



Curso de iniciación a la astronomía 3ª parte

La física de la astronomía



Introducción

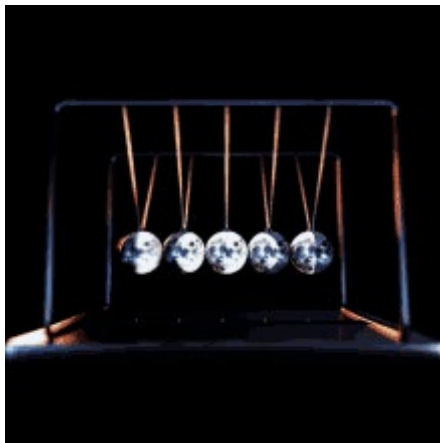
La astronomía, como una ciencia que es, además de proporcionarnos gratos momentos con la contemplación del cielo nos exige, a veces, la comprensión de ciertos conceptos de física, sin los cuales la observación se queda “coja”. Intentaremos en adelante acercarnos, aunque sea de forma superficial, a los mismos.

Si bien casi cualquier parte de la física puede tener su cuota de responsabilidad den la astronomía, nos limitaremos a los más relevantes. Los referentes a la óptica -que se verán cuando hablemos de los instrumentos- y todo aquello que pueda referirse a la **luz**

Del mismo modo nos dedicaremos la parte de la mecánica que nos pueda acercar a la historia del universo, galaxias y estrellas. Para ello, empezamos por la base, aquello que nos puede acercar a la comprensión de la luz, que es lo único -junto a las ondas gravitacionales- que nos ofrece información de lo que tenemos en el exterior.

Ondas.

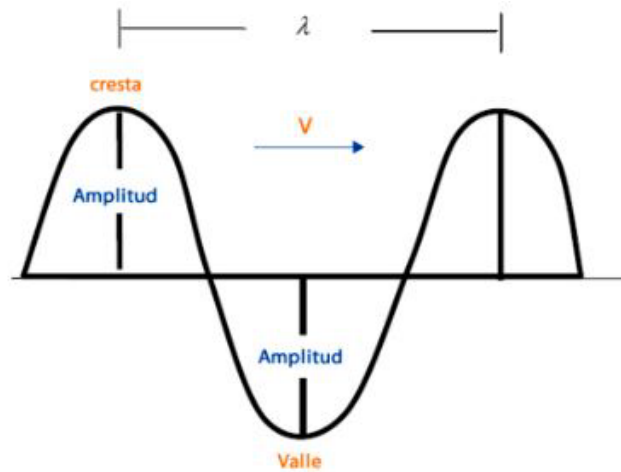
Una onda es un transporte de energía sin transporte de materia.



Ondas de sonido. Probablemente sea la onda más fácilmente comprensible, Consiste en una serie periódica de compresiones del aire. Un ejemplo de onda de sonido podría ser



Aunque en general son más simples, Si la “limpiamos” y dejamos una onda sencilla , sin armónicos ni nada más, podría tener el aspecto



Donde podemos ver las principales características, de frecuencia, longitud o amplitud.



Campos eléctrico y magnético.

Campo de fuerzas. Campo eléctrico, campo “gravitatorio”, campo magnético (imanes).

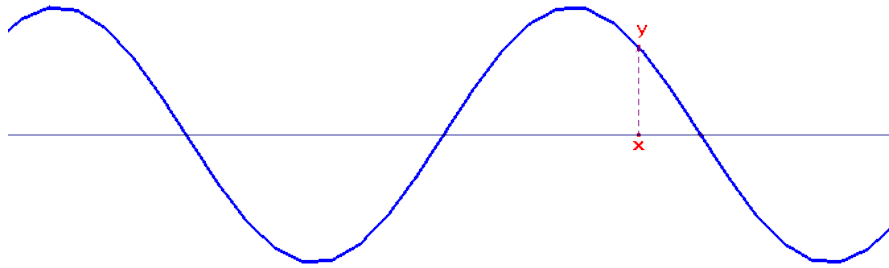
Clásicamente se los define como una región del espacio donde reina una fuerza.

Las cargas eléctricas crean un campo electrostático. En cada punto nos vemos sometidos a una fuerza que es siempre la misma.

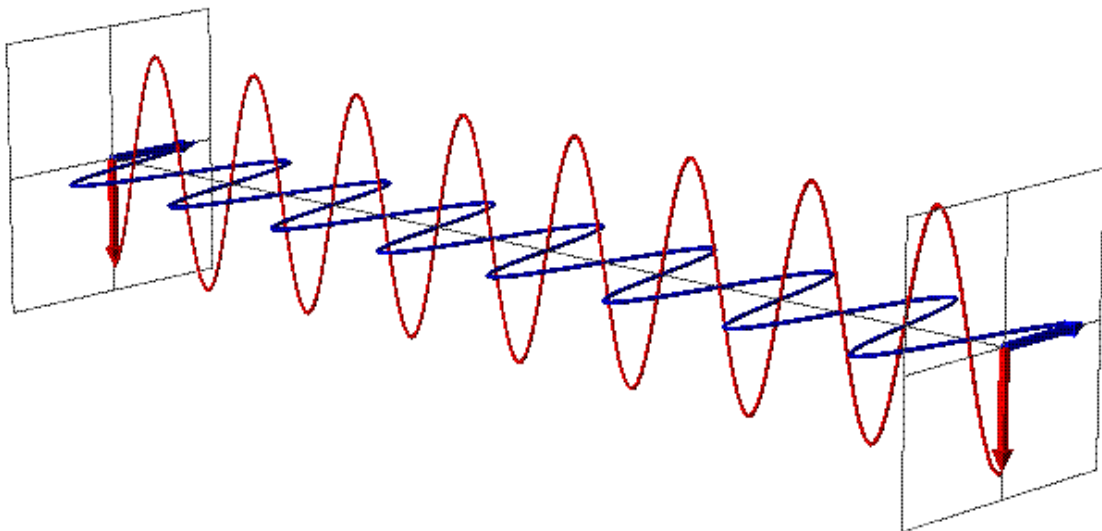
Experimentos de Oersted, Ampere y Faraday. Electromagnetismo. De forma sencilla ¿Cómo se crea una onda electromagnética?

Tenemos una carga eléctrica en movimiento (una corriente). Esto provoca la aparición de un campo eléctrico variable que a su vez genera un campo magnético. Ambos interactúan entre sí. Estos campos, como dijimos antes, producen fuerzas sobre las cargas eléctricas, haciendo que estas se muevan y colocándonos de nuevo al principio del bucle

De este modo obtenemos una onda “viajera” que se propaga en el vacío (al contrario que la onda sonora) a la velocidad de la luz (curioso ¿no?). Cada uno de ellos (eléctrico y magnético) tendría el aspecto siguiente.



Y la combinación de ambas nos daría una onda electromagnética.



Las ondas luminosas onda-partícula. Reflexión y refracción, espectros luminosos.

En la época de Newton, se impuso la teoría de que la luz estaba compuesta por partículas. La propagación rectilínea de la luz, el estudio de la luz como rayos y los fenómenos de reflexión y refracción, parecía que así era. Contrariamente a esta idea estaban los experimentos de Young y especialmente Huygens, pero el prestigio personal de Newton hizo que la teoría se mantuviera hasta la llegada del electromagnetismo y las leyes de Maxwell. Distintos estudios especialmente sobre la propagación de las ondas, indicaban que la luz era un fenómeno ondulatorio. No fue hasta la llegada de De Broglie que quedó establecido que la luz era ambas cosas ¿?

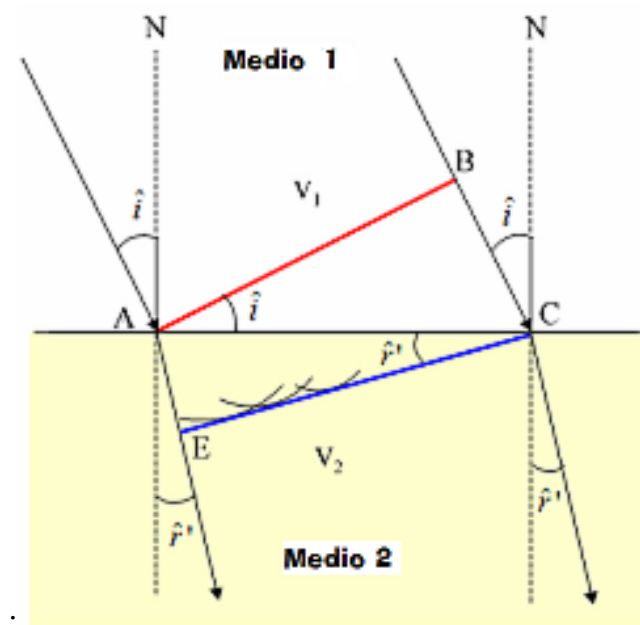
Cuando a un medio se le proporciona un estímulo, algunos de sus electrones pueden pasar a un estado más relajado, de menor energía. La energía “sobrante” se emite en forma de fotón.

Un fotón es una partícula elemental y además una onda, como hemos visto. Es un paquete (cuanto) de energía en forma de radiación electromagnética, emitido o absorbido por la materia. Según la cantidad de esa energía, el fotón tendrá más o menos frecuencia o menor o mayor longitud de onda, si estamos dentro del rango visible, como veremos enseguida, dará lugar a luz de distinto color. Como la cantidad de energía emitida depende del emisor y estado de este (entre otras cosas), en cada caso se emitirá luz de distinto color.

Si la luz emitida se hace pasar por un prisma se descompone ya que la velocidad de transmisión y, por tanto, la refracción, es distinta para cada longitud de onda y así se obtiene un ESPECTRO DE EMISIÓN

Veamos por qué se descompone: Cuando la luz incide en un medio diferente, se propaga a distinta velocidad cambiando su dirección. Esto es fácil de ver con el siguiente esquema:

Efecto de la refracción:



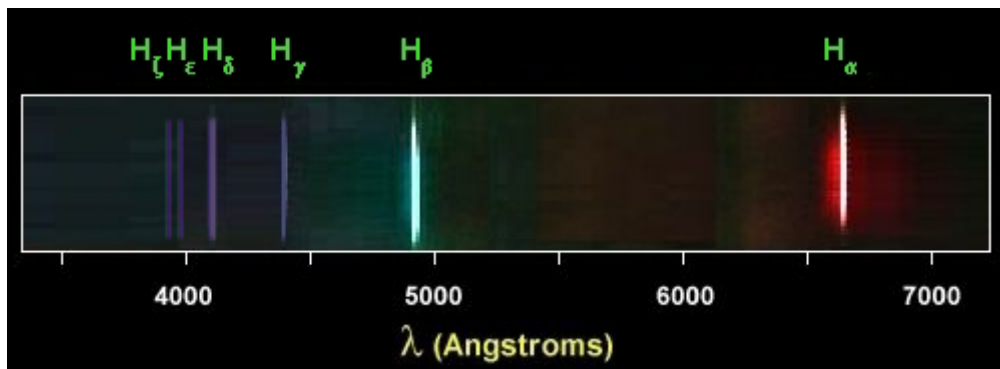
Si tenemos en cuenta que la velocidad -es decir, el índice de refracción- es distinto para cada longitud de onda, tendremos que cada color se “doblará” de distinta manera, generando el espectro luminoso.



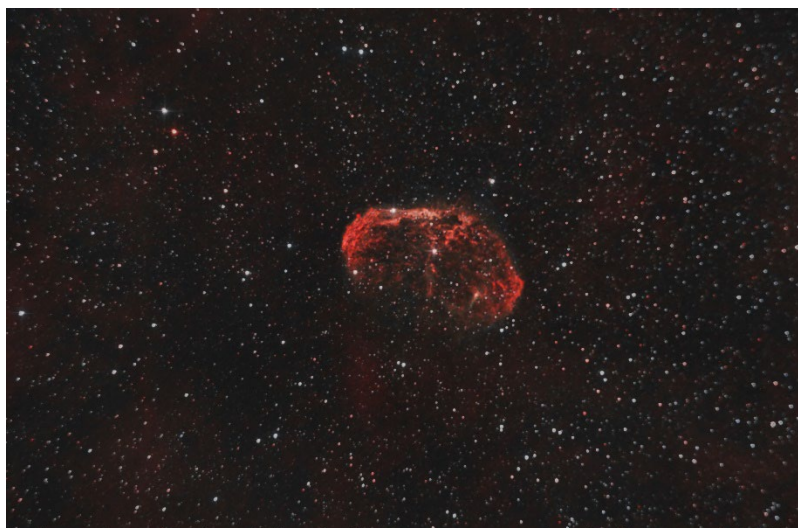
En este caso se trataba de luz blanca (contiene todas las longitudes de onda) como puede ser, por ejemplo, la del sol. Por ello tenemos un espectro continuo. Se ven todos los colores.

Si tenemos, por ejemplo, un gas emitiendo luz, esta sería del correspondiente a ese elemento. Por ejemplo, si utilizamos Neón, tendríamos el color de los tubos de neón característicos de los anuncios luminosos -antes de que llegaran los anuncios con leds- y su espectro correspondería únicamente a la longitud de onda del Neón.

Un emisor especialmente interesante en astronomía es el Hidrógeno. Su espectro de emisión es

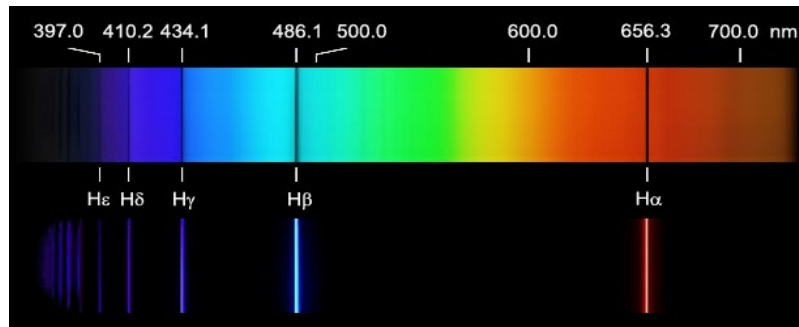


Aquí se ve claramente la línea de H-alfa que corresponde, por ejemplo, a la luz que emiten las nebulosas de emisión. De ahí su característico color



Espectro de absorción y emisión.

Podemos estudiar los espectros de emisión o de absorción. En este caso en lugar de mostrarse las líneas que corresponden a la longitud de onda según el medio, se muestra el espectro continuo SALVO las líneas del medio. De ese modo, el espectro de absorción del hidrógeno sería



Otras longitudes de onda especialmente interesantes en astronomía son:

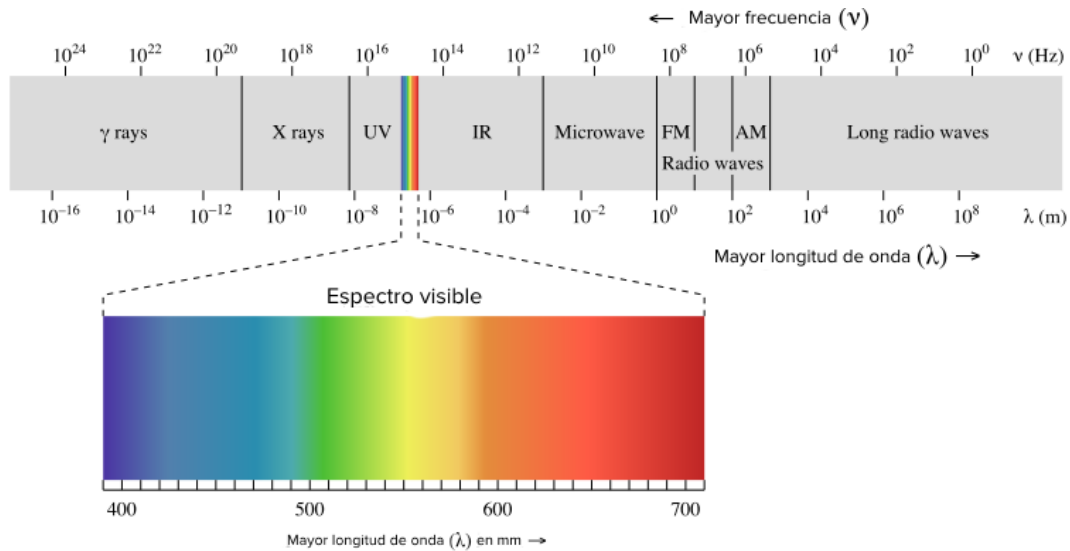
Hidrógeno-Beta, OIII (Oxígeno 3), SII (Azufre) o NIII (nitrógeno) que aparece por ejemplo en la nebulosa anular de Lira.

Del mismo modo, las diferentes temperaturas de las estrellas hacen que emitan en diferentes longitudes de onda, mostrando distintos colores.

Ondas visibles, infrarrojo, ultravioleta, microondas, etc., radiotelescopios.

Espectro electromagnético.

Herschel, estudiando la energía que tenía la radiación luminosa midió el aumento de temperatura en puntos donde incidía luz de distinto color. Sin embargo, detectó radiación fuera de la zona iluminada. Es decir, fuera del espectro conocido (el visible); la radiación infrarroja. Posteriormente de un modo similar Johannes Ritter descubría los ultravioletas. Poco a poco se fueron descubriendo distintas radiaciones con longitudes de onda superiores e inferiores a las conocidas, completando el espectro electromagnético.



Según sea la longitud de onda, se genera de diversas maneras. Lo mismo que las del espectro visible proceden de transiciones de electrones, las de más alta energía se “fabrican” a partir de transiciones dentro del núcleo del átomo. Todas son ondas electromagnéticas. Las correspondientes a la luz visible son del mismo tipo que las demás, regidas por las mismas ecuaciones y leyes físicas. Sólo las diferencia la longitud de onda y todas tienen información en astronomía.

Radiotelescopios.

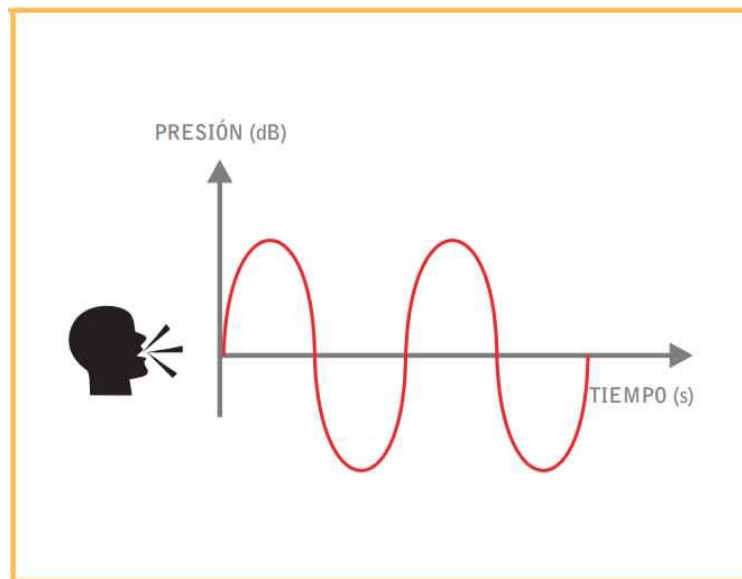
Todo esto nos lleva a la idea de que para estudiar el cosmos podemos valernos de emisiones que no son visibles. Para ello hacemos uso de radiotelescopios que, en lugar de las acostumbradas lentes o espejos, dispone de antenas.



Efecto Doppler.

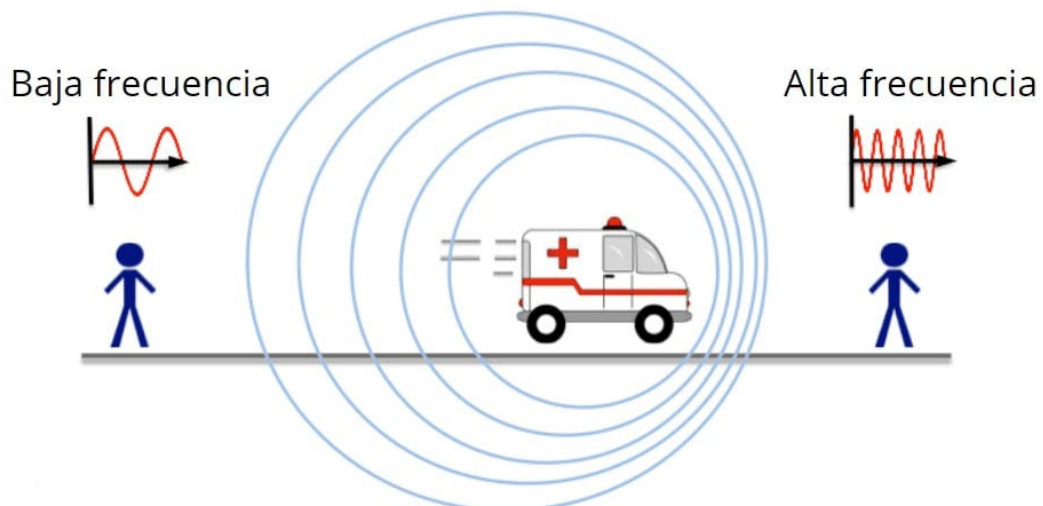
¿Qué ocurre si un emisor de las ondas se mueve?

La separación de los distintos ciclos nos da la longitud de onda de la señal, pero si mientras el primer ciclo se acerca al receptor, acercamos el emisor, los distintos ciclos llegarán “comprimidos” originando una señal de una longitud de onda menor (es decir, mayor frecuencia). Volvamos al ejemplo de las ondas sonoras. Aquí se ven igualmente espaciadas, pero si el señor que habla avanza en dirección a la onda, el segundo ciclo saldrá “adelantado” y llegará al receptor más cerca del anterior que cuando estaba parado.



El efecto contrario ocurriría si el emisor se aleja de la persona que escucha. Esto es lo que se conoce como efecto Doppler-Fizeau.

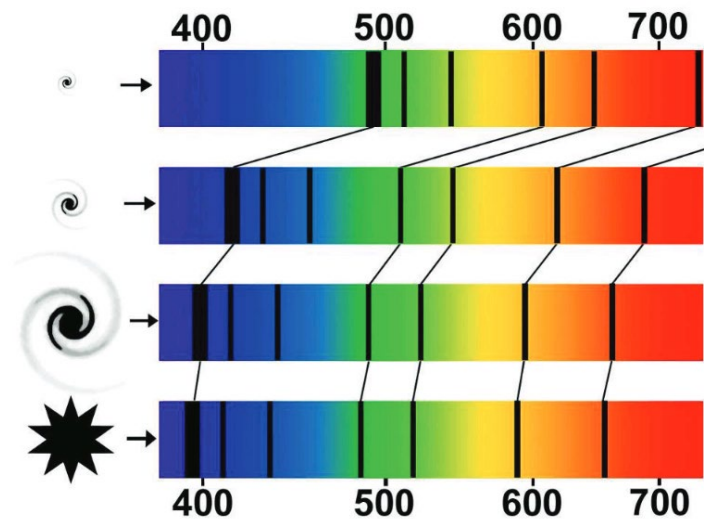
Efecto Doppler



Lo que vemos para las ondas sonoras es idéntico a lo que ocurre con las ondas luminosas (ondas electromagnéticas) y tiene diversos efectos en el estudio de la astronomía. Desde el movimiento de las galaxias hasta el mismo Big-bang.

Como medir el universo.

Velocidades. Hubble y el corrimiento al rojo.



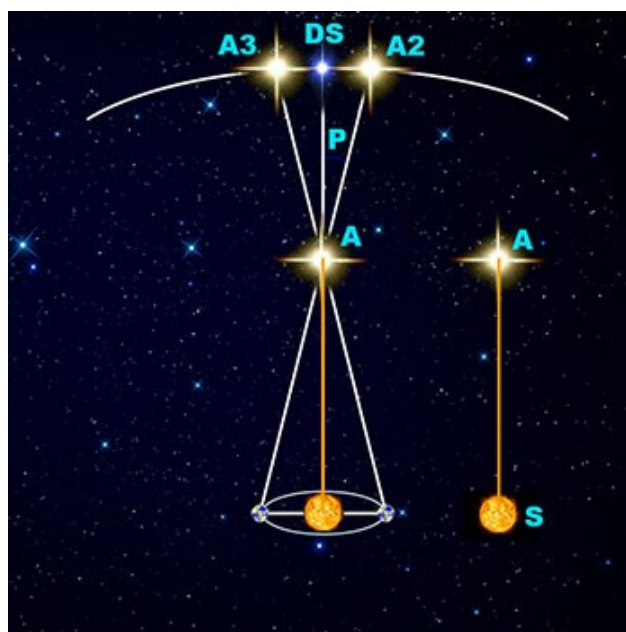
El desplazamiento al rojo del espectro de emisión indicaba que las galaxias se alejaban de nosotros y además su velocidad era proporcional a la distancia. Cuanto más lejana más rápida se aleja y de forma homogénea e isotrópica.

La conclusión es que el universo se expande ¡Einstein tenía razón (al final)!

Distancias

Distancia a la luna: **Laser o Radar.**

Más lejanas: **Paralaje.**



Si observamos una estrella contra otras más lejanas, podemos comprobar que la posición aparente de la primera cambia según nuestra posición. Tomando referencias entre dos puntos, con unos simples cálculos matemáticos se puede calcular la distancia.

La distancia al Sol se conocía por métodos trigonométricos desde antiguo y se usó el método del paralaje en el siglo xvii en emisiones enviadas por Cassini.

Una vez conocida la distancia al sol, como puntos de referencia se tomaron las posiciones de la tierra en los dos extremos de la órbita. Conociendo la distancia entre ellos (1UA), “fácilmente” se puede calcular la distancia buscada.

El ángulo que obtenemos al desviarse la estrella se llama *ángulo de paralaje*. Si la estrella se encuentra a una distancia tal que el ángulo de paralaje es 1”, decimos que su distancia es “1 pársec”. Su equivalencia es: **1 pársec** = 206265 ua = 3,2616 años luz.

Obviamente 1 Mega parsec es 1 millón de parsecs. Ambas unidades se utilizan mucho en astronomía.

Como estas distancias son grandes el ángulo que se obtiene es, en general, muy pequeño, por ello si la estrella está muy lejos, puede producir demasiado error y tenemos que recurrir a otro sistema

Más lejanas aún: **Variables Cefeidas**. Cuando el sistema del paralaje deja de ser efectivo, tenemos que recurrir a otros como el método de las Variables Cefeidas. El brillo con el que percibimos las estrellas está amortiguado por la distancia a las mismas. Se sabe que el brillo real de una estrella (o de cualquier fuente de luz) disminuye exponencialmente con la distancia. De esa manera podríamos calcular la distancia a la misma. El problema es que no conocemos el brillo real. Para ello, sin embargo, podemos echar mano de un tipo de estrellas variables (se llaman así porque su brillo varía periódicamente) conocidas por el nombre de Variables Cefeidas. Estas estrellas tienen la propiedad de que su brillo está relacionado con su periodo de variación. Este es relativamente fácil de medir y comparándolo con el brillo aparente podemos conocer su distancia.

Así podemos conocer la distancia a algunas galaxias o cúmulos que contengan estrellas de este tipo o la distancia a estrellas próximas a una cefeida.

Los más lejanos: Método de las Supernovas. Lamentablemente si una galaxia está tan lejos como para detectar una Cefeida en ella no podemos usar el método anterior. Podremos aún recurrir al *método de las supernovas*.

Método de las supernovas 1A.

Las supernovas 1A son unos sucesos frecuentes en las galaxias (en la nuestra no tanto) en los que una enana blanca explota al final de su vida con un brillo, a menudo similar al de la galaxia completa, muchísimo más perceptible que el de las Cefeidas. Por ello donde no alcanza un método, disponemos del otro.

Todas las supernovas de este tipo tienen un brillo intrínseco similar en el momento máximo. Este brillo es calibrable y nos sirve para medir las distancias del mismo modo que con las Cefeidas. Con este sistema podemos medir la distancia de las galaxias distantes hasta varios miles de millones de años luz.

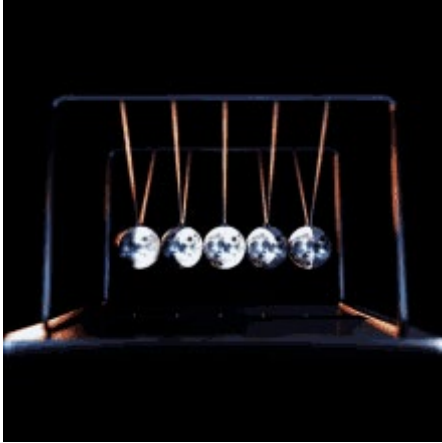
¿Y si están más lejos? En distancias extremas recurrimos al corrimiento al rojo del espectro. Podemos medir la velocidad con la que se alejaría una lejana galaxia y teniendo en cuenta la ley de Hubble que nos dice que dicha velocidad es proporcional a la distancia podremos resolver nuestro problema.

Resumen de unidades.

Unidad Astronómica (UA): Distancia de la tierra al sol. 149 597 870 km

Año luz: Distancia recorrida por la luz en un año: 63241,1 UA

Parsec. Distancia desde la que la órbita terrestre subtende un segundo de arco: 3.26 AL

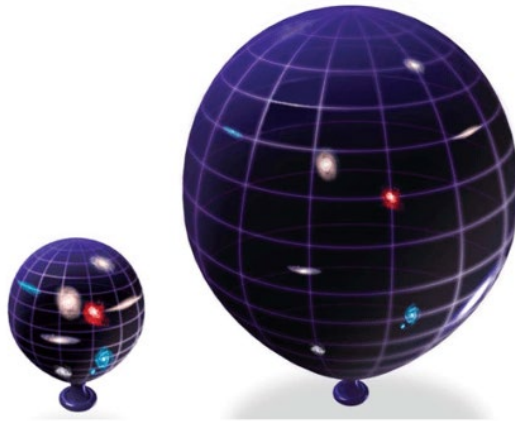


Origen del Universo: El Big Bang.

Y ya de puestos, ¿de este corrimiento al rojo que podemos deducir?

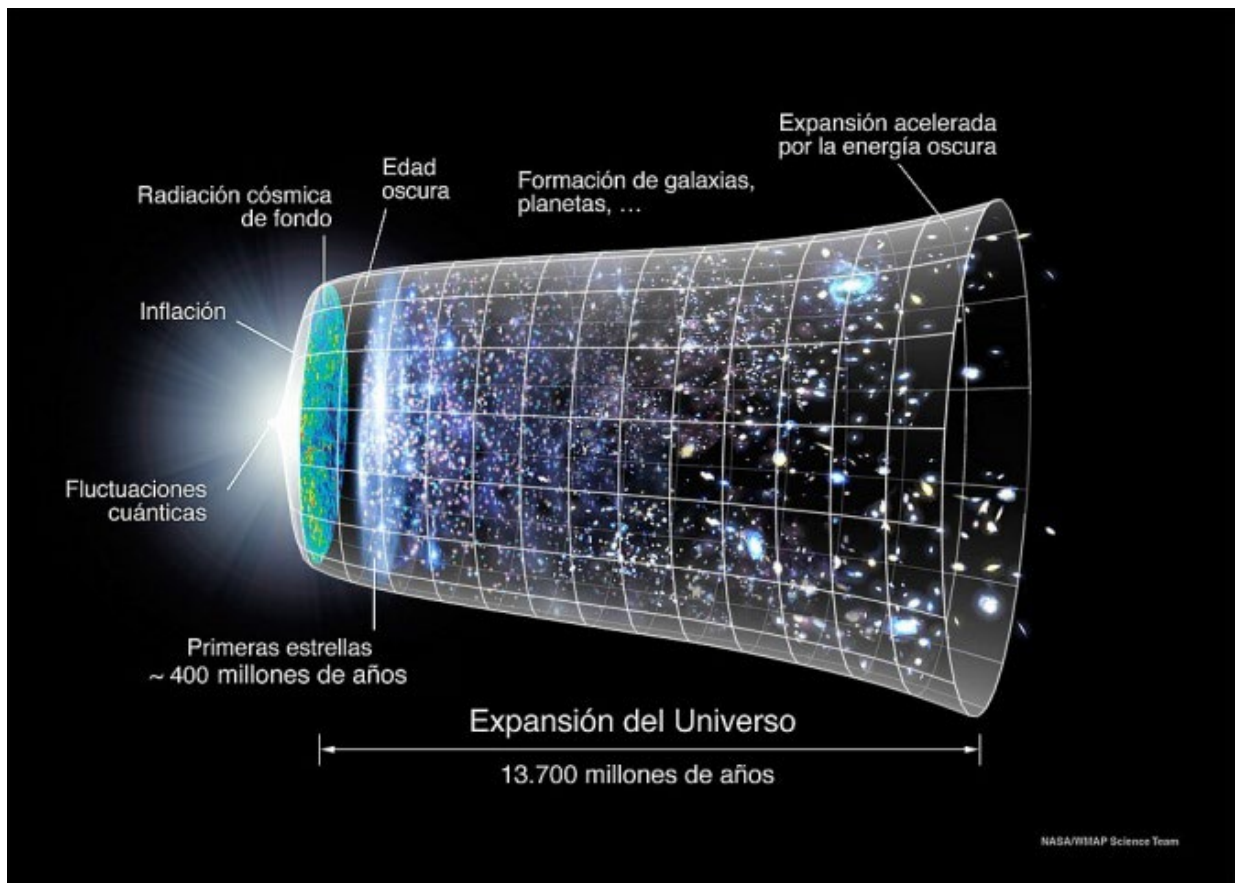
En 1917 recién publicada la Teoría General de la Relatividad, Einstein estaba convencido de que el universo era estático, cosa que no satisfacía la teoría. Para corregir la discrepancia tuvo que introducir una constante, “la constante cosmológica”.

Sin embargo, no todos los físicos estaban de acuerdo. En 1927 se consideraba ya que el universo estaba en expansión. Friedman y Lemaitre habían resuelto las ecuaciones de Einstein en ese sentido. Por otra parte, Hubble detectó el desplazamiento al rojo de la luz de las galaxias observando que estas se alejaban y además con una velocidad proporcional a la distancia. En otras palabras, el universo estaba en expansión.



La conclusión inmediata, realizada primero por G. Gamow y luego por Lemaitre era que, si el universo se estaba expandiendo, en algún momento debió de estar todo concentrado en un punto desde el que se expandió hasta la actualidad. Este punto/momento es lo que conocemos como el Big Bang.

En un momento que, a día de hoy, tenemos fechado hace 13700 millones de años toda la materia que forma el universo estaba concentrada en un punto mucho más pequeño que el tamaño de un átomo. Con una energía y densidad inimaginables.



Fases del BigBang.

Radiación (unos 700.000 años)

- Etapa inicial. $t < 10^{-43}$, $10^{-43} < t < 10^{-36}$
En la era de Planck sólo hay energía y solo una fuerza Concentrado en un espacio increíblemente pequeño Las cuatro fuerzas estaban unidas en una sola.
- Por alguna razón, el universo comienza a expandirse. La gravedad se separa. El Universo se empieza a enfriar.
- Ya ha pasado una billonésima de segundo. Empiezan a interactuar las primeras partículas (los fotones) y la energía. La temperatura es lo suficientemente alta para que estos fotones se conviertan en pares partícula y antipartícula. El universo consta de Quarks, leptones, antimateria y bosones. La densidad es aún muy alta. Por alguna razón, empieza a existir una diferencia de la cantidad de materia y antimateria. Gran Inflación. $10^{-36} < t < 10^{-33}$ (el universo ya tiene una millonésima de segundo de edad), El tamaño del sistema solar y la temperatura “solo” es de un billón de grados Kelvin.
- A esta temperatura, ya no se crean más quarks. Los que existen se recombinan para crear “Hadrones” (protones, neutrones y alguna otra más). Siguen los emparejamientos y el desequilibrio entre materia y antimateria forma la base del universo que conocemos. (ya tenemos un segundo de edad)

Materia

- Formación de partículas. Primeros protones, neutrones y electrones.
Nucleogénesis. Edad oscura. Las colisiones de Quarks, electrones y neutrinos no permiten la propagación de la luz. Emisión del Fondo de radiación de microondas. Aparición de la luz 380.000 años después del BB. Al enfriarse lo suficiente (el universo baja de los 3000 grados Kelvin), se forman átomos de hidrógeno y se permite la “fuga” de fotones.
- Los átomos que se forman gravitan hacia zonas con mayor densidad de materia formando concentraciones que darán lugar a las estrellas, galaxias...

Si, se forman las estrellas, pero ¿Cómo se forma una estrella?

Estrellas.

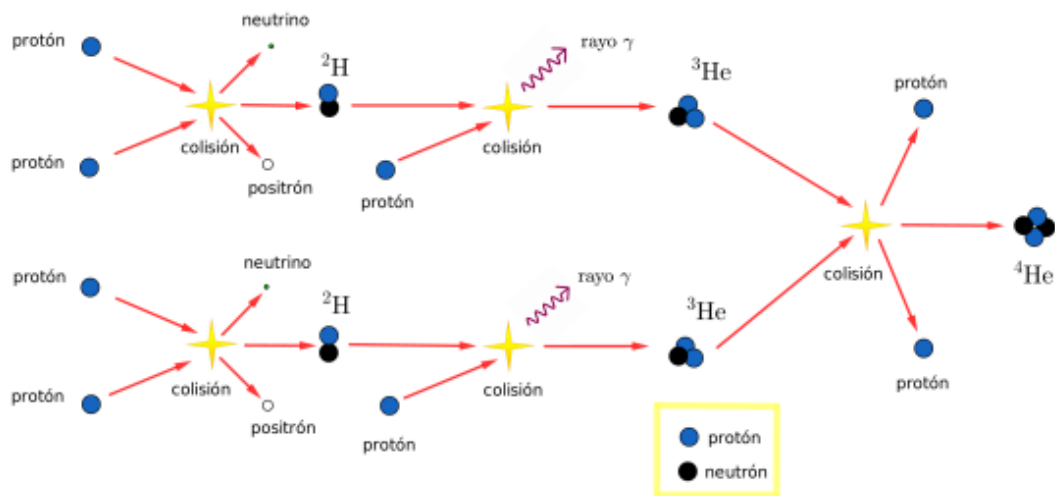
El origen de una estrella lo encontramos en las nubes moleculares -algunas de las que llamamos nebulosas- donde se encuentran grandes densidades de polvo y gas.

En general son procesos en los que el Hidrógeno, que es el elemento más común en el universo, se convierte en Helio en una reacción que por otra parte genera una enorme cantidad de energía.

Esto ocurre cuando la cantidad de gas supera una cierta cantidad. La gravedad condensa esta masa de moléculas. Esta gravedad tan intensa genera temperaturas enormes iniciando las reacciones moleculares.

Evidentemente la cosa no es tan simple. De átomos con un protón no se puede sacar otros con protones y neutrones.

Existen varias reacciones que se dan en el universo, lo mismo que hay distintos tipos de estrellas. En las estrellas más masivas se da el ciclo del Nitrógeno, que precisa de carbono y nitrógeno y es algo más rebuscada que la reacción protón-protón que es la que se produce en estrellas del tipo del sol.



Como vemos, básicamente las estrellas tienen la misma secuencia. Se forman por la materia a alta presión sometidas a una gravedad alta, consumen el combustible en reacciones nucleares de fusión y tienen un final más o menos catastrófico cuando el combustible se acaba. Sin embargo, según sus condiciones iniciales, podremos distinguir varios tipos de estrellas que, a su vez, tienen una historia distinta.

Porque sí, hay estrellas grandes y pequeñas; jóvenes y viejas... Y cada una tiene una secuencia final distinta.



video_83216056825
2449.mp4

Parece que hay un número mágico que diferencia las estrellas. Aquellas que son menores o mayores que 8 veces la masa solar.

En la secuencia principal, todas queman en una reacción u otra el hidrógeno convirtiéndolo en Helio, pero cuando el hidrógeno se acaba empiezan a comportarse de distinta manera.

Aunque todas tienen un final más o menos catastrófico las primeras, entre las que se encuentra el Sol, se expande convirtiéndose en una gigante roja. Puede tener millones de kilómetros de diámetro, siendo lo suficientemente grande como para engullir los planetas Mercurio y Venus. Tras desprenderse de sus capas exteriores, la estrella se comprime y forma una enana blanca muy densa. Comenzará entonces a comprimir su tamaño hasta convertirse en una enana blanca de tamaño unas cien a mil veces más pequeña que nuestro Sol. En el centro se quedan el oxígeno y el carbono producidos. Por encima se queda el helio que sigue fusionándose, pero llegado un momento el núcleo deja de colapsarse y por lo tanto de producir energía. Las capas exteriores al núcleo empiezan a caer hacia el núcleo rebotando sobre un núcleo inerte y frío saliendo despedidas al exterior.

Este es el final de la estrella de menos de ocho masas solares. El resto es conocido como **nebulosa planetaria**



Sin embargo, si la estrella tiene más de 8 masas solares, la historia final es distinta. Las estrellas masivas tienen muchos más átomos de hidrógeno en su interior por lo que las reacciones nucleares se dan con muchísima mayor frecuencia que en las estrellas de menor masa. Esto trae como consecuencia un consumo de su combustible mucho más rápido y un menor tiempo de vida que las estrellas poco masivas.

Terminan sus vidas muy repentinamente. Cuando se les acaba el combustible, se dilatan hasta convertirse en supergigantes rojas. Consumen distintos combustibles, acumulando átomos de diferentes tipos. Al tener tanta masa, la fuerza de atracción gravitacional es tan grande que los protones y electrones del núcleo se están fusionando y produciendo neutrones, que ya no pueden estar más apretados. La presión de degeneración de neutrones es tal que es imposible frenar el colapso. La estrella se habrá convertido en una estrella de neutrones de tamaño aproximado a unos 20 kilómetros de diámetro. La capa exterior explotará con mucha energía convertida en una **supernova**.

Hay un tercer caso: las estrellas con masa superior a 40 masas solares. Estas estrellas tienen un comportamiento igual que las estrellas de neutrones, pero al final llegan a tener

una atracción gravitacional aún mayor y la presión de degeneración de los neutrones es incapaz de frenar el colapso hasta el punto de que se alcanza una densidad tan elevada que termina por convertirse en **un agujero negro**.

