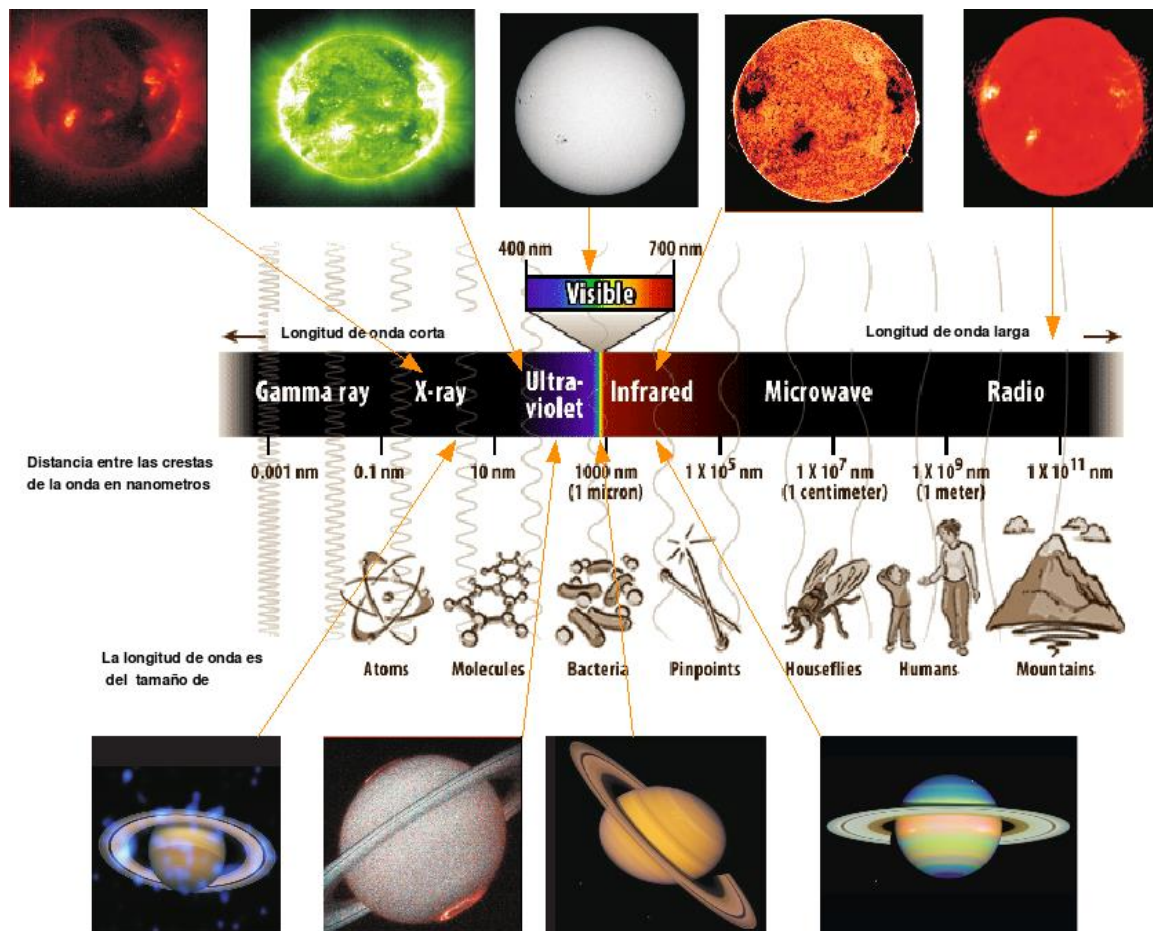


Fig. 1: Espectre electromagnètic, amb objectes de la mida d'aquestes ones. El Sol (a dalt) i Saturn (a baix) observats en diferents longituds d'ona (els colors són simulats).



Fig. 2: El centre de la nostra galàxia la Via Làctia fotografiat en diferents longituds d'ona

A la figura 2 s'observa el centre de la nostra galàxia la Via Làctia fotografiat pels telescopis espacials Spitzer (en infraroig), Hubble (en visible) i Chandra (en raigs X). En cadascuna d'ells s'observen objectes i detalls que en altres longituds d'ona no es veuen.

Activitat 1: Construcció d'un espectroscopi

La llum blanca d'una bombeta amb filament està composta de tots els colors. En les bombetes que tenen gas (tubs fluorescents, bombetes de baix consum i de fanals) la llum només conté uns colors determinats. Si separem els colors de la llum, obtenim el seu espectre, que en el cas dels gasos està format per un conjunt de línies de colors. Cada tipus de gas té un espectre propi, que és com l'empremta digital dels compostos que hi ha al gas. Si observem amb un espectroscopi la llum d'una galàxia llunyana, les línies pròpies de l'hidrogen i de la resta de gasos es veuen desplaçades cap al vermell, molt més com més lluny estigui la galàxia.

Pren un CD o un DVD (figura 3a), amb unes tisores fortes talla de forma radial un tros. Si fas servir un CD, ha de ser platejat per la cara que no es grava, és a dir, no ha d'estar imprès, ni ser blanc ni d'un altre color. Per desprendre la capa metàl·lica del CD, pots servir-te de cinta adhesiva, ratllant prèviament la superfície (figura 3b). Si fas servir un DVD, l'anterior no és necessari: només cal separar en el tros tallat la capa de plàstic superior de la inferior doblegant lleugerament o amb l'ajuda d'un tornavís, i tindràs la xarxa de difracció preparada.

Fes una fotocòpia en paper de la plantilla de la figura 4. Si ho fas en grandària A3 serà més precís. Retalla la plantilla, incloent la part blanca en forma de sector circular, i fes una escletxa fina a la ratlla propera a l'escala graduada. Aquesta escala NO cal retallar-la. Arma la caixa deixant la part negra a l'interior, i enganxa les solapes. En el buit deixat pel sector circular, enganxa el tros de CD o DVD que hem preparat. Està imprès "CD" i "DVD", per retallar un o altre sector circular i escletxa, segons el tipus de disc.

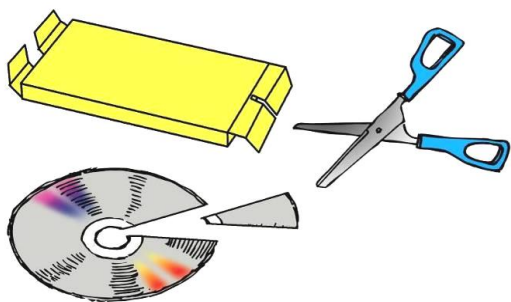


Fig. 3a: Material necessari: DVD, tisores i caixa de cartró Fig. 3b: Retirant la capa metàl·lica de el CD, amb cinta adhesiva

Mira a través del tros de disc, dirigint l'escletxa de la caixa (no l'escala) a un llum de baix consum o un tub fluorescent (figura 5), veuràs clarament sobre l'escala les línies d'emissió dels gasos que contenen aquestes bombetes. Si no les veus, mira a la dreta del llum i mou el espectroscopi lentament cap a l'esquerra fins que apareguin les línies. L'escala està graduada en centenars de nanòmetres, és a dir, la marca 5 indica 500 nm ($500 \cdot 10^{-9}$ m). Com més fina sigui l'escletxa, amb més precisió podràs mesurar la longitud d'ona de les ratlles.

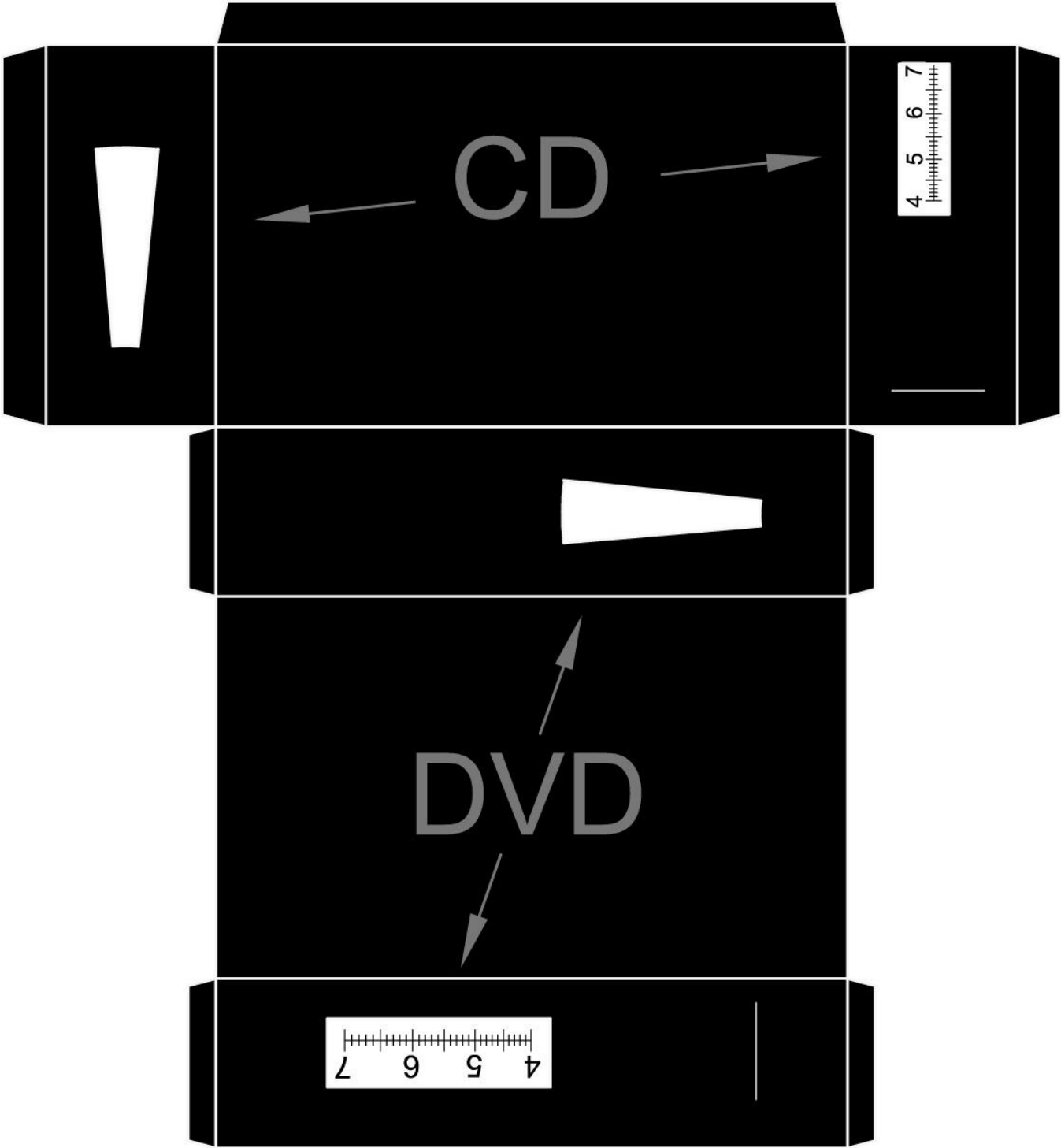


Fig. 4: Plantilla per a l'espectroscopi



Fig. 5: Mirant a un fluorescent

Pots fer la caixa amb cartolina. En aquest cas hauràs retallar el rectangle de l'escala i enganxar sobre aquest buit una còpia de l'escala feta en paper normal, perquè es pugui transparentar l'escala.

Es poden mirar els fanals dels carrers, tant les taronges (de sodi) com les blanques (de vapor de mercuri). Les bombetes incandescentes tradicionals ofereixen un espectre continu

Els alumnes més petits poden descompondre la llum i fer un arc de Sant Martí. Necessiten una mànega amb difusor, i posar-se amb el Sol darrere (figura 6).



Fig. 6: Els alumnes més petits poden descompondre la llum en un arc de Sant Martí

El Infraroig

La regió infraroja de l'espectre electromagnètic va ser descoberta per William Herschel (el descobridor del planeta Urà) al 1800 utilitzant un prisma i uns termòmetres. Per a això va obtenir l'espectre visible, fent passar la llum blanca del Sol a través d'un prisma i va col·locar diversos termòmetres, un a la regió del blau, un altre en el vermell (tots dos colors detectables per l'ull) i va posar un tercer termòmetre més enllà del vermell, immediatament després. Amb

un quart termòmetre va mesurar la temperatura ambient i va descobrir que la temperatura que marcava el termòmetre a la zona "per sota" del vermell (i d'aquí el seu nom "infra" vermell) era major que la de l'ambient.

Herschel va fer altres experiments amb els "rajos calorífics" (com els deia) que existien més enllà de la regió vermella de l'espectre: eren reflectits, refractats, absorbits i transmesos igual que la llum visible. Aquests "rajos calorífics" van ser posteriorment anomenats raigs infrarojos o radiació infraroja. Aquests descobriments van ser seguits d'altres que van desembocar en diverses aplicacions tecnològiques.

Els cossos que es troben a baixa temperatura no emeten en la regió visible de l'espectre, sinó en longituds més llargues de manera que l'energia que alliberen és menor. Per exemple, el nostre cos i el dels animals emeten una radiació infraroja que no la detectem amb l'ull, però que podem percebre com la calor que emet l'organisme. Tots els objectes que estiguin a certa temperatura emeten en infraroig (figures 7). Per veure'ls de nit van ser inventats les ulleres de visió nocturna, que permeten detectar aquesta radiació que no percep l'ull.

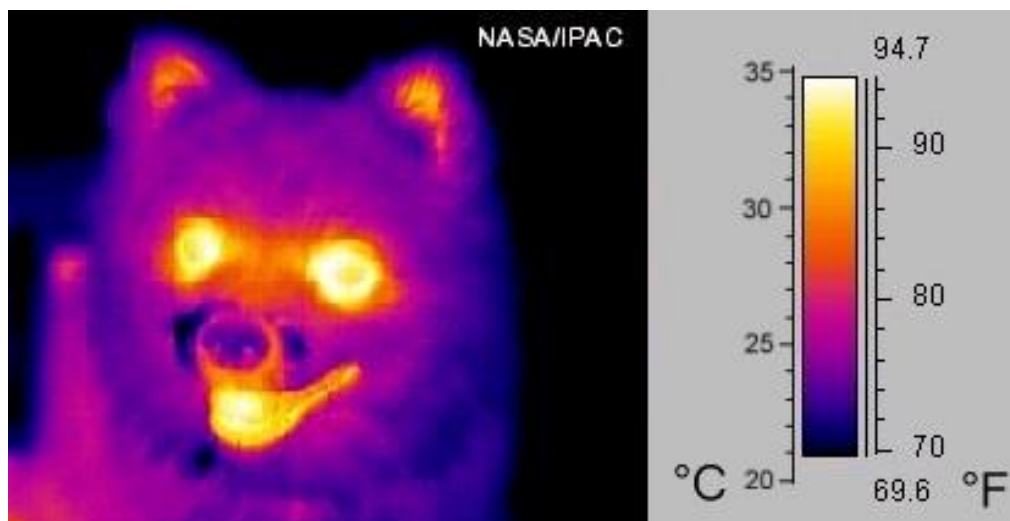


Fig. 7: Fotografia amb infrarojos. Es distingeixen zones més o menys calents

Activitat 2: Experiment de Herschel a la banda IR

L'objectiu és repetir l'experiment de 1800, mitjançant el qual el famós astrònom William Herschel va descobrir una forma de radiació diferent de la llum visible. Ens caldrà un prisma de vidre, quatre termòmetres, retolador permanent de tinta negra, tissors, cinta adhesiva, una caixa de cartró i un full blanc. Posem cinta adhesiva en els bulbs dels termòmetres i els pintem amb retolador negre perquè absorbeixin millor el calor.

L'experiment s'ha de realitzar a l'aire lliure, en un dia MOLT assolellat. Si hi ha molt vent, l'experiència pot fer-se a l'interior, sempre que tingui una finestra per on el Sol ingressi de manera directa. Es col·loca un full blanc, al fons de la caixa de cartró. El prisma es col·loca amb cura en la vora superior de la caixa, de manera que quedi de la banda de el Sol. L'interior de la caixa ha de quedar tot o gairebé tot en ombra (figures 8 a 9c). Es gira el prisma

acuradament fins que aparegui un espectre el més ampli possible sobre el full situada al fons de la caixa

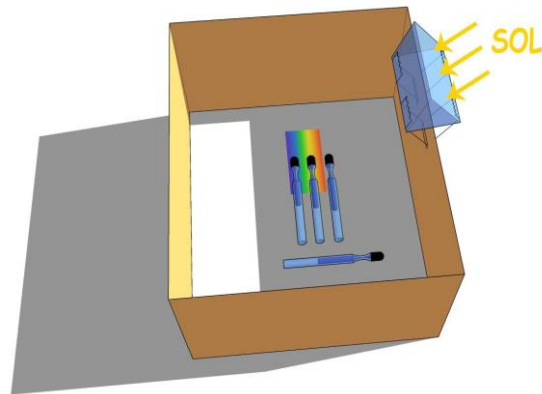


Fig. 8: Dispositiu de Herschel. Els tres termòmetres en l'espectre marquen major temperatura que l'ambient.

Després d'assegurar amb cinta adhesiva el prisma en aquesta posició, col·loquem 3 termòmetres a la llum de l'espectre, de manera que cada bulb estigui en un dels colors: un a la regió blava, un altre a la groga i el tercer una mica més enllà de la regió vermella visible. S'ha de poder veure bé l'escala graduada, per no moure el termòmetre quan prenguem les mesures. El quart termòmetre el posem a l'ombra, no alineat amb els anteriors (figures 8 a 9c).



Fig.9a: Situant els tres termòmetres, amb el bulb negre, i l'espectre en la part de l'ombra.

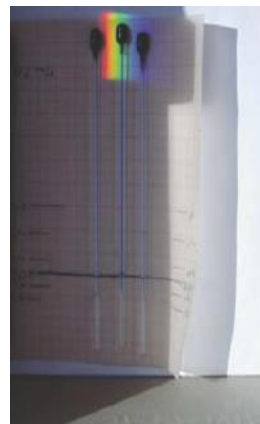


Fig.9b: Els termòmetres en el blau, al groc i just després del vermell.

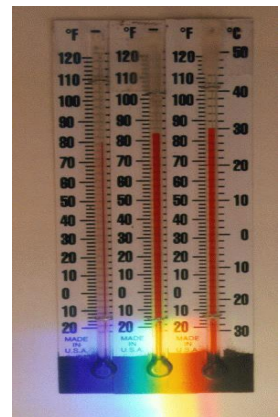


Fig. 9c: Un exemple de les mesures als 3 minuts.

Les temperatures triguen uns cinc minuts en assolir els seus valors finals. Registrem cada minut a la taula (veure taula 1), les temperatures en cadascuna de les tres regions de l'espectre i en el d'ambient. No hi ha de moure els termòmetres de la seva posició en l'espectre ni bloquejar la seva llum.

El termòmetre en el groc (figura 9c) hauria de marcar una temperatura una mica més gran que en el blau, i en el de l'ambient, i el que estigui a prop del vermell hauria de marcar una temperatura encara una mica més gran, de manera que és lògic deduir que a el termòmetre al costat del vermell li arriba algun tipus de radiació del Sol, invisible a la nostra vista.

	Termòmetre n° 1 en el blau	Termòmetre n° 2 en el groc	Termòmetre n° 3 més allà del roig	Termòmetre n° 4 a l'ombra
Després de 1 minuto				
Després de 2 minuts				
Després de 3 minuts				
Després de 4 minuts				
Després de 5 minuts				

Tabla 1: Taula de presa de dades

Activitat 3: Detecció del IR amb un instrument tecnològic modern

Si volem detectar l'IR amb instruments tecnològics moderns, probablement el primer que ve al cap són els visors nocturns, preparats per veure el infraroig que emeten els nostres cossos. Però aquest no és un recurs a l'abast de qualsevol. Vegem un procediment més econòmic i fàcil de reproduir.

Els comandaments a distància que fem servir per encendre el televisor, l'equip de música o al microones utilitzen raigs infrarojos (els que tenen una bombeta vermella no ens serveixen). Hi haurà una manera senzilla de veure aquesta radiació no visible i que de sobte es converteixi en detectable?

Per això hem de buscar un detector sensible a l'IR. Hi ha un producte tecnològic d'envergadura, que es deu a el desenvolupament de l'estudi de la llum en Astronomia, anomenat CCD (segons les inicials de la seva denominació en anglès: Charged Coupled Device). Aquest dispositiu permet capturar i acumular fotons durant un període de temps determinat, de manera que podem detectar objectes que emeten o reflecteixen poca llum. El CCD és més sensible a la regió del vermell i, en alguns casos, el seu rang d'eficiència cobreix l'IR proper. Qualsevol càmera o càmera de vídeo moderna posseeix un CCD per a l'adquisició d'imatges. Això permet fer fotos en condicions de molt baix nivell d'il·luminació. El dispositiu més senzill, d'ús quotidià, que posseeix una càmera moderna i per tant un detector CCD, és el telèfon mòbil.

Si mirem el control remot amb els nostres ulls de manera directa, no advertirem cap diferència entre encès i apagat, com a la figura 10a. Però si prenem la foto amb el mateix telèfon mòbil, i amb el control remot activat (figura 10b) ... Sorpresa! La llum que utilitza el control per enviar el senyal que encén el televisor o qualsevol altre equip electrònic, és una llum infraroja, que el nostre ull no veu però la càmera del telèfon mòbil si detecta. El color d'aquesta llum és color fals.



Fig. 10a: Control remot encès si ho mirem a simple vista



Fig. 10b: Control remot si ho mirem a través del telèfon mòbil

Activitat 4: Detecció de la llum infraroja d'una bombeta

La majoria dels cossos de cel emeten en moltes longituds d'ona. Si entre ells i nosaltres hi ha pols o gas, algunes longituds d'ona poden quedar bloquejades, però d'altres no. Per exemple, la pols que hi ha al centre de la nostra galàxia ens impedeix veure la intensa llum visible produïda per la concentració de milions d'estrelles que hi ha. Si això aquest pols és transparent a la llum infraroja, que aconsegueix travessar-la i arribar fins a nosaltres. Passa el mateix amb altres núvols de pols fosca en la nostra galàxia (figures 11a i 11b).



Fig. 11a: Núvol de pols a la regió visible

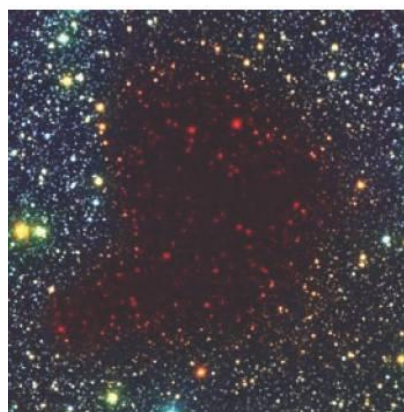


Fig. 11b: Superposant la visió infraroja

A les emissions d'una bombeta de filament incandescent, la major part de l'energia que emet és a la regió visible, però també emet en infraroig, que pot travessar el que el visible no pot. Utilitzarem una llanterna i un tros de tela de feltre. Aquesta tela no està teixida i bloqueja especialment bé la llum visible.

En una habitació a les fosques, encenem la llanterna. A continuació la tapem amb el feltre i vam comprovar que no veiem la seva llum. Si no és així, posem una altra capa de feltre (el

podem doblgar) o fins i tot una tercera. No convé posar més de les necessàries, ja que es pot bloquejar també tota la radiació infraroja. En aquesta habitació el més a les fosques possible, si l'observem amb la càmera de fotos del nostre telèfon mòbil, que capta la radiació infraroja, veiem que sí es distingeix la bombeta (figures 12a i 12b).

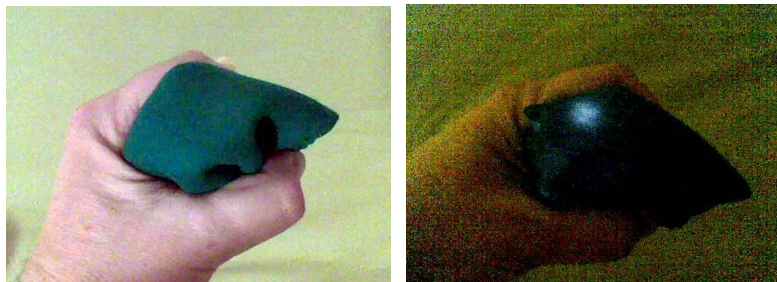


Fig. 12a y 12b: El filtre bloqueja totalment la llum visible però no la infraroja

Activitat 5: Constel·lació amb infrarojos

A les botigues de components electrònics o a Internet, venen LEDs infrarojos, similars als que fan servir els comandaments a distància de TV, aparells de música, etc. Són molt barats, funcionen amb una pila de 3 o 9 v, o amb un alimentador de corrent continu. Es connecten entre si en paral·lel, amb una resistència entre 100 i 500 W.

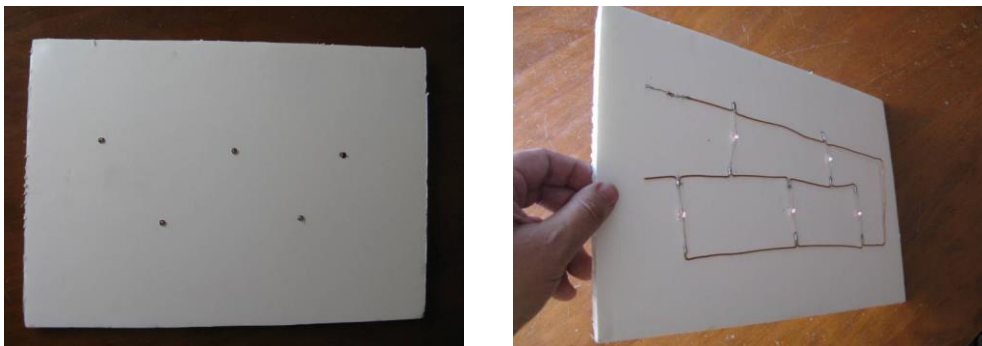


Fig. 13a y 13b: Cassiopea feta amb LEDs infrarojos connectades en paral·lel

Pots fer un petit circuit amb diversos LEDs, formant una constel·lació coneguda, per exemple Cassiopea (figures 13a y 13b), Orió, la Creu del Sud o l'Óssa major (Segons sigui el cel que veus des de l'hemisferi on vius). Observada amb la càmera de fotos del telèfon, pots veure-la en l'infraroig.

Activitat 6: Constel·lació amb comandaments a distància

Més fàcil que l'anterior és formar entre diverses persones una constel·lació coneguda amb comandaments a distància infrarojos. Si se les observa a les fosques amb una càmera digital, es veu la constel·lació (figures 14a i 14b).

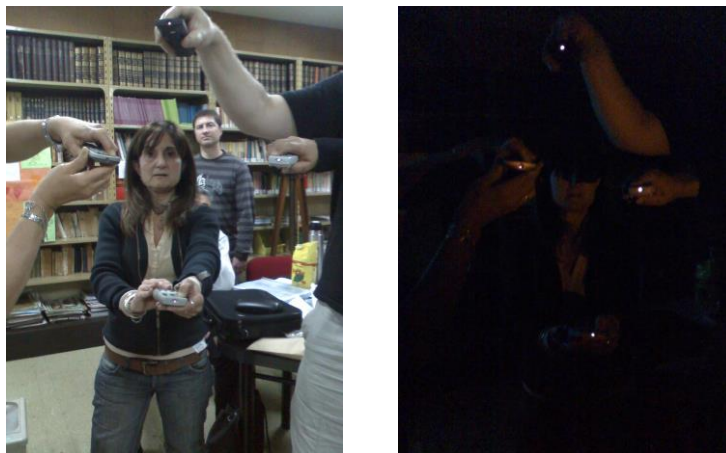


Fig. 14a y 14b: Formant la constel·lació Creu de Sud amb comandaments a distància infrarojos

Energia electromagnètica a la regió de ràdio

Les ones electromagnètiques de longitud d'ona des de metres a quilòmetres, es diuen ones de ràdio. Són les que es fan servir en les emissores comercials, però també ens arriben des de l'espai. Aquesta radiació ens mostra morfologies que en altres longituds d'ona no es veuen (figures 15a, 15b i 15c)..

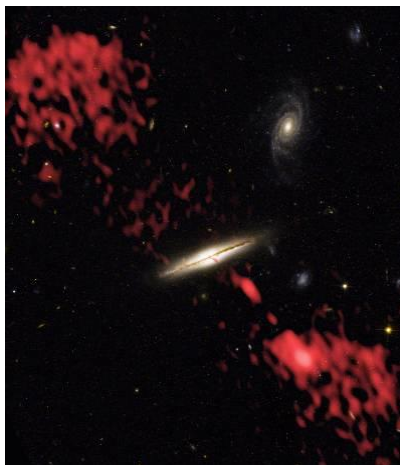


Fig. 15a: Aquesta galàxia emet uns raigs només detectables en ràdio (acolorits artificialment de vermell).



Fig. 15b: Fotografia de la galàxia NGC 4261 en el visible .

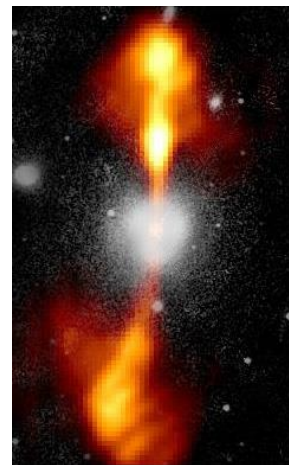


Fig. 15c: La mateixa galàxia amb la imatge de ràdio superposada. S'observen uns dolls de matèria acolorits artificialment de vermell .

A l'Univers hi ha intenses fonts de ràdio: el centre de la nostra galàxia, estrelles de neutrons en ràpida rotació, o fins i tot alguns planetes com Júpiter.

Activitat 7: Produint ones de ràdio

A l'obrir i tancar un circuit elèctric, es produeixen ones de ràdio, similars a les emissions comercials. Es poden captar en un aparell de ràdio, a la banda AM, i transformar-les en so,

que és un altre tipus d'ones. La potència d'aquestes emissions de ràdio disminueix a l'allunyar-se el receptor. Les ones de ràdio poden travessar obstacles i fins i tot parets.

Per realitzar aquest experiment, vam prendre dos trossos de cable d'uns 20 cm cada un. Traiem el plàstic en els dos extrems d'un dels trossos. A l'altre cable, traiem també el plàstic en un extrem, deixem uns 10 cm amb plàstic i traiem també el plàstic de la resta. A l'extrem on hi ha molt cable pelat, fes amb ell una bola. L'altre extrem connecta'l a un born d'una pila de 9 V.

Vam treure punta a un llapis pels dos extrems. La seva mina de carbó ens servirà de resistència, de manera que no valen les pintures de colors. En un extrem connectem la mina al primer tros de cable, assegurant amb cinta adhesiva. L'altre extrem del cable el connectem al segon born de la pila (figura 16).

Encenem la ràdio i la posem a la banda d'AM, (no de FM). Colpegem amb la punta lliure del llapis a la bola de cable. Movem la sintonia de la ràdio fins que es pugui sentir per la ràdio els copets que donem a la bola. Podem provar a allunyar la ràdio, a posar obstacles de cartró, fusta, etc. També podem endur-nos la ràdio a una altra habitació i comprovar si se sent o no. Cal tenir en compte que l'energia electromagnètica produïda es transforma primer en elèctrica i després en sonora

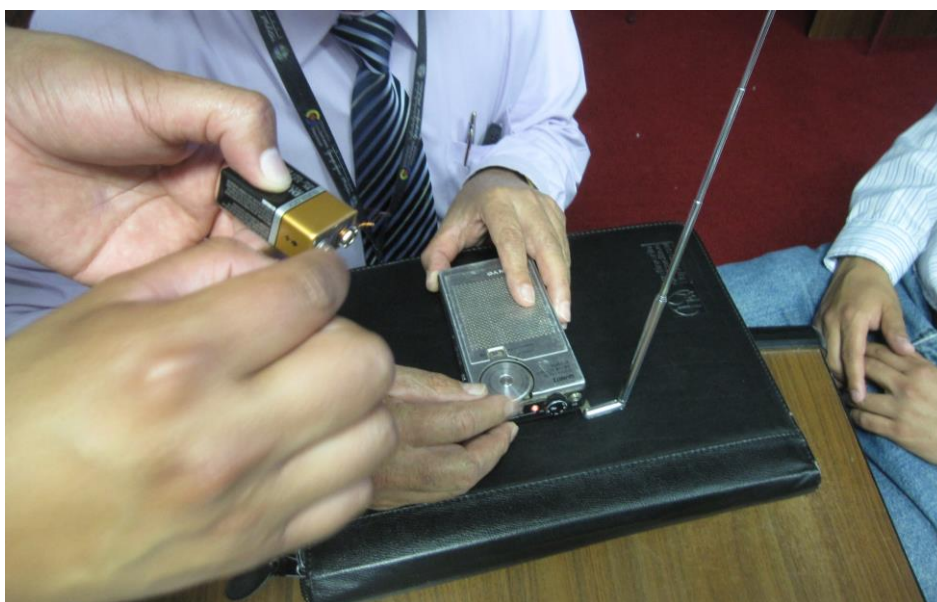


Fig. 16: Produint ones de ràdio

Llum Ultraviolada

Els fotons de llum ultraviolada tenen més energia que els de llum normal visible. Això fa que aquesta llum, en dosis altes, destrueixi enllaços químics de les molècules orgàniques, per la qual cosa és mortal per a la vida. De fet s'usa per esterilitzar material quirúrgic.

El Sol emet aquesta radiació, però afortunadament l'atmosfera (especialment la capa d'ozó) filtra la major part, i només ens arriba la justa perquè sigui beneficiosa per a la vida. Aquesta llum és la que posa morena nostra pell, les plantes l'absorbeixen per a la fotosíntesi, etc. Però si la capa d'ozó disminuís la seva espessor, ens arribaria massa dosi i augmentarien molt les malalties de tipus canceroses.

Activitat 8: Llum negra (UV)

Hi ha bombetes anomenades llum negra, que emeten sobretot en UV, i s'usen amb freqüència per afavorir el creixement de les plantes en hivernacles o en zones amb poca il·luminació solar. El cristall d'aquestes bombetes sol ser gairebé negre, i emeten només una mica de llum visible blava fosca. Algunes teixits sintètics blancs de camises i samarretes són fluorescents amb aquesta llum i la reflecteixen d'un color morat brillant. Per aquesta raó aquesta il·luminació s'usa en algunes discoteques, ja que els teixits blancs es veuen lluents.

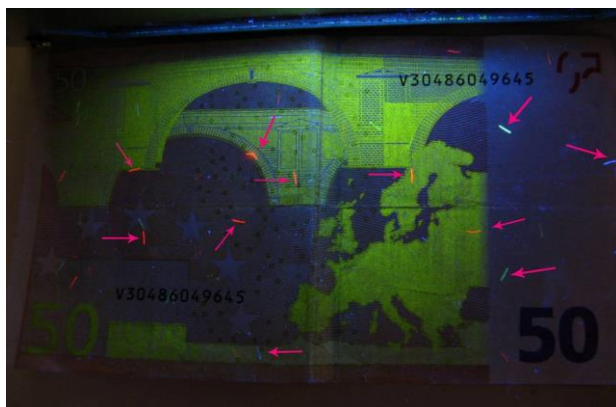


Fig. 17: Un bitllet de 50 € il·luminat amb llum UV, mostra unes petites tires fluorescents marcades aquí amb fletxes .



Fig. 18: Detector de bitllets falsos, que fa servir llum ultraviolada .

Aquesta propietat s'usa també en fabricar el paper de molts bitllets: s'introdueixen unes petites tires de material fluorescent, que són visibles a l'ésser il·luminats per llum UV (figura 17). D'aquesta manera es veu que no és una simple fotocòpia d'un bitllet. Aquesta llum ve incorporada en els aparells detectors de bitllets falsos (figura 18). Molts carnets oficials tenen escuts o rètols que només són visibles amb llum UV.

Raigs X

Més energètica que la UV és la radiació X. Es fa servir en medicina a les radiografies i altres formes de radiodiagnòstic (figura 19a).

En el cosmos, els focus de raigs X són característics de successos i objectes molt energètics: forats negres, col·lisions, etc. El telescopi espacial Chandra té com a missió la detecció i seguiments d'aquests objectes (figura 19b).



Fig. 19a: Placa de raigs X usada en medicina Fig. 19b: Galàxia M81 amb el nucli fotografiat en Raigs X, que suggereix la presència d'un forat negre molt massiu.

Raigs Gamma

A l'extrem de l'espectre, i amb longituds d'ona encara més curtes que les anteriors està la radiació gamma. És la radiació més energètica i es produeix quan matèria (un electró) es troba amb antimatèria (un positró), ambdues s'aniquilen produint fotons gamma. En el cosmos hi ha diverses fonts (figura 20a), però no és estrany que hi hagi violentes erupcions puntuals que emeten durant unes poques hores un potent raig de raigs gamma.

Com duren tan poc, el problema és detectar-les i definir la seva situació exacta, per saber quin objecte hi havia en aquesta posició abans de l'esclat i intentar esbrinar què ha passat. Els astrònoms solen associar-los a col·lisions de forats negres, tot i que encara no està molt clar.

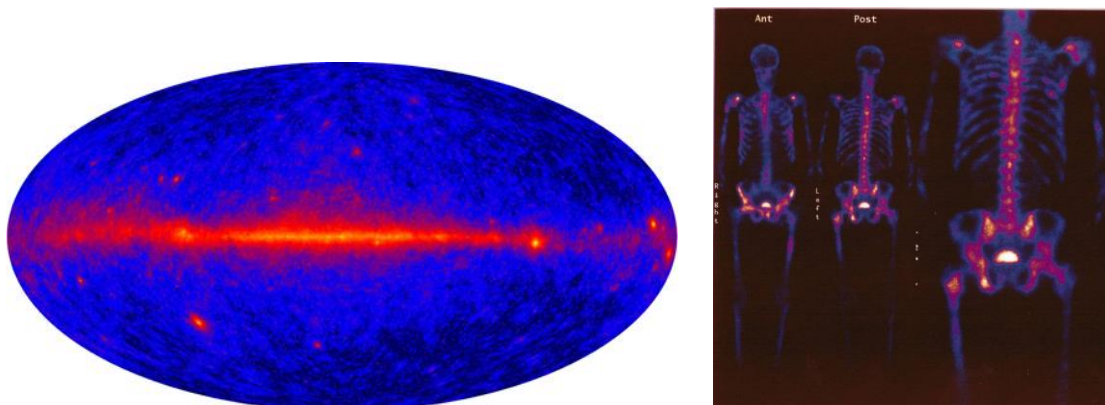


Fig. 20a: Mapa de l'univers tal com ho veu el "Fermi Gamma-Ray Space Telescope". La línia central és la nostra galàxia. Fig. 20b: Gammagrafia òssia del cos humà

A la Terra aquesta radiació l'emeten la majoria d'elements radioactius. Igual que els raigs X, s'usen en medicina tant en proves d'imatge (figura 20b) com en teràpies per curar malalties com el càncer.

Bibliografia

- 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.

Fonts 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/>