



*Construcción de un espectrómetro casero para el análisis de espectros de luz,
mediante el software Spectral Workbench*

*Construction of a homemade spectrometer for the analysis of light spectra, using
the Spectral Workbench software*

*Construção de um espectrômetro caseiro para análise de espectros de luz,
utilizando o software Spectral Workbench*

Vilma Nohemí Yanchapanta-Bastidas ^I
vilma.yanchapanta@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9875-7607>

Nadia Aimee González-López ^{II}
nagonzalez@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7225-9036>

Miguel Ángel Sáez-Paguay ^{III}
miguel.saez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8389-258X>

Richard Willians Pachacama-Choca ^{IV}
richard.pachacama@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0007-1901>

Correspondencia: vilma.yanchapanta@esPOCH.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 16 de mayo de 2020 ***Aceptado:** 19 de junio de 2020 * **Publicado:** 22 de julio de 2020

- I. Magíster en Física Medica, Biofísica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador.
- II. Licenciada de la Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Ciencias Básicas, Departamento de Física, Manabí, Ecuador.
- III. Máster Universitario en Física: Radiaciones, Nanotecnología, Partículas y Astrofísica, Biofísico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador.
- IV. Diploma Superior en Formulación y Evaluación de Proyectos de Investigación, Magíster en Docencia Universitaria e Investigación Educativa, Doctor en Física, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador.

Resumen

La construcción de un espectrómetro casero utilizando materiales de fácil acceso y de bajo costo, permite observar la descomposición de la luz blanca en los colores del espectro de luz visible que lo conforman, convirtiéndose en una forma interactiva de analizar el rango de longitud de onda procedente de diferentes fuentes emisoras de luz. Esta herramienta óptica, ayuda al análisis de la intensidad de luz para generar los diferentes espectros, utilizando como red de difracción un pedazo de CD y el software Spectral Workbench instalado en el celular y computador. Se utilizaron 6 fuentes emisoras de luz (foco de luz cálida, foco de luz fría, lámpara de sodio, luz led azul, luz solar). Cada uno de los espectros al ser visualizados en el programa informático, se obtiene los diferentes valores de longitudes de onda, que van desde 620nm hasta 475nm, a excepción del foco led que solo muestra la longitud de onda correspondiente al color azul y la luz emitida por el sol que presenta valores de longitud de onda que va desde los 450nm hasta los 620nm.

Palabras claves: Espectroscopio; longitud de onda; difracción; fuentes de luz.

Abstract

The construction of a homemade spectrometer using easily accessible and low-cost materials, allows observing the decomposition of white light in the colors of the visible light spectrum that make it up, making it an interactive way to analyze the wavelength range coming from from different light emitting sources. This optical tool helps to analyze the light intensity to generate the different spectra, using a piece of CD and the Spectral Workbench software installed on the cell phone and computer as the diffraction grating. 6 light emitting sources were used (warm light bulb, cold light bulb, sodium lamp, blue LED light, sunlight). Each of the spectra when viewed in the computer program, the different values of wavelengths are obtained, ranging from 620nm to 475nm, with the exception of the LED spotlight that only shows the wavelength corresponding to the blue color and the light emitted by the sun that presents wavelength values ranging from 450nm to 620nm.

Keywords: Spectroscope; wavelength; diffraction; light sources.

Resumo

A construção de um espectrômetro caseiro usando materiais facilmente acessíveis e de baixo custo, permite observar a decomposição da luz branca nas cores do espectro de luz visível que o compõe, tornando-o uma maneira interativa de analisar a faixa de comprimento de onda proveniente de diferentes fontes emisoras de luz. Essa ferramenta óptica ajuda na análise da intensidade da luz para gerar os diferentes espectros, usando um CD e o software Spectral Workbench instalado no telefone celular e no computador como grade de difração. Foram utilizadas 6 fontes emisoras de luz (lâmpada quente, lâmpada fria, lâmpada de sódio, luz azul LED, luz do sol). Cada um dos espectros, quando visualizados no programa de computador, obtém os diferentes valores de comprimentos de onda, variando de 620nm a 475nm, com exceção do refletor LED que mostra apenas o comprimento de onda correspondente à cor azul e à luz emitida pelo sol que apresenta valores de comprimento de onda variando de 450nm a 620nm.

Palavras-Chave: Espectroscópio; comprimento de onda; difração; fontes de luz.

Introducción

Teniendo en cuenta la necesidad de un interés colectivo para el desarrollo de la ciencia y la falta de recursos económicos para el fortalecimiento de equipos didácticos en la educación, es imprescindible generar medidas de optimización de recursos educativos que ayuden al entendimiento de los fenómenos científicos físicos que ocurren en la naturaleza (Heredia Ávalos, 2009). Mediante el análisis de los diferentes fenómenos naturales que ejerce una diferenciación en los campos de estudio que se desea conocer, particularmente, en este trabajo, se busca construir un espectroscopio casera haciendo uso de conocimientos básicos en la Óptica, que es un rama de la ciencia encargada del estudio de los orígenes, propagación y la detección de la luz (Espinoza, Hernandez, Salmerón, Sánchez, & Lié, 2016). Según esta ciencia, ningún espectro es similar a otro, ya que estos presentan características propias de los elementos que emiten o reflejan la luz. En la región visible del espectro electromagnético, cada fuente de luz tiene un espectro característico, y para su detección y análisis, es indispensable la utilización de espectrómetros (Schaum, 2007).

Un espectrómetro conocido también como espectrofotómetro, es un instrumento utilizado en la Óptica para medir las propiedades físicas de la luz de una determinada zona del espectro (Lago

Santolaya, 2010). Permite observar la descomposición de la luz blanca en los colores del espectro de luz visible que lo conforman al difractarse en un prisma o en una rejilla de difracción (García, 2018). Estos equipos contienen dos partes esenciales para su funcionamiento: un separador que aísla las radiaciones monocromáticas y un receptor que realiza un estudio de las mismas. Dependiendo del sistema difractor, se visualiza el espectro correspondiente generado por los elementos al absorber la luz (Lévy, 2006).

Cada elemento que forma una determinada fuente de emisión de luz está compuesto por diferentes estructuras electrónicas, mismas que al ser excitadas por algún estímulo externo, emiten una luz propia, formando un patrón de líneas brillantes diferenciadas por su longitud de onda. A esta representación de intensidad versus longitud de onda se lo conoce como espectro de emisión (Durán Benito, Sanmartin Grijalba, Uriz Huarte, Sola Larrañaga, & García Mora, 2018).

Los espectrofotómetros, por su gran aplicabilidad en los fenómenos generados por la luz (Nabarro, 2015), son dispositivos electrónicos de muy alto costo, por lo que se limita muchas veces al estudio del comportamiento de la luz (Savall-Aleman, Domenech-Blanco, & Martínez-Torregrosa, 2014), por lo que en este trabajo se busca construir un espectrómetro casero que permita observar el comportamiento de la luz de una manera sencilla y sobre todo que este al acceso económico de la mayoría de los estudiantes y de las instituciones de educación (Montoya Rossi, Baltuano, & Arbildo López, 2013).

Para la interpretación o lectura de los espectros de emisión de luz, se hizo uso de la tecnología móvil que avanza con el tiempo y aprovechando que algunos de los estudiantes cuentan con smartphones se utilizó como puente de funcionalidad el *Software Spectral Workbench*, que es una aplicación basado en la web para recopilar espectros (Balado Sánchez, 2018).

Metodología

Para la construcción y evaluación de los espectros de luz se consideró el siguiente proceso: i) Indagación de información preliminar sobre espectroscopios, ii) Análisis del principio físico de funcionamiento del espectroscopio, iii) Selección de fuentes y digitalización de espectros, iv) Análisis de espectros de luz mediante su de longitud de onda

Indagación de información preliminar sobre espectroscopios

Mediante una amplia revisión bibliográfica, sobre el estado del arte del marco conceptual de espectroscopios y su aplicación, se determinó que el espectroscopio es un instrumento óptico usado principalmente para medir las propiedades de la luz sobre una porción específica del espectro electromagnético. Se utiliza básicamente para realizar análisis espectroscópicos en la identificación de materiales (García, 2018).

Análisis del principio físico de funcionamiento del espectroscopio

Un patrón de difracción se produce cuando las ondas atraviesan aberturas pequeñas o rodean obstáculos y/o bordes afilados. Por ejemplo, cuando se coloca una rejilla estrecha entre una fuente luminosa distante monocromática y una pantalla, la luz produce un patrón de difracción con un máximo central rodeado por una serie de bandas secundarias de menor intensidad (máximos secundarios) y una serie de bandas oscuras o mínimos (Pascual, 2018).

La respuesta de los espectros de luz, es independientemente del diseño del espectroscopio y del elemento dispersor. La característica fundamental para el análisis de esta información, es la resolución espectral (R), que indica la capacidad del espectroscopio para separar dos líneas muy próximas:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$$

Donde:

λ representa la longitud de onda y $\delta\lambda$ relaciona la pureza espectral que depende del sistema óptico que estemos utilizando, con el ancho que tendría una línea monocromática al observarse con el espectroscopio.

Este espectrómetro, utiliza como red de difracción un CD donde las redes de difracción se basan en interferencias constructivas que se producen cuando la luz atraviesa una sucesión de obstáculos lineales equiespaciados. Estas interferencias constructivas se producen a distintos ángulos respecto de la línea de incidencia de la luz. Depende fundamentalmente de la longitud de onda difractada; de modo que al incidir una luz blanca se conseguirá una dispersión en todas las longitudes de onda del espectro visible. Cuando la luz pasa por las estrechas ranuras, la difracción convierte cada ranura en una nueva fuente de luz, que estas interactúan o interfieren con la luz en la misma longitud de onda de otras ranuras pudiendo reforzarse una con otra, creando una interferencia constructiva, también pueden cancelarse y convertirse en invisibles, produciendo

una interferencia destructiva. Estas interferencias dependen de un ángulo único de la rejilla (Universidad Complutense Madrid, 2014)

Para describir el efecto de una red de difracción se utiliza la siguiente fórmula.

$$m\lambda = \vartheta(\text{sen}\alpha + \text{Sen}\beta)$$

Donde: m representa el orden de difracción λ la longitud de onda, ϑ el paso de la red (separación entre obstáculos), α es el ángulo de incidencia y β el ángulo de difracción.

La red de difracción que viene a ser en este caso la capa del CD que es la parte que permite la descomposición de la luz. Esta contiene varios agujeros pequeños separados radialmente por ranuras espirales. Este espaciamiento es ligeramente más grande que la longitud de onda de luz visible, lo que produce la descomposición en colores que se observan cuando se inclina el CD de un lado a otro con una fuente de luz (Olmo, 2014).

Selección de fuentes y digitalización de espectros

Las fuentes de luz a utilizar son 6 con diferentes longitudes de onda como el foco de luz cálida, foco de luz fría, lámpara de sodio, luz solar, luces LED. Se escogieron estas, por su estructura y composición diferente.

Para la digitalización de los espectros se utilizó el *Software Spectral Workbench* que sirve para realizar el análisis óptico en función de la intensidad luminosa y longitudes de onda procedentes de cada una de las fuentes de luz. Este tiene como función mostrar los espectros emitidos permitiendo la visualización de los mismos en 2 dimensiones, en el eje de las abscisas se muestra el valor de longitud de onda (λ) y en el eje de las ordenadas la intensidad (I) (Navarro, 2015). Este software está instalado en dispositivos electrónicos como una computadora y un celular.

Análisis de espectros de luz mediante su de longitud de onda

Para adquirir los espectros de luz previo a su análisis, el teléfono celular es ubicado de manera perpendicular a la red de difracción, para que la cámara del teléfono móvil pueda captar el espectro de luz completo, el teléfono, está vinculado a la computadora portátil que tiene instalado el software Spectral Workbench que es una aplicación libre online (Peña, 2012) (Figura 1).

Figura 1: Esquema utilizado para la adquisición de los espectros de luz



Fuente: Elaboración propia

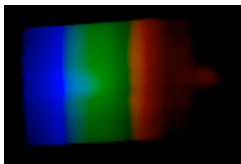

Resultados y Discusión

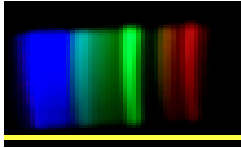

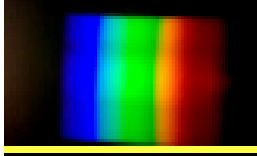




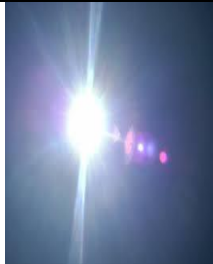
En la tabla 1 se observa los espectros de emisión de luz de cada una de las fuentes utilizadas:

La fuente de luz cálida que tiene un filamento de tungsteno, el cual es muy fino y se halla contenido dentro de una ampolla de vidrio (al vacío) relleno con un gas inerte, para evitar que el filamento se volatilice por las altas temperaturas que se generan dentro de él (Enriquez, 2004) presenta un espectro discontinuo que va desde el azul hasta el rojo con una longitud de onda de 450-750 nm respectivamente, información que corrobora (Ordóñez, 2012).

El foco de luz fría o también conocido como foco ahorrador, presenta un espectro discontinuo de absorción, el cual tiene una longitud de onda que va desde el color azul hasta el rojo con excepción del color amarillo (570-590 nm) (Ordóñez, 2012).


Tabla 1: Espectros de luz generadas por las 6 fuentes utilizadas en esta investigación

Fuente	Espectro de luz	Objeto utilizado
Luz cálida		

<p>Luz fría</p>		
<p>Lámpara de sodio</p>		
<p>Foco LED</p>		
<p>Sol</p>		

A diferencia de las otras fuentes de luz, la lámpara de sodio con espectro continuo tiene valores de longitudes de onda que va desde el azul, hasta el rojo; este presenta cierta peculiaridad en el color amarillo (570-590 nm), el cual presenta mayor intensidad que la luz cálida, esto se debe al elemento fundamental que forma este tipo de lámpara, el sodio. El foco LED utilizado en las luces navideñas, presenta un espectro monocromático, únicamente presenta el color azul con longitud de onda (450-475 nm) y por último la luz solar presenta un espectro continuo (Sánchez & Pedraza, 2011) con todas las longitudes de onda del espectro de luz visible que se encuentran en una longitud de onda de 380-750 nm que corresponde a los colores Rojo, naranja, amarillo, verde, ciano, azul, violeta como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Fuentes utilizadas asociadas a su longitud de onda

			FUENTE	COLORES
				Foco de luz cálida
	Foco de luz fría	Rojo, naranja, verde, cian, azul		
	Lámpara	Rojo, naranja, verde, cian, azul		
	Linterna	Rojo, naranja, verde, cian, azul		
	Foco led	azul		
	Sol	Rojo, naranja, amarillo, verde, ciano, azul, violeta		

Fuente: ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Conclusiones

- El espectroscopio construido con cartulina negra y un pedazo de CD como red de difracción, funcionó de manera correcta debido a que los espectros visibles obtenidos por cada una de las fuentes de luz, tienen las longitudes de onda específicas para cada color según el espectro electromagnético en el rango de luz visible, valores que son sustentados por (Durán Benito, Sanmartin Grijalba, Uriz Huarte, Sola Larrañaga, & García Mora, 2018)
- El espectrómetro casero es un instrumento óptico de muy bajo costo, que permite observar el comportamiento de la luz de una manera sencilla de los diferentes tipos de fuentes, incluso es factible conocer el elemento que lo compone y sobre todo que está al acceso económico de la mayoría de los estudiantes e Instituciones educativas.
- De las 5 fuentes utilizadas dan como resultado diferentes tipos de espectros dependiendo del material utilizado (en el caso de las bombillas) y la temperatura a la cual se encuentre (sol), el foco de luz fría muestra las líneas espectrales claramente diferenciadas; la lámpara de sodio también manifiesta un espectro continuo, el foco led presenta un espectro discontinuo y finalmente el sol presenta un espectro continuo en todas las longitudes de onda;

- Cada fuente dependiendo de la emisión de luz, al pasar por la red de difracción muestra los diferentes valores de longitudes de onda, que van desde 620 nm (color rojo) hasta 475 nm (color azul), a excepción del foco led que solo muestra la longitud de onda correspondiente al color azul (450-475 nm) y la luz emitida por el sol, que dependiendo de su temperatura, muestra valores de longitud de onda que va desde los 450 nm (color violeta) hasta los 620 nm (color rojo).

Referencias

1. Balado Sánchez, C. (2018). Implementación de instrumental científico utilizando dispositivos móviles . Vigo, España.
2. Durán Benito, A., Sanmartin Grijalba, C., Uriz Huarte, A., Sola Larrañaga, C., & García Mora, J. (2018). Enseñanza Química III. Servicio de publicaciones de la Universidad de Navarra.
3. Enriquez, H. (2004). El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. México : Limusa.
4. Espinoza, N., Hernandez, L., Salmerón, L., Sánchez, L., & Lié. (2016). Óptica, teoría de primer orden. México: trillas S.A.
5. García, R. D. (2018). Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro. Avances en Química, 79-82.
6. Heredia Ávalos, S. (2009). Como construir un espectroscopio casero. Revista Eureka, enseñanza divulgación científica-Ciencia Recreativa, 491-495.
7. Lago Santolaya, P. (2010). Construcción de un espectroscopio. Recuperado el 13 de 04 de 2020, de Como motivar a los estudiantes mediante actividades científicas atractivas : <https://www.cac.es/cursomotivar/resources/document/2010/4.pdf>
8. Lévy, E. (2006). Física . Madrid : Akal S.A.
9. Montoya Rossi, E., Baltuano , E., & Arbildo López, A. (2013). Espectrómetro para radiación visible hecho en casa, de bajo costo y altas prestaciones. Revista de la Sociedad Química del Perú, 80-91.
10. Nabarro, J. (2015). Óptica Física. Madrid: Punto Rojo. Obtenido de https://revistas.ustatunja.edu.co/public/site/images/formato_articulo_2018.docx

11. Ordóñez, J. L. (2012). Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. Manual informativo de ACTA, 17-31.
12. Pascual, F. (2018). Para que experimentes la ciencia y la tecnología. Bariloche: Instituto Balseiro.
13. Peña, J. (2012). La espectroscopía y su desarrollo como una herramienta didáctica para comprender la estructura de la materia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
14. Sánchez, M., & Pedraza, A. (2011). Alternativa didáctica para la caracterización Físico-Química de las líneas espectrales del sol. Revista científica, 1.
15. Savall-Aleman, F., Domenech-Blanco, J., & Martinez-Torregrosa, J. (2014). El espectroscopio cuantitativo como instrumento para la construcción y uso de modelos de emisión y absorción de radiación en física cuántica. Revista Brasileira de ensino de Física, 36(4).
16. Schaum, D. (2007). Fundamentos Físicos de Electromagnetismo y Óptica. Bogotá: Péndulo. Obtenido de <https://astrojem.com/teorias/espectroelectromagnetico.html>
17. Universidad Complutense Madrid. (15 de 06 de 2014). webs.ucm.es. Obtenido de <https://webs.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/TRABAJOS/UGARTE/3.htm>
18. Zumdahl, S. S., & Zumdahl, S. A. (2003). Atomic Structure and Periodicity (Estructura atómica y periodicidad) (6th ed.). Boston: Houghton Mifflin Company.

References

1. Balado Sánchez, C. (2018). Implementation of scientific instruments using mobile devices. Vigo, Spain.
2. Durán Benito, A., Sanmartin Grijalba, C., Uriz Huarte, A., Sola Larrañaga, C., & García Mora, J. (2018). Chemical Teaching III. Publications service of the University of Navarra.
3. Enriquez, H. (2004). The ABC of lighting and low voltage electrical installations. Mexico: Limusa.
4. Espinoza, N., Hernandez, L., Salmerón, L., Sánchez, L., & Lié. (2016). Optics, first order theory. Mexico: trillas S.A.
5. García, R. D. (2018). Instruments that revolutionized chemistry: the history of the spectrophotometer. Advances in Chemistry, 79-82.

6. Heredia Ávalos, S. (2009). How to build a homemade spectroscope. Eureka magazine, scientific dissemination teaching-Recreational Science, 491-495.
7. Santolaya Lake, P. (2010). Construction of a spectroscope. Retrieved on 04/13/2020, from How to motivate students through attractive scientific activities: <https://www.cac.es/cursomotivar/resources/document/2010/4.pdf>
8. Lévy, E. (2006). Physical . Madrid: Akal S.A.
9. Montoya Rossi, E., Baltuano, E., & Arbildo López, A. (2013). Low cost, high performance home-made visible radiation spectrometer. Magazine of the Chemical Society of Peru, 80-91.
10. Nabarro, J. (2015). Physical Optics. Madrid: Red Point. Obtained from https://revistas.ustatunja.edu.co/public/site/images/formato_articulo_2018.docx
11. Ordóñez, J. L. (2012). Electromagnetic spectrum and radioelectric spectrum. ACTA Information Manual, 17-31.
12. Pascual, F. (2018). For you to experience science and technology. Bariloche: Instituto Balseiro.
13. Peña, J. (2012). Spectroscopy and its development as a didactic tool to understand the structure of matter. Bogotá: National University of Colombia.
14. Sánchez, M., & Pedraza, A. (2011). Didactic alternative for the Physical-Chemical characterization of the spectral lines of the sun. Scientific journal, 1.
15. Savall-Aleman, F., Domenech-Blanco, J., & Martinez-Torregrosa, J. (2014). The quantitative spectroscope as an instrument for the construction and use of radiation emission and absorption models in quantum physics. Brazilian Journal of Physics Ensino, 36 (4).
16. Schaum, D. (2007). Physical Foundations of Electromagnetism and Optics. Bogotá: Pendulum. Obtained from <https://astrojem.com/teorias/espectroelectromagnetico.html>
17. Complutense University Madrid. (06 06 2014). webs.ucm.es. Obtained from <https://webs.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/TRABAJOS/UGARTE/3.htm>
18. Zumdahl, S. S., & Zumdahl, S. A. (2003). Atomic Structure and Periodicity (6th ed.). Boston: Houghton Mifflin Company.

Referências

1. Balado Sánchez, C. (2018). Implementação de instrumentos científicos usando dispositivos móveis. Vigo, Espanha.
2. Durán Benito, A., Sanmartin Grijalba, C., Uriz Huarte, A., Sola Larrañaga, C., & García Mora, J. (2018). Ensino de Química III. Serviço de publicações da Universidade de Navarra.
3. Enriquez, H. (2004). O ABC da iluminação e instalações elétricas de baixa tensão. México: Limusa.
4. Espinoza, N., Hernandez, L., Salmerón, L., Sánchez, L. e Lié. (2016). Ótica, teoria de primeira ordem. México: trillas S.A.
5. García, R. D. (2018). Instrumentos que revolucionaram a química: a história do espectrofotômetro. Avanços em Química, 79-82.
6. Heredia Ávalos, S. (2009). Como construir um espectroscópio caseiro. Revista Eureka, ensino de disseminação científica-Recreational Science, 491-495.
7. Santolaya Lake, P. (2010). Construção de um espectroscópio. Recuperado em 13/04/2020, de Como motivar os alunos por meio de atividades científicas atraentes: <https://www.cac.es/cursomotivar/resources/document/2010/4.pdf>
8. Lévy, E. (2006). Física . Madri: Akal S.A.
9. Montoya Rossi, E., Baltuano, E., & Arbildo López, A. (2013). Espectrômetro de radiação visível caseiro, de baixo custo e alto desempenho. Revista da Sociedade Química do Peru, 80-91.
10. Nabarro, J. (2015). Óptica Física. Madri: Ponto Vermelho. Obtido em https://revistas.ustatunja.edu.co/public/site/images/formato_articulo_2018.docx
11. Ordóñez, J.L. (2012). Espectro eletromagnético e espectro radioelétrico. Manual de informações do ACTA, 17-31.
12. Pascual, F. (2018). Para você experimentar ciência e tecnologia. Bariloche: Instituto Balseiro.
13. Peña, J. (2012). A espectroscopia e seu desenvolvimento como ferramenta didática para entender a estrutura da matéria. Bogotá: Universidade Nacional da Colômbia.
14. Sánchez, M., & Pedraza, A. (2011). Alternativa didática para a caracterização físico-química das linhas espectrais do sol. Revista científica, 1.

15. Savall-Aleman, F., Domenech-Blanco, J. & Martinez-Torregrosa, J. (2014). O espectroscópio quantitativo como instrumento para a construção e uso de modelos de emissão e absorção de radiação na física quântica. Revista Brasileira de Física Ensino, 36 (4).
16. Schaum, D. (2007). Fundamentos físicos do eletromagnetismo e óptica. Bogotá: Pêndulo. Obtido em <https://astrojem.com/teorias/espectroelectromagnetico.html>
17. Universidade Complutense de Madri. (06 06 2014). webs.ucm.es. Obtido em <https://webs.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/TRABAJOS/UGARTE/3.htm>
18. Zumdahl, S. S. e Zumdahl, S. A. (2003). Estrutura atômica e periodicidade (6ª ed.). Boston: Houghton Mifflin Company.