

EL ESPECTRO DE LUZ LA HUELLA DIGITAL DE LAS ESTRELLAS

CIN2017A20233

CENTRO UNIVERSITARIO MÉXICO

HERNÁNDEZ ACOSTA ARTURO

LÓPEZ PÉREZ DIANA PAOLA

RAMÍREZ ROMERO ABNER JAIR

PROF. JESÚS FLORES TÉLLEZ

CIENCIAS FISICOMATEMÁTICAS Y DE LAS INGENIERÍAS

FÍSICA

DOCUMENTAL

Índice Temático

- Resumen.....pág. 3
- Abstract.....pág. 3
- Planteamiento del problema.....pág. 4
- Objetivos.....pág. 4
- Hipótesis.....pág. 4
- Marco teórico.....pág. 5
 - I. Espectrómetro
 - II. Componentes de la Luz
 - III. Espectrometría de las galaxias, estrellas y nebulosas
 - IV. Componentes de las sustancias obtenidos de la espectrometría
 - V. Efecto Doppler
- Metodología.....pág. 11
- Resultados.....pág. 12
- Conclusiones.....pág. 17
- Referencias.....pág. 17

RESUMEN

El hombre desde sus orígenes ha dado gran importancia al cielo y particularmente a las estrellas. El estudio de la luz emitida por las estrellas ha sido fundamental para la comprensión de su naturaleza. El espectro electromagnético de la luz emitida por las estrellas da una gran información sobre la composición, campo gravitacional, así como la determinación de la distancia a la que se encuentran de nosotros y su velocidad relativa, su temperatura y otras características.

Nuestro proyecto pretende hacer una investigación documental sobre toda la importancia del espectro de luz en el análisis de las características de las estrellas acerca del funcionamiento de un espectrómetro y de la información que se obtiene a partir del espectro de la luz que se analice simulando en este caso ser la de un astro mediante los fenómenos de difracción y de refracción comprender como la luz se comporta cuando atraviesa uno o más medios de refracción así como la propagación que tiene la luz en diferentes medios; por otra parte el fenómeno de difracción como un intento de discernir sobre la naturaleza corpuscular u ondulatoria de la luz y comprobar un patrón de interferencias en la luz procedente de una fuente lejana al difractarse en el paso por dos rejillas.

Abstract

Since the beginning of humans civilizations, they had given great importance to the sky and particularly to stars. The study of the light emitted by the stars has been fundamental for the understanding of its nature. The electromagnetic spectrum of the light emitted by the stars gives a great information about the composition, gravitational field, as well as the determination of the distance between them and us, its relative speed, its temperature and other characteristics.

Our project aims to do a documentary research on all the importance of the spectrum of light, analyzing the characteristics of stars, the function the spectrometer and the information that is obtained from the spectrum of light that is analyzed, simulating in this case that is of a star by diffraction and refraction, to understand how light behaves when it passes through one or more spaces of refraction as well as the propagation of

light in different areas; On the other hand the diffraction as an attempt to discern the corpuscular or ondulatory nature of light and check the pattern of interference in the light coming from a distant source, when diffracted in the pass through two gratings.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El hombre desde sus orígenes ha dado gran importancia al cielo y particularmente a las estrellas. El estudio de la luz emitida por las estrellas ha sido fundamental para la comprensión de su naturaleza. El espectro electromagnético de la luz emitida por las estrellas da una gran información sobre la composición, campo gravitacional, así como la determinación de la distancia a la que se encuentran de nosotros y su velocidad relativa, su temperatura y otras características.

Por esta razón nuestro proyecto pretende comprender la naturaleza de los espectros luminosos de emisión y absorción de las sustancias en la naturaleza, para poder entender el comportamiento y características de las estrellas en el universo.

OBJETIVOS

Realizar una investigación documental sobre la naturaleza de los espectros de emisión y absorción de las sustancias que componen a las estrellas y que permiten determinar cuantitativamente sus características preponderantes.

Elaborar un prototipo de espectrómetro para determinar las longitudes de onda de algunos tipos de emisión de luz

HIPÓTESIS

Si se conoce el espectro de emisión o absorción de luz de una estrella entonces podemos determinar la naturaleza y los compuestos que componen a dicha estrellas.

Si se observa el corrimiento al rojo del espectro de luz de una estrella entonces se podrá obtener información de su campo gravitacional y consecuentemente de su masa.

MARCO TEÓRICO

Un espectrómetro es un instrumento óptico que se usa para medir las propiedades de la luz a partir de una posición específica del haz de luz. Su utilidad es realizar análisis espectroscópicos para identificar materiales que conforman a la sustancia emitida. Se usa en espectroscopia para producir líneas espectrales y medir sus longitudes de onda e intensidades. Son instrumentos que funcionan en una amplia variedad de longitudes de onda, desde rayos gamma y rayos X hasta el infrarrojo lejano.

Su objeto es la determinación directa o indirecta de muchas de las características físicas y químicas de los cuerpos celestes y de la materia interestelar existente en el aquél, mediante el estudio de las distintas regiones de sus espectros electromagnético.

La espectroscopia es el análisis del espectro de la luz visible o no.

Del cual se obtienen tres tipos de espectros que un objeto puede emitir:

Espectro continuo

El espectro continuo, también llamado térmico o de cuerpo negro, es emitido por cualquier objeto que irradie calor. Cuando su luz es dispersada aparece una banda continua con algo de radiación a todas las longitudes de onda. Por ejemplo, cuando la luz del sol pasa a través de un prisma, su luz se dispersa en los siete colores del arcoíris (donde cada color es una longitud de onda diferente).

Espectro de Absorción

Como la distribución de las líneas espectrales es característica de cada átomo o molécula, el estudio del espectro de absorción nos puede indicar de qué elementos está compuesta. Normalmente las líneas de absorción tienen lugar cuando la luz de un objeto caliente atraviesa una región más fría. Espectros de absorción se ven en estrellas, planetas con atmósferas y galaxias.

Espectro de Emisión

El espectro de emisión tiene lugar cuando los átomos y las moléculas en un gas caliente emiten luz a determinadas longitudes de onda, produciendo por lo tanto líneas brillantes. Al igual que el caso del espectro de absorción, la distribución de estas líneas es única para cada elemento. Espectros de emisión pueden verse en cometas, nebulosas y ciertos tipos de estrellas.

Cuando un electrón se mueve de un nivel mayor a un nivel inferior, se emite un fotón cuya energía es igual a la diferencia entre las energías de los dos niveles. Por lo tanto, la luz emitida toma un valor discreto. Esto es lo que llamamos su espectro. Una línea de transición prohibida es una línea espectral emitida por los átomos efectuando transiciones de energía normalmente no permitidas por las reglas de selección de la mecánica cuántica.

COMPONENTES DE LA LUZ

Una propiedad básica de la luz es su longitud de onda, que se define como la distancia entre crestas o depresiones consecutivas de las ondas.

La distancia entre dos crestas o valles se denomina longitud de onda (λ). La frecuencia de la onda está determinada por las veces que ella corta la línea de base en la unidad de tiempo (segundos), esta frecuencia es tan importante que las propiedades de la radiación dependen de ella y está dada en Hertz. La amplitud de onda está definida por la distancia que separa el pico de la cresta o valle de la línea de base (A). La energía que transporta la onda es proporcional al cuadrado de la amplitud. La unidad de medida para expresar semejantes distancias tan pequeñas es el nanómetro

Experimento de Young.

El experimento de Young, también denominado experimento de la doble rendija, fue realizado en 1801 por Thomas Young, en un intento de discernir sobre la naturaleza corpuscular u ondulatoria de la luz. Young comprobó un patrón de interferencias en la luz procedente de una fuente lejana al difractarse en el paso por dos rejillas, resultado que contribuyó a la teoría de la naturaleza ondulatoria de la luz.

Posteriormente, la experiencia ha sido considerada fundamental a la hora de demostrar la dualidad onda corpúsculo, una característica de la mecánica cuántica. El experimento también puede realizarse con electrones, protones o neutrones, produciendo patrones de interferencia similares a los obtenidos cuando se realiza con luz.

La formulación original de Young es muy diferente de la moderna formulación del experimento y utiliza una doble rendija. En el experimento original un estrecho haz de luz, procedente de un pequeño agujero en la entrada de la cámara, es dividido en dos por una tarjeta de una anchura de unos 0.2 mm. La tarjeta se mantiene paralela al haz que penetra horizontalmente es orientado por un simple espejo. El haz de luz tenía una anchura ligeramente superior al ancho de la tarjeta divisoria por lo que cuando ésta se posicionaba correctamente el haz era dividido en dos, cada uno pasando por un lado distinto de la pared divisoria.

Se puede formular una relación entre la separación de las rendijas, s , la longitud de onda λ , la distancia de las rendijas a la pantalla D , y la anchura de las bandas de interferencia (la distancia entre franjas brillantes sucesivas), x

$$\lambda / s = x / D$$

Esta expresión es tan sólo una aproximación y su formulación depende de ciertas condiciones específicas. Es posible sin embargo calcular la longitud de onda de la luz incidente a partir de la relación superior. Si s y D son conocidos y x es observado entonces λ puede ser calculado, lo cual es de especial interés a la hora de medir la longitud de onda correspondiente a haces de electrones u otras partículas.

Una onda electromagnética consiste de campos eléctricos y magnéticos oscilantes. Estos campos se propagan en el vacío con una velocidad constante $c = 300\,000$ km/s. Este valor es una constante fundamental de la naturaleza y uno de los pilares en que se sustenta la Física moderna, en especial la Teoría de la Relatividad.

Para la luz visible la unidad de medida usada es el Angstrom: $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$ cm ; y abarca el rango de 4000 \AA a 7000 \AA .

Otras propiedades ondulatorias de la luz son su frecuencia y su energía:

$$f=c/l ; E=hc/l$$

Dónde:

c es la velocidad de la luz en el vacío, h es la constante de Planck, y l es la longitud de onda.

La luz visible representa apenas una pequeña porción del espectro electromagnético, que se extiende desde los rayos gamma hasta longitudes de onda de radio. Aunque en realidad ambos extremos del espectro electromagnético se extienden desde cero hasta el infinito.

La luz blanca es en realidad una mezcla de longitudes de onda. Cuando hacemos que la luz blanca pase a través de un prisma, se descompone en longitudes de onda o colores que la integran, formando un espectro.

Rayos infrarrojos. La radiación infrarroja fue descubierta por el astrónomo William Herschel en 1800. La radiación infrarroja se localiza en el espectro entre 3×10^{11} Hz. Hasta aproximadamente los 4×10^{14} Hz. Toda molécula que tenga una temperatura superior al cero absoluto (-273° K) emite rayos infrarrojos y su cantidad está directamente relacionada con la temperatura del objeto.

Microondas. La región de las microondas se encuentra entre los 10^9 hasta aproximadamente 3×10^{11} Hz (con longitud de onda entre 30 cm a 1 mm).

Ondas de Radio. Heinrich Hertz, en el año de 1887, consiguió detectar ondas de radio que tenían una longitud del orden de un metro. La región de ondas de radio se extiende desde algunos Hertz hasta 10^9 Hz con longitudes de onda desde muchos kilómetros hasta menos de 30 cm.

Rayos X. En 1895 Wilhelm Röntgen, con una longitud de onda menor a 10 nm a los cuales debido a que no conocía su naturaleza las bautizó como X.

Radiación Ultravioleta. Sus longitudes de onda se extienden entre 10 y 400 nm más cortas que las de la luz visible.

Rayos Gamma. Se localizan en la parte del espectro que tiene las longitudes de onda más pequeñas entre 10 y 0.01 nm.

Refracción.

Cuando la luz pasa de un medio transparente a otro se produce un cambio en su dirección debido a la distinta velocidad de propagación que tiene la luz en los diferentes medios materiales. Si dividimos la velocidad de la luz en el vacío entre la que tiene en un medio transparente obtenemos un valor que llamamos índice de refracción de ese medio.

$$n=c/V$$

Donde

n=índice de refracción

c=velocidad de luz en vacío.

V=velocidad de la luz en el medio natural.

Si la luz pasa de un medio más rápido a otro más lento, el ángulo de refracción es menor que el de incidencia.

Si pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro con menor índice de refracción, el ángulo de refracción es mayor que el de incidencia.

Reflexión.

El fenómeno de la reflexión total permite que podamos canalizar la luz a través de pequeños tubos de diferentes sustancias que se denominan fibras ópticas. Las fibras ópticas se utilizan en muchos campos de la ciencia y de la tecnología.

Difracción

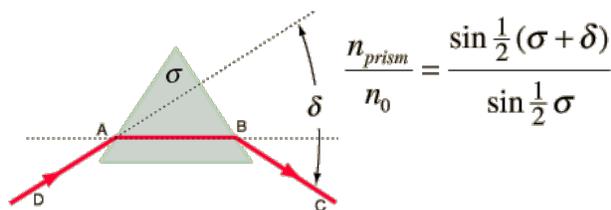
La difracción de Fraunhofer para una única rendija: una luz monocromática de longitud de onda λ incide sobre una rendija, de anchura a no muy grande, que difracta la luz en todas las direcciones. Consideremos una dirección θ que cumpla que $a \sin \theta = \lambda$.

De ello se deduce que en la dirección θ considerada habrá un cero en la intensidad de la luz difractada. Si ahora consideramos otro ángulo θ' que cumpla $a \sin \theta' = 2\lambda$, tendremos un caso similar.

LEYES EMPLEADAS EN LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Ley de Snell.

La ley de Snell (también llamada ley de Snell-Descartes) es una fórmula utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de



$$\frac{n_{prism}}{n_0} = \frac{\sin \frac{1}{2}(\sigma + \delta)}{\sin \frac{1}{2}\sigma}$$

refracción distinto. La misma afirma que la multiplicación del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia respecto a la normal es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la

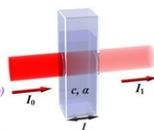
superficie separatriz de dos medios. Es decir, el componente del índice de refracción paralelo a la superficie es constante.

Ley de Beer-Lambert.

En óptica, la ley de Beer-Lambert, también conocida como ley de Beer o ley de Beer-Lambert-Bouguer es una relación empírica que relaciona la absorción de luz con las

$$A = \epsilon \times C \times l$$

A: Absorbancia
 ϵ : Coeficiente de extinción (característico de cada compuesto)
 C: Concentración del compuesto
 l: Grosor de la disolución que atraviesa la radiación



propiedades del material atravesado.

La ley de Beer-Lambert relaciona la intensidad de luz entrante en un medio con la intensidad saliente después de que en dicho medio se produzca absorción. La relación entre ambas intensidades puede expresarse a través de las siguientes relaciones.

METODOLOGIA

Se realizó una investigación documental acerca de:

- I. Espectrómetro
- II. Componentes de la Luz
- III. Espectrometría de las galaxias, estrellas y nebulosas
- IV. Componentes de las sustancias obtenidos de la espectrometría
- V. Efecto Doppler

Con base a las investigaciones previamente mencionadas armamos una maqueta de un espectrómetro para tratar de tomar medidas de un espectro de luz.

La maqueta que se realizó tenía las siguientes medidas:

- Una base de madera de 30x20.
- Una tapa de madera de 30x30 el cual en la parte de la mitad frontal fue recortada a forma de un medio círculo con un radio de 15cm en el cual colocamos un transportador impreso.
- Dos caras de madera de 20x8cm y una tercera de 30x8cm.
- Una lámina de polietileno de 50x100cm.
- Una rejilla de refracción.
- Una base para rejilla de difracción.
- Un lente convexo de +250mm.
- Y en nuestro caso utilizamos la luz de un iPhone y la de un apuntador de laser para a partir de ahí visualizar el espectro de luz.

RESULTADOS:

ESPECTROMETRÍA DE GALAXIAS, ESTRELLAS Y NEBULOSAS

Las estrellas tienen cinco características importantes: brillo, definido en términos de magnitud y luminosidad; color, temperatura de superficie, tamaño y masa. Una estrella muy cercana a la Tierra tiene una magnitud aparente, es decir, parece ser más brillante de lo que es sólo por encontrarse más.

Las estrellas azules son jóvenes y muy calientes, las estrellas rojas son viejas, menos masivas y mucho menos calientes, es igual para las galaxias, por lo que podemos deducir su edad.

También varía su tamaño: las pequeñas se llaman enanas; las grandes, gigantes y las de mayor tamaño, supergigantes.

Las galaxias son sistemas formados por estrellas, restos de estrellas, polvo y materia oscura unidos gravitacionalmente.

Tipos de galaxias:

Elípticas

- Se clasifican desde E0 (esfera) hasta E7 (plato o disco)
- Tienen una estructura compacta y homogénea, con poca variación, normalmente formada por estrellas viejas y tienen baja formación estelar.

Espirales

- Forma de disco, con brazos espirales y un gran núcleo central brillante.
- Las espirales barradas presentan una estructura en forma de barra en el interior.

Irregulares

- Las galaxias irregulares no pertenecen a ninguna de las anteriores, su estructura es caótica, sin núcleo y abundancia de gas y polvo.
- Son resultado de una catástrofe, como explosiones estelares o interacción con otras galaxias.

Lenticular

- En el punto de unión entre elípticas y espirales se encuentran las galaxias lenticulares.

Las nebulosas son estructuras de gas y polvo interestelar. Según sean más o menos densas, son visibles, o no, desde la Tierra.

- Las nebulosas de emisión, cuya radiación proviene del polvo y los gases ionizados como consecuencia del calentamiento a que se ven sometidas por estrellas cercanas muy calientes.
- Las nebulosas de reflexión reflejan y dispersan la luz de estrellas poco calientes de sus cercanías.
- Las nebulosas oscuras son nubes poca o nada luminosas, que se representan como una mancha oscura, a veces rodeada por un halo de luz.

Las estrellas, las galaxias, las nebulosas, los cuásares, las nubes de polvo o gas interestelar son todos los objetos analizados por espectroscopia. El grosor de la línea de absorción o de emisión nos habla de la abundancia del elemento, más la línea es gruesa, más hay elementos. Sobre un objeto distante se puede deducir su velocidad de movimiento, gracias al efecto Fizeau Doppler (1842). Cuando la estrella se está acercando del observador, las líneas de emisión será ligeramente desplazadas hacia el azul, cuando se aleja las líneas son desplazadas hacia el rojo.

Midiendo el desplazamiento de las líneas espectrales también puede medir su campo de gravitación, por la relatividad general, sabemos que hay un desplazamiento gravitatorio de las líneas espectrales proporcional a la masa del cuerpo y a su radio, más el cuerpo es masivo más el desplazamiento es importante.

DIFERENCIAS ENTRE LOS ESPECTROS

Las rayas (líneas espectrales o el código de barras) de las nebulosas son en emisión, mientras que las rayas de las estrellas son en absorción. El continuo nebular no sigue una emisión de cuerpo negro, como lo hacen las estrellas.

- Nebulosas: Están formadas fundamentalmente por gas ionizado tenue y caliente. Emiten un espectro de líneas de emisión (segunda ley de Kirchhoff-Bunsen)
- Estrellas: La mayor parte de la radiación que observamos de las estrellas procede de la fotosfera. Las capas más profundas, densas y calientes, emiten un espectro continuo (primera ley de Kirchhoff-Bunsen)
- Galaxias: Emiten un espectro continuo con multitud de líneas de absorción superpuestas. Si la galaxia contiene cantidades importantes de gas tenue y caliente, su espectro mostrará además líneas de emisión.

Leyes de la espectroscopia de Kirchhoff

- 1) Un objeto sólido incandescente o un gas denso y caliente, sometido a presiones muy altas, emiten un espectro continuo de luz. Emiten radiación en todas las longitudes de onda.
- 2) Un gas tenue y caliente emite un espectro de líneas brillantes. Emite luz tan solo en ciertas longitudes de onda que dependen de la composición química del gas.
- 3) El espectro de una fuente continua observado a través de un gas frío, muestra líneas oscuras superpuestas de absorción.

COMPONENTES DE LAS SUSTANCIAS OBTENIDOS DE LA ESPECTROMETRÍA

Los colores producidos cuando la luz blanca pasa a través de un prisma son una propiedad de la luz misma, y no consecuencia de algo producido por el vidrio. Este logro tendría consecuencias de alcance extremadamente grande para toda la física, y en particular para nuestro entendimiento del universo. Probablemente, la más familiar de las radiaciones características de un elemento común es la luz amarilla-naranja emitida por el vapor de sodio.

Si observamos un espectro astronómico, y vemos las líneas características de un elemento en particular, podemos decir inmediatamente que ese elemento está presente ya sea en la estrella o galaxia misma o, en algunos casos especiales, en el espacio entre la estrella y nuestro telescopio.

Sabemos que el hidrógeno es con mucho el elemento más común en el universo, y que el hidrógeno puede ser usado como materia prima para fabricar todos los elementos más pesados. Este proceso, el sueño de los alquimistas, procede muy calladamente en el interior profundo de casi todas las estrellas, incluyendo nuestro propio Sol.

Probablemente, el sitio más importante para esta transmutación de los elementos es una explosión de supernova - los increíblemente violentos estertores de muerte de una estrella que es demasiado masiva como para encogerse calladamente en el anonimato.

El espectrógrafo hace también una importante contribución al estudio de los movimientos de los objetos astronómicos.

Si queremos saber qué tan rápido se mueve una estrella a través del cielo (esto es, en ángulo recto con nuestra línea de visión), podemos medir su movimiento propio o su velocidad angular, pero para convertir esto en una velocidad real tenemos que saber su distancia, y las distancias astronómicas son notoriamente difíciles de medir.

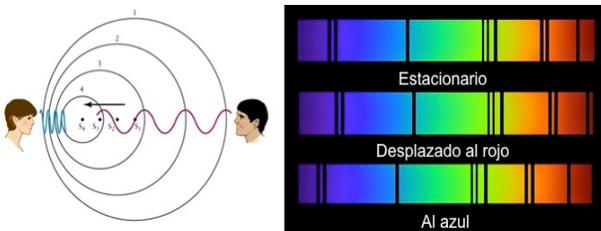
Ahora, para medir su movimiento a lo largo de la línea de visión, su velocidad radial, simplemente utilizamos el principio de Doppler.

EFEECTO DOPPLER

El término efecto Doppler se refiere a todos los fenómenos relacionados con el cambio de frecuencia observada para una perturbación periódica dada. Se denomina en honor al físico austriaco C. Doppler quien enunció los principios esenciales del mismo en 1842, en conexión con la espectroscopia atómica.

Es el efecto producido por una fuente de ondas en movimiento donde hay un aparente

aumento de la frecuencia para los observadores hacia los que se dirige la fuente y una aparente disminución de la frecuencia para los observadores de los que se aleja la fuente. El efecto Doppler hace que las estrellas adquieran una tonalidad cercana



al rojo desde la Tierra

El corrimiento hacia el rojo ocurre cuando una fuente de luz se aleja de un observador, correspondiéndose a un desplazamiento Doppler que cambia la frecuencia percibida en la Tierra de las ondas

La espectroscopia astronómica utiliza los corrimientos al rojo Doppler para determinar el tipo de movimiento que realizan objetos astronómicos distantes

- Cuanto más lejos esté una galaxia, más rápido se moverá y por lo tanto más roja se verá
- A partir del punto en el que pasan del rojo al infrarrojo, se dejan de ver con el ojo humano.

Con el espectrómetro ya armado fuimos capaces de comprobar la investigación documental realizada y a partir de ahí analizar los resultados obtenidos.



Foto 1: Espectro de luz blanca



Foto 2: Espectrómetro vista completa con luz amarilla

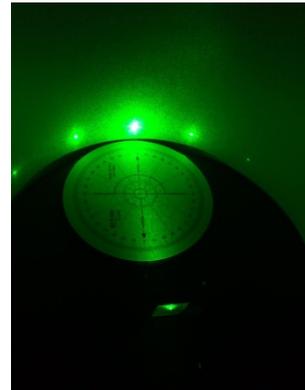


Foto 3: Espectro del láser verde

CONCLUSIONES

La luz que se emita varía en cuanto a su espectro debido a la composición tendiendo más a un color si existiera más cantidad de un elemento en la sustancia que lo irradia, variando de igual forma el grosor de las líneas de emisión y absorción que se obtengan.

En tanto a los espectros de las estrellas, van a variar entre ellos debido a los años luz de distancia que se encuentren con respecto a la Tierra, los componentes e incluso su edad será un factor determinante, haciendo que su temperatura y su luminosidad varíen.

Aunque la luz ha sido de vital importancia para el conocimiento de nuestro entorno, podemos considerarla como un límite.

Thomas Young, (1804), Experimental Demonstration of the General Law of the Interference of Light, Holt Reinhart and Winston, New York, p96-101.

Beltrán Viviana, (2010) Espectroscopia Astronómica, Colombia, Gaceta UNAM, p 1-4.

Eisberg. R. (1973). Fundamentos de Física Moderna. México, D.F.: Limusa

Frederick. (1990). Fundamentos de la Física. México, Edo. México: McGRAW-HILL

Crawford.F. (1965). Waves. E.E.U.U., Massachusetts: McGRAW-HILL

Keith Robinson, 2007. Spectroscopy: The Key of the Stars. Springer.

Fernández Ramón. (2013). Espectroscopia de estrellas con sa 100. NEOMENIA.

<http://webs.um.es/gregomc/IntroduccionAstronomia/Temas/04%20INSTRUMENTOS%20DE%20OBSERVACION.pdf>