

19/06/2020



¡HAGASE LA LUZ!

ÓPTICA, ESPECTROSCOPIA Y EDUCACIÓN SECUNDARIA

Universidad Pública de Navarra, Pamplona

Facultad de Ciencias Humanas y Sociales

Master Universitario de Profesorado Educación Secundaria

Trabajo Fin de Máster

Autor: Ignacio María López Corral

lopez.130815@e.unavarra.es

Director del TFM: Alfonso Cornejo Ibergallartu

19/06/2020

ABSTRACT

This Master Thesis claims that the optics are insufficiently covered in the official curricula of Secondary Education in Spain. An examination of the contents in the curricula infers that optics and waves are missing throughout the ESO and most of the Bachillerato, with the only exceptions being found in the optional subject *Physics* in the second year of Bachillerato. With the aim of introducing these contents in Secondary Education, a lesson plan is proposed which intends to build a visible spectrum spectrometer using active learning methodologies. The results obtained with this lesson plan on a group of students in the second year of Bachillerato at IES Basoko in Pamplona during the COVID 19 are discussed. These results are quite limited but encouraging, given the adverse circumstances of the confinement.

Keywords: optics, light, spectrometer, secondary education, diffraction grating.

RESUMEN

Este trabajo fin de máster plantea el insuficiente tratamiento de la óptica en el currículo de la Educación Secundaria en España. Un repaso del currículo concluye que la óptica está ausente del currículo tanto en la ESO como en el Bachillerato, a excepción de en la asignatura opcional *Física* de segundo de Bachillerato. A fin de introducir la óptica en Secundaria, se propone una unidad didáctica cuyo objetivo instrumental es la construcción de un espectroscopio visible en base a metodologías activas. Se analizan los resultados obtenidos con esta unidad didáctica con un grupo de estudiantes de segundo de Bachillerato del centro IES Basoko de Pamplona durante el confinamiento por COVID 19. Los resultados obtenidos vía telemática son limitados pero alentadores teniendo en cuenta lo desfavorable de las circunstancias.

Palabras clave: óptica, luz, espectrómetro, educación secundaria, rejilla de difracción.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Abstract.....	3
Resumen	3
1. Introducción.....	7
2. Objetivos.....	9
3. La Óptica y los currículos de Educación Secundaria	9
3.1. Currículo de la ESO.....	9
3.2. Currículo de Bachillerato	10
3.2.1. Física y Química 1º de Bachillerato.....	11
3.2.2. Química 2º de Bachillerato.....	11
3.2.3. Física 2º de Bachillerato.....	11
4. El papel de la espectroscopía en la ciencia.....	15
5. Unidad didáctica espectroscopía visible	18
5.1. Contextualización.....	18
5.2. Objetivos de la unidad didáctica espectroscopía visible.....	20
5.2.1. Objetivos competenciales comunes a toda la Educación Secundaria.....	20
5.2.2. Objetivos de la unidad en Educación Secundaria Obligatoria.....	20
5.2.3. Objetivos de la unidad didáctica en cursos de Bachillerato	22
5.2.4. Objetivos globales.....	24
5.3. Contenidos	24
5.4. Metodología.....	25
5.5. Temporalización.....	26
5.6. Actividades realizadas.....	27
5.7. Evaluación.....	35
5.7.1. Instrumentos de evaluación	35
5.7.2. Criterios de evaluación	35
5.7.3. Criterios de calificación.....	36
5.1. Atención a la diversidad	38
6. Resultados y discusión	38
6.1. Metodología y contenidos	38
6.2. Resultados experimentales obtenidos	39
6.3. Informes escritos.....	40
6.4. Motivación, implicación y participación.....	41
7. Conclusiones.....	42

8. Bibliografía.....	43
9. Anexos.....	45
9.1. Anexo A. Plantilla ejemplo para el informe final.....	45
9.2. Anexo B. PowerPoint “Albores de la espectroscopía”	46
9.3. Anexo C. PowerPoint “Construcción de un espectroscopio escolar”	73
9.4. Anexo D. Albores de la espectroscopía.....	88
9.5. Anexo E. Construcción de un espectroscopio escolar	110
9.6. Anexo F. Materiales necesarios.....	121
9.6.1. Para la introducción y medición de la D de la red de difracción	121
9.6.2. Para construir el espectroscopio.....	121
9.6.3. Fuentes lumínicas	121
9.7. Anexo G. Ejemplo de informe final de un alumno	122

1. INTRODUCCIÓN

La luz es probablemente el fenómeno más cotidiano, y de entre los cinco sentidos el perder la vista suele considerarse como la pérdida más grave. De hecho, percibimos gran parte de la realidad a través de la luz. La cosmología nos habla de hipótesis para la creación del universo como el Big-Bang en las que plantean que hubo instantes iniciales en los que solo hubo luz y no materia. Por otra parte, el idioma está lleno de expresiones metafóricas en las que comprender es “hacerse la luz”, y el libro más popular de la historia de la literatura no pasa del tercer versículo para decir “hágase la luz”.

La luz¹, de acuerdo con la definición de la Real Academia Española, es el agente físico que hace visibles los objetos. La luz visible es una pequeña parte del espectro de la radiación electromagnética que es percibida por nuestros ojos y cuya longitud de onda se encuentra entre los 380 nm y 780 nm. La ciencia que estudia los fenómenos relacionados con la luz se denomina óptica^{2,3}.

Desde un punto de vista más cotidiano y práctico, las situaciones en las que se experimenta luz producida en base a fenómenos de luminiscencia muy variados son hoy algo cotidiano: los encontramos en pantallas electrónicas de todo tipo, en los nuevos sistemas de iluminación, por no hablar de los microondas, las mil cámaras que va a terminar teniendo un móvil o las cámaras de vigilancia que ya nos rodean en todas partes. Por otra parte, las técnicas espectroscópicas más variadas son también de uso cotidiano en laboratorios, industrias y hospitales. Como resultado de todo esto, muchas de las tecnologías que usamos a diario, y que se han convertido en imprescindibles en nuestra sociedad, están basadas en la óptica.

A pesar de este papel central que ocupa la luz a todos los niveles en nuestra realidad física, humana y social, y en cómo percibimos y comprendemos el mundo, los currículos de secundaria le otorgan una atención mucho menor de la que probablemente merece. De este modo, resulta complicado dotar al común de los ciudadanos de una comprensión general mínima de cómo y por qué funcionan una buena parte de las tecnologías en las que se basa nuestra vida contemporánea.

Se argumentará, no sin razón, que conceptos como el electromagnetismo, la propagación de ondas o la naturaleza dual onda-partícula resultan demasiado avanzados para un estudiante de ESO o Bachillerato. Sin embargo, con ser esto cierto, en particular si adoptamos aproximaciones muy formalistas a estas nociones, se puede argumentar que, si aplicáramos los mismos criterios a muchos otros contenidos que sí se introducen desde 2º curso de la ESO, podríamos concluir que no se puede tocar ningún concepto posterior quizá a 1900 en nuestros currículos. Por ejemplo, conceptos igual de difíciles de presentar formalmente, y quizá no tan trascendentales, sí que se tratan repetidamente en el currículo a lo largo de toda la secundaria. Por poner solo unos pocos ejemplos, la electricidad y circuitos, el concepto de energía, el concepto de entropía o los modelos atómicos del siglo XX, los cuales se introducen tras las oportunas transposiciones pedagógicas

¹ Al hablar de “luz”, independientemente de definiciones de diccionario, en este documento estaremos refiriéndonos, de una forma terminológicamente algo laxa, no solo a la luz visible sino en general a las radiaciones electromagnéticas.

² Al hablar de óptica no se debe entender en sentido restringido “óptica geométrica” como a menudo se hace coloquialmente, sino en su sentido estricto como rama de la física que estudia el comportamiento de la luz y sus propiedades, incluyendo su interacción con la materia.

³ Siguiendo las últimas normas publicadas en la ortografía de la RAE, en este documento los nombres de las ramas del conocimiento se escribirán con minúscula. Únicamente se escribirán con mayúscula cuando designen estudios o materias regladas, tal y como también prescribe la RAE.

que los adapten al nivel de estudiantes de secundaria, y así encuentren su necesaria cabida en el currículo.

El objetivo último de la Educación Secundaria desde el punto de vista de la física y la química es la adquisición de una mínima competencia científica que, ineludiblemente, exige adquirir una comprensión general de cómo funciona el mundo físico. Es por ello difícil comprender por qué la naturaleza de la radiación electromagnética y de su interacción con la materia son relegados en los currículos de Secundaria, y son considerados, aparentemente, bien menos fundamentales, bien menos importantes o menos adaptables pedagógicamente que cuestiones como la energía, la entropía o el átomo de Bohr

Dos motivos pueden estar en el fondo de esta omisión. Por una parte, la extensión de la escolarización obligatoria que se ha producido en el último cuarto del siglo XX y el complicado problema estructural que lleva aparejado, debido a que el currículo tradicional diseñado para una educación para algunos no se adapta a la variedad natural de la totalidad de la población adolescente. En este complicado contexto, se ha actuado de forma muy conservadora con respecto a la arquitectura y contenidos fundamentales de los currículos, con pequeños retoques para incluir memes contemporáneos como el medio ambiente o la omnipresente energía, y aligerándolo en la medida de lo posible de casi todo lo demás, sobre todo en sus cursos inferiores, para así hacerlo accesible a más alumnos en el marco de un sistema con pocas alternativas. El segundo motivo es quizá la fuerte identificación que tenemos con lo que hacíamos en la adolescencia, cuando se estaba forjando nuestra identidad, y cómo tendemos a pensar que nuestros hijos, o nuestros alumnos, deben estudiar lo mismo que se estudiaba hace treinta años.

Si queremos fomentar unas deseables competencias científicas de tipo renacentista en nuestros alumnos, quizá deberíamos inspirarnos en los pioneros de la ciencia moderna, los inventores de esa obsesiva cinemática y dinámica clásicas de nuestros currículos. Tanto Galileo como Newton tuvieron entre sus grandes inquietudes la óptica y la naturaleza de la luz, y algunas de sus contribuciones más recordadas pasan por la construcción de instrumentos ópticos. Si Newton levantara la cabeza quizá se sintiera halagado por el gran peso que su dinámica tiene en el currículo, pero al mismo tiempo dudaría del sentido común que inspira un currículo que ignora la óptica.

Los avances científico-tecnológicos producidos en los últimos 50 años han sido de tal magnitud que puede que exijan la revisión del currículo en su conjunto. Y entre otras revisiones, la naturaleza electromagnética, y dual, de la luz, su espectro y rudimentos de óptica geométrica y aproximaciones a las variadas formas en las que interacciona con la materia son esenciales hoy en día para poder tener una mínima noción de por qué funcionan tantos aparentemente mágicos dispositivos que nos rodean. Al igual que en la primera mitad del siglo XX se introdujo la electricidad y los circuitos eléctricos, que en aquel momento permitían entender de manera general las nuevas tecnologías cotidianas de la segunda revolución industrial, hoy en día tenemos que introducir nuevas nociones. La cinemática y la mecánica clásica quizá no tengan la importancia capital que tuvieron en el siglo XIX, cuando se concibieron los currículos de ciencias en los que se basan los actuales, y quizá no esté justificado en la actualidad el gran peso que mantienen en el currículo. Esta circunstancia quizá se justifique por el importante papel pedagógico que juegan la cinemática o la dinámica en la consolidación de las competencias matemáticas, pero al darles tanta importancia se pueden estar generando carencias en competencias científicas provocadas, por ejemplo, por el efectivo destierro de disciplinas esenciales como la óptica.

No obstante todo lo anterior, hay que decir que los fundamentos de óptica y de electromagnetismo se incluyen profusamente en el currículo de los estudiantes de *Física* del último curso de Bachillerato. Sin embargo, estos conceptos no son menos necesarios para los estudiantes de *Química* o las numerosas disciplinas relacionadas, debido a los diferentes itinerarios que pueden cursar para acceder a la Educación Superior; con el actual diseño curricular, los estudiantes pueden llegar a la universidad sin saber nada de óptica o de qué tiene de común la luz ultravioleta con las ondas de radio, las microondas, los rayos X o la radiación infrarroja.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este Trabajo Fin de Máster es elaborar una unidad didáctica que introduzca los conceptos básicos de la óptica mediante la construcción de un espectroscopio. Aunque la unidad didáctica se plantee para Segundo curso de Bachiller, se pretende sea lo suficientemente versátil para poder adaptarse al resto de niveles de la Educación Secundaria.

Este objetivo general se apoya en los siguientes objetivos específicos:

- Se analizarán los contenidos y objetivos de los currículos oficiales de la ESO y Bachillerato para tener una idea de conjunto de como se trata la óptica, las ondas y la naturaleza de la luz y su interacción con la materia a lo largo de toda la Educación Secundaria.
- Se presentará una propuesta de unidad didáctica, dedicada a la espectroscopía con una fuerte componente experimental, cuya pretensión es contribuir a paliar el insuficiente tratamiento que la óptica tiene en el currículo oficial de la ESO y Bachillerato. Se pretende que la unidad didáctica esté basada en metodologías activas, debiendo los alumnos construir por sus propios medios un espectroscopio de luz visible, calibrarlo, utilizarlo para analizar espectros y proponer aplicaciones de utilidad científica escolar para tal instrumento.
- Se analizarán los resultados obtenidos de una primera implementación experimental de esta unidad didáctica sobre un grupo de 15 alumnos de segundo de Bachillerato en el IES Basoko de Pamplona, de forma no presencial durante el confinamiento del COVID 19.

3. LA ÓPTICA Y LOS CURRÍCULOS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA

3.1. Currículo de la ESO

Si observamos el currículo de la ESO en su conjunto, a lo largo de los tres cursos en los que se estudia la física y la química, dicha enseñanza se articula alrededor de los mismos bloques: método científico, la materia, los cambios, cinemática/dinámica y energía.

Se indica en el currículo, en la introducción a la materia *Física y Química*, que la aproximación debe ser fenomenológica, y una explicación lógica de todo lo que el alumno conoce. Es cierto que en el currículo podemos encontrar conceptos poco intuitivos como los átomos, la energía térmica o bien la energía mecánica. Sin embargo, a pesar de que la luz es un fenómeno totalmente cotidiano para los alumnos y de que la ESO debe ser terminal, en ninguno de estos bloques, tal como están planteados, parece tener cabida la óptica, las ondas o las diversas radiaciones, cuyo estudio merecería, de hecho, un bloque entero por derecho propio.

Los tres primeros bloques indicados se van repitiendo curso tras curso. El primero tiende a minusvalorarse, y el de energía se utiliza, de alguna manera, como comodín para ir introduciendo bien la electricidad, el calor y la temperatura o complementos de mecánica

(energías potencial y cinética). Es claro que, con la excusa del meme de la energía, se puede incluir en el currículo lo que se quiera. Entonces, por qué no la energía lumínica, que al fin y al cabo es el origen de todas las demás, y también de la materia, si hacemos caso a las actuales teorías sobre el origen del universo. Como ya se ha argumentado en la introducción, este hecho probablemente comprometa seriamente la concepción del mundo físico alcanzada por nuestros estudiantes de secundaria, que no pueden comprender cómo ni por qué funcionan la pantalla de su móvil, su ojo, la bombilla que le ilumina, la cámara del móvil y su flash, el microondas, por qué parece que se va a acabar el mundo por el efecto invernadero, o una infinidad creciente de dispositivos.

Un repaso detallado del currículo actual de la ESO (Gobierno de Navarra, 2015a) en busca de contenidos y estándares evaluables relacionados con la luz y la óptica revela su casi total ausencia del currículo oficial. No existe ninguna referencia directa a la óptica o a las ondas. El único estándar evaluable que tiene alguna relación con la luz sería, de forma indirecta en el bloque 2, *La materia* del 4º curso de ESO, donde podemos encontrar un estándar evaluable que dice:

1.1 Comparar los diferentes modelos atómicos propuestos a lo largo de la historia para interpretar la naturaleza íntima de la materia, interpretando las evidencias que hicieron necesaria la evolución de estos.

Dado que la espectroscopía y experimentos en los que interviene la luz constituyen evidencia experimental fundamental en algunos modelos atómicos, va a ser difícil interpretar tal evidencia si no se habla de la luz y algunas de sus propiedades.

En el único libro de 4º curso de ESO disponible por el autor durante el confinamiento (María del Carmen Vidal Fernández, Gómez, & de Luis García, 2019) de editorial Santillana, lógicamente se habla de espectros al tratar el mencionado contenido, y se presenta el clásico diagrama con las orbitas del átomo de Bohr y sus energías, pero curiosamente se pasa de puntillas sobre la luz, casi no se menciona, y se presentan fotos de espectros casi simplemente decorativas.

En el resto del currículo de la ESO no hay ninguna otra referencia explícita, ni tan siquiera indirecta, a las ondas, la luz o la óptica. Habría que recurrir al espectroscopio como equipo básico de laboratorio cuando en el bloque 1 sobre actividad científica tanto, en 2º como en 3º cursos de ESO se indica:

4.2 Identifica material e instrumentos básicos de laboratorio y conoce su forma de utilización para la realización de experiencias respetando las normas de seguridad e identificando actitudes y medidas de actuación preventivas.

En Educación Secundaria Obligatoria muy acertadamente se orientan los instrumentos básicos a las balanzas y material de vidrio volumétrico, en 2º de ESO en particular porque se trabaja en el bloque siguiente el concepto de densidad. En cualquier caso, no parece tenga sentido justificar el uso generalizado de espectroscopios de diferentes tipos en casi cualquier tipo de laboratorio, pues en general podemos decir que, por el momento, están fuera de lugar en un laboratorio de secundaria, tanto por motivos pedagógicos como también presupuestarios.

3.2. Currículo de Bachillerato

Un repaso del currículo vigente del Bachillerato (Gobierno de Navarra, 2015b), tanto de *Física* y *Química* de 1º curso, de *Física* de 2º curso como de *Química* de 2º curso, arroja algo más de luz sobre la situación de la óptica en secundaria. Estamos ya en un nivel en el que los alumnos

que cursan estas asignaturas en general están orientados hacia estudios universitarios que incluirán, en mayor o menor medida, disciplinas con contenidos relacionados con la química y la física. Sin embargo, no parece que la situación mejore mucho con respecto a la enseñanza de unas nociones mínimas de óptica.

3.2.1. Física y Química 1º de Bachillerato

En este curso, si bien el currículo oficial adquiere amplitud y profundidad formal con respecto a la ESO, las ondas y la óptica siguen completamente ausentes.

La única referencia en este curso se produce en el *Bloque 2 “Aspectos Cuantitativos de la Química”*, cuyo último estándar evaluable dice:

7.1 Describe las aplicaciones de la espectroscopía en la identificación de elementos y compuestos.

Parece que la espectroscopía tiene interés para el análisis de sustancias, pero, dado el desconocimiento de la óptica por parte de los alumnos, es difícil que este contenido pase de ser un repaso anecdótico de algunas espectroscopías de uso, en efecto, muy común en cualquier laboratorio de química.

3.2.2. Química 2º de Bachillerato

En el último curso de Bachillerato tenemos dividida lo que hasta ahora era una única asignatura *Física y Química* en dos asignaturas, ambas optativas, con un tratamiento de la cuestión que nos ocupa totalmente divergente en una asignatura con respecto de la otra.

La asignatura *Química* en este curso continúa sin dedicarle casi ninguna atención a la luz, cosa solo comprensible si adoptamos el convencionalismo tradicional que delimita con aparente claridad los límites entre la química y la física, convención en la que la luz parece caer del lado de la física.

El currículo de *Química*, en su bloque *“Origen y evolución de los componentes del universo”* (que a pesar de tan solemne título dedica sus contenidos en su mayor parte a otras cuestiones) incluye los siguientes estándares evaluables:

1.1 Explica las limitaciones de los distintos modelos atómicos relacionándolos con los distintos hechos experimentales que lleva asociados.

1.2 Calcula el valor energético correspondiente a una transición electrónica entre dos niveles dados relacionándolo con la interpretación de los espectros atómicos.

3.1 Determina longitudes de onda asociadas a partículas en movimiento para justificar el comportamiento ondulatorio de los electrones.

Como vemos, igual que en 4º de ESO, nos encontramos con que tenemos que interpretar cuestiones fundamentales sobre la materia sin conocimientos elementales de óptica que son indispensables para su comprensión. Ahora además seremos informados de que la materia también puede tener naturaleza ondulatoria sin haber hablado nunca de la onda por antonomasia (la luz), o de las propiedades de las ondas en general.

3.2.3. Física 2º de Bachillerato

Para terminar, el currículo de la optativa *Física* de 2º de Bachillerato da por fin a la luz y las ondas la atención que merecen. El currículo de *Física*, tras un completo bloque dedicado al electromagnetismo, incluye dos bloques completos dedicados a las ondas y a la óptica geométrica. Merece la pena detallar todos los estándares relacionados con la cuestión que

nos ocupa, pues son muchos y muy interesantes (se han eliminado los estándares evaluables no relacionados directamente con la óptica, la luz o la espectroscopía):

Bloque 4, Ondas

1.1. Determina la velocidad de propagación de una onda y la de vibración, interpretando ambos resultados.

1.2. Explica las diferencias entre ondas longitudinales y transversales a partir de la orientación relativa de la oscilación y de la propagación.

2.1. Reconoce ejemplos de ondas mecánicas en la vida cotidiana.

3.1. Obtiene las magnitudes características de una onda a partir de su expresión matemática.

3.2. Escribe e interpreta la expresión matemática de una onda armónica transversal dadas sus magnitudes características.

4.1. Dada la expresión matemática de una onda, justifica la doble periodicidad con respecto a la posición y el tiempo.

5.1. Relaciona la energía mecánica de una onda con su amplitud.

5.2. Calcula la intensidad de una onda a cierta distancia del foco emisor, empleando la ecuación que relaciona ambas magnitudes.

6.1. Explica la propagación de las ondas utilizando el Principio Huygens.

7.1. Interpreta los fenómenos de interferencia y la difracción a partir del Principio de Huygens.

7.2. Interpreta supuestos aplicando las condiciones de interferencia constructiva y destructiva.

7.3. Reconoce fenómenos cotidianos como ejemplos de difracción.

8.1. Experimenta y justifica, aplicando la ley de Snell, el comportamiento de la luz al cambiar de medio, conocidos los índices de refracción.

9.1. Obtiene el índice de refracción de un medio a partir de las condiciones de ángulo límite.

9.2. Considera el fenómeno de reflexión total como el principio físico subyacente a la propagación de la luz en las fibras ópticas y su relevancia en las telecomunicaciones.

10.1. Reconoce situaciones cotidianas en las que se produce el efecto Doppler justificándolas de forma cualitativa.

14.1. Representa esquemáticamente la propagación de una onda electromagnética incluyendo los vectores del campo eléctrico y magnético.

14.2. Interpreta una representación gráfica de la propagación de una onda electromagnética en términos de los campos eléctrico y magnético y de su polarización.

15.1. Determina experimentalmente la polarización de las ondas electromagnéticas a partir de experiencias sencillas utilizando objetos empleados en la vida cotidiana.

15.2. Clasifica casos concretos de ondas electromagnéticas presentes en la vida cotidiana en función de su longitud de onda y su energía.

16.1. Justifica el color de un objeto en función de la luz absorbida y reflejada.

17.1. Analiza los efectos de refracción, difracción e interferencia en casos prácticos sencillos.

18.1. Establece la naturaleza y características de una onda electromagnética dada su situación en el espectro.

18.2. Relaciona la energía de una onda electromagnética. con su frecuencia, longitud de onda y la velocidad de la luz en el vacío.

19.1. Reconoce aplicaciones tecnológicas de diferentes tipos de radiaciones, principalmente infrarroja, ultravioleta y microondas.

19.2. Analiza el efecto de los diferentes tipos de radiación sobre la biosfera en general, y sobre la vida humana en particular.

Bloque 5: Óptica geométrica

1.1. Explica procesos cotidianos a través de las leyes de la óptica geométrica.

2.1. Demuestra experimental y gráficamente la propagación rectilínea de la luz mediante un juego de prismas que conduzcan un haz de luz desde el emisor hasta una pantalla.

2.2. Obtiene el tamaño, posición y naturaleza de la imagen de un objeto producida por un espejo plano y una lente delgada realizando el trazado de rayos y aplicando las ecuaciones correspondientes.

4.1. Establece el tipo y disposición de los elementos empleados en los principales instrumentos ópticos, tales como lupa, microscopio, telescopio y cámara fotográfica, realizando el correspondiente trazado de rayos.

4.2. Analiza las aplicaciones de la lupa, microscopio, telescopio y cámara fotográfica considerando las variaciones que experimenta la imagen respecto al objeto.

Bloque 6 "Física del siglo XX"

1.2. Reproduce esquemáticamente el experimento de Michelson-Morley así como los cálculos asociados sobre la velocidad de la luz, analizando las consecuencias que se derivaron.

5.1. Explica las limitaciones de la física clásica al enfrentarse a determinados hechos físicos, como la radiación del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico o los espectros atómicos.

6.1. Relaciona la longitud de onda o frecuencia de la radiación absorbida o emitida por un átomo con la energía de los niveles atómicos involucrados.

7.1. Compara la predicción clásica del efecto fotoeléctrico con la explicación cuántica postulada por Einstein y realiza cálculos relacionados con el trabajo de extracción y la energía cinética de los fotoelectrones.

8.1. Interpreta espectros sencillos, relacionándolos con la composición de la materia.

9.1. Determina las longitudes de onda asociadas a partículas en movimiento a diferentes escalas, extrayendo conclusiones acerca de los efectos cuánticos a escalas macroscópicas.

11.1. Describe las principales características de la radiación láser comparándola con la radiación térmica.

11.2. Asocia el láser con la naturaleza cuántica de la materia y de la luz, justificando su funcionamiento de manera sencilla y reconociendo su papel en la sociedad actual.

Un análisis de la consistencia interna del currículo lleva a preguntarse por qué todos estos contenidos, que globalmente constituyen una parte muy sustancial de un curso de Física que prepara para la EvAU y para la Educación Superior, no merecen ninguna atención en las asignaturas de Física y Química de todo el resto de la Secundaria.

Una razón plausible es que no se considerase oportuno introducir la óptica antes de introducir el electromagnetismo de una manera formal y rigurosa. Otra puede ser que al hablar de la luz todavía persiste una cierta prevención contra la dualidad onda-partícula.

Cabría preguntarse si, siguiendo los mismos criterios, no habría que esperar a introducir el Hamiltoniano o el teorema de Noether antes de hablar de energía, y suprimir de un plumazo este concepto de todo el currículo de la ESO y Bachillerato. En cualquier caso, es difícil comprender por qué la óptica está completamente ausente en todo el currículo de Secundaria hasta este momento, cuando constituye de hecho una parte sustancial de los contenidos que se exigen para superar *Física* en la EvAU.

Esta introducción tardía de algo tan intuitivo como la luz, justo después de tratar el electromagnetismo, supone una aproximación academicista tradicional y deductiva, la cual, siendo adecuada a nivel de segundo de Bachillerato, no excluye que la luz pueda ser introducida fenomenológica, intuitiva y experimentalmente en cursos anteriores, para inductivamente ir consolidando a lo largo de varios cursos nociones tan fundamentales.

Un rasgo revelador de una cuestión que puede estar en la base de como se trata la luz en el currículo se evidencia en el título del último bloque del currículo de *Física* de segundo de Bachillerato: "*Física del siglo XX*". Quizá esta sea la causa fundamental de relegar la luz, dado que juega un papel importante en lo que diferencia la "*física [clásica]*" de la llamada "*física moderna*" o "*física del siglo XX*". Parece que en el siglo XXI seguimos sin abordar la física tal como se concibe desde hace más de un siglo ya, sin cerrar esta brecha. No hay duda de que esta es una cuestión pedagógica muy debatible y no fácil de resolver, pero proscribir partes esenciales de la realidad sensible por su causa no parece admisible.

Una causa probable pueda también ser que la mayor parte de los docentes, entre los que se incluye el autor, no disponen de un conocimiento adecuado de esta física, y prefieren continuar enseñando la física clásica, con la que se sienten más cómodos. Sin embargo, a medida que la ciencia avanza más y más, esta actitud está abriendo un abismo entre la física y química contemporáneas y lo que se enseña en secundaria, que no olvidemos debe ser universal y terminal en los que respecta a la física y la química para los alumnos que cursan esta materia por última vez en la ESO. En cierto modo, la ausencia de la luz en el currículo no es más que una de las manifestaciones más llamativas de esta profunda brecha. Ya va siendo hora de que empecemos a enseñar ciencia sin tener reparos con los fundamentos actuales de la ciencia, de otra manera difícilmente podremos, con los contenidos actuales del currículo, alcanzar los objetivos competenciales y de etapa que el mismo documento persigue.

Un ejercicio interesante, que el COVID ha impedido realizar, por falta de acceso a las fuentes, es un repaso exhaustivo de los libros de texto de todos los cursos de la ESO y Bachillerato de diferentes editoriales, para comprobar el tratamiento de la óptica que en ellos se realiza. Revisados los pocos textos disponibles por el autor se comprueba que, por ejemplo, Editorial Santillana, en su texto de segundo de la ESO (María del Carmen Vidal Fernández & Gómez, 2016), introduce un último capítulo, fuera de currículo oficial, con el título "Luz y sonido" donde se introducen los conceptos elementales de onda tanto para la luz como el sonido, también relegado en el Currículo de Secundaria, y en el que se presentan las propiedades fundamentales, espectro electromagnético, composición de la luz blanca, reflexión y refracción, espejos y lentes y el ojo humano, acompañado con una serie de aplicaciones tecnológicas relacionadas. Confirma la presencia de este capítulo en el primer

curso de física y química que los editores de Santillana parecen compartir en cierta medida la argumentación realizada en este trabajo sobre la importancia de la óptica en la ESO. Sin embargo, en los cursos siguientes, se ha podido comprobar, en el libro de 3º de ESO de editorial SM (Prada, Cañas, & Caamaño, 2015) y el de 4º ESO de Santillana (María del Carmen Vidal Fernández et al., 2019), como no se toca la óptica en ningún capítulo. Estaría plenamente justificado el reducir el contenido de la cinemática y la dinámica para incluir esos contenidos, dado que es más probable que muchos docentes, por falta de tiempo y justificados por no estar en el currículo, omitan el citado último capítulo de segundo de ESO o cualquier otro extracurricular que las editoriales consideren oportuno añadir. En los cursos de Bachillerato, que en la práctica se percibe como un ciclo corto de preparación para la EvAU, parece aún mucho más improbable que se puedan añadir elementos extracurriculares que no vayan a aparecer en el examen.

4. EL PAPEL DE LA ESPECTROSCOPIA EN LA CIENCIA

En la actualidad se entiende la espectroscopía, en su sentido más amplio, como la ciencia aplicada que estudia la interacción de la materia con la radiación electromagnética. La espectroscopía está presente por tanto en todas las ramas de la ciencia, y su uso es cotidiano en cualquier laboratorio, industria o centro sanitario. Las diferentes técnicas espectroscópicas, en las muchas bandas que conforman el espectro electromagnético, se cuentan por decenas, y son uno de los elementos responsables del salto adelante producido en todas las ciencias en el último siglo, y muy en particular en las últimas décadas.

La generalización de equipos espectroscópicos relativamente económicos ha posibilitado su presencia en cualquier laboratorio. En efecto, la capacidad de la espectroscopía de extraer información detallada sobre la materia parece inagotable, y se aplica tanto a escala microscópica, como a escala humana o astronómica. Se puede sin duda afirmar que es difícil exagerar el impacto que las diversas técnicas espectroscópicas han tenido, tienen y tendrán en el desarrollo de la todas las ciencias y técnicas experimentales.

De este modo, el papel de la espectroscopía ha sido central en el desarrollo, entre otras muchas disciplinas, de la física, la química y la astrofísica contemporáneas y ha tenido participación directa en el advenimiento de uno de los más importantes cambios de paradigma en la historia de la ciencia: el que nos hizo pasar de la mecánica clásica a la mecánica cuántica, cambio de visión que ha transformado para siempre nuestra concepción del mundo.

Los orígenes de la espectroscopía deben colocarse en las primeras nociones sobre la naturaleza y propiedades de la luz y su propagación, ideas que hunden sus raíces muy profundamente en la historia antigua. Sin embargo, hace apenas 160 años ni la espectroscopia ni ninguna de sus bases teóricas existían aún. En la unidad didáctica que se propone en este trabajo se aproximará la génesis histórica que llevó a su establecimiento como ciencia, lo que nos ayudará a comprender el lento y tortuoso camino que subyace a cualquier gran avance científico, a comprender como pequeñas aportaciones de muy diversa índole por parte de muchos científicos, a menudo inconexos y dedicados a disciplinas distantes, pueden llevar a grandes avances cuando la curiosidad, la creatividad, el rigor y la honestidad intelectuales se combinan con el respeto inquebrantable a los hechos observados experimentalmente.

El estudio de la historia de la espectroscopía supone abordar conceptos fundamentales sobre los que no había ninguna certeza hace poco más de 100 años, como la naturaleza de la luz, de la materia y de cómo interactúan. Sin embargo, los investigadores de la época compensaban esta

ignorancia con una férrea voluntad científica y una inquebrantable fe en el empirismo y la fuerza de los hechos experimentales, fe que les condujo con timón seguro a las teorías físicas del siglo XX, tan alejadas de la intuición humana. En esta actitud hay muchas lecciones a ser aprendidas sobre los fundamentos del conocimiento científico, y sobre lo mucho que se puede hacer con mucho rigor y pocos medios.

Muy a menudo se ha abordado el estudio de la *“física del siglo XX”* de forma deductiva, estableciendo como caídas del cielo cuestiones como el postulado de Plank o el modelo de Bohr. Estos avances teóricos no se pueden entender sin explicar el tipo de problemas a los que se enfrentaban los científicos del XIX en su intento de entender la realidad física. Cuando lo percibimos desde este punto de vista, un sentimiento de admiración nos embarga ante la honestidad, humildad y tesón que aquellos científicos demostraban, sentimiento que nos vacuna frente al error de considerar a los grandes científicos como héroes inalcanzables, iluminados, que descubren sus audaces y certeras teorías en una torre de marfil, para en su lugar contemplarlos como simples seres humanos, si bien dotados de una honestidad intelectual inagotable, honestidad que por desgracia en el complicado mundo actual resulta más difícil de encontrar y mantener que en aquellos ya lejanos tiempos decimonónicos.

La historia de la espectroscopía se inicia, lógicamente, con la historia de la luz. Durante la antigüedad, particularmente en la Grecia Antigua, la preocupación fue más por la naturaleza de la visión que por la propia naturaleza de la luz. Las ideas griegas se perpetuaron a lo largo de la Edad Media y el mundo musulmán, y no será hasta Descartes cuando se inicie la inquietud científica moderna por la naturaleza de la luz, con sus estudios geométricos de la refracción, que poco más tarde serían consolidados por Snellius con su conocida ley de la difracción (Zubairy, 2016). Sin embargo, con respecto a la espectroscopía, podemos considerar a Newton como el primero de sus grandes precursores (Sánchez Ron, 2005):

- 1671 Isaac Newton: La luz blanca es el resultado de la combinación de luces de todos los colores. El color es una propiedad original e innata, no contingente, de esas luces monocromáticas, las cuales considera de naturaleza corpuscular.
- 1690 Huygens (polímata): Propone la naturaleza ondulatoria de la luz, como una onda longitudinal que se propaga en el éter, en clara oposición a la teoría corpuscular de Newton.
- 1752 Thomas Melvill (astrónomo): Primero en observar un espectro de emisión al hacer pasar la luz procedente de un ensayo a la llama de sodio a través de un prisma.
- 1802 Thomas Young (polímata): con su experimento de la doble rendija confirma la naturaleza ondulatoria de la luz.
- 1802 William Hyde Wollaston (químico y físico): descubridor del paladio y el rodio, observó por vez primera líneas oscuras en el espectro solar.
- 1814 Joseph von Fraunhofer (fabricante de lentes): (observó 600 líneas oscuras en el espectro solar y determinó la posición exacta de 325 de ellas, que aún hoy siguen llamándose “Líneas de Fraunhofer”
- 1849 León Foucault (físico): observó que la línea *D* de Fraunhofer en el espectro solar se corresponde con la brillante línea amarilla del ensayo a la llama del sodio.
- 1858 Gustav Kirchhoff (físico) y Robert Bunsen (químico): padres de la espectroscopía, construyeron los primeros espectroscopios y los aplicaron a la astrofísica y al análisis

- químico, descubriendo el rubidio y el cesio, enunciando las tres leyes de Kirchhoff de la espectroscopía y estableciendo el concepto de cuerpo negro.
- 1862 Anders Jonas Ångström (espectroscopista): observa las líneas oscuras del espectro visible del hidrógeno en el espectro solar.
- 1865 James Clerk Maxwell: publica su *teoría electromagnética de la luz*, que establece que la luz es una onda electromagnética, y deduce su velocidad obteniendo un valor consistente con las mediciones experimentales.
- 1872 Josef Stefan: enuncia la hoy conocida como ley de Stefan-Boltzmann
- 1882 Johan Balmer (matemático): encuentra una relación empírica para las longitudes de onda de la serie de líneas del espectro del hidrógeno que lleva su nombre.
- 1888 Johannes Rydberg (físico): generaliza la relación empírica de Balmer para todos los átomos y longitudes de onda.
- 1893 Wilhelm Wien: enuncia la ley del desplazamiento de Wien.
- 1900 Max Plank: enuncia su famoso postulado, que supone la cuantización de las energías en la materia que constituye el cuerpo negro, pero no postula la cuantización de la luz, que sigue considerándose una onda electromagnética continua.
- 1905 Albert Einstein: explica el efecto fotoeléctrico, que se conocía desde 1839 descubierto por Beckerel mucho antes incluso de la teoría de Maxwell, con la que no concordaba. Su explicación se basa e inspira en el postulado de Plank, y supone que la luz también se transmite en “paquetes” o quanta, a los que hoy llamamos fotones.
- 1913 Niels Bohr propone su modelo atómico de cuantización de las órbitas electrónicas, modelo consistente con las numerosas y precisas mediciones espectroscópicas del átomo de hidrógeno,

Este repaso histórico muy resumido de la historia temprana de la espectroscopía contiene elementos de gran valor pedagógico, a menudo ignorados. En particular su periodo inicial, entre Isaac Newton y los trabajos seminales de Kirchhoff y Bunsen, auténtica eclosión de la espectroscopía. Repasar este proceso de descubrimiento no solo nos obliga a estudiar la luz y hacer intuitivas sus peculiares propiedades, sino que confluyen en ella elementos del currículo muy importantes, como es el método científico, permanente bloque 1 en todas las asignaturas relacionadas con la física y la química, así como en los objetivos competenciales y de etapa. La espectroscopía permite abordarlos desde otra perspectiva que reforzará la comprensión de los conceptos y adquisición de competencias en un contexto en el que avanzamos en el conocimiento como resultado de los mismos procesos que hacen avanzar la ciencia.

Por otra parte, la historia muy sumariamente esbozada aquí desde Kirchhoff-Bunsen hasta el átomo de Bohr permiten conectar las aportaciones espectroscópicas con elementos del currículo oficial, tales como los modelos atómicos y su evidencia experimental, abordándolos desde una perspectiva mucho más realista y fiel al largo y entrelazado proceso de acumulación de evidencia experimental y aportaciones teóricas, en ámbitos a menudo distantes y aparentemente inconexos, y que confluyen en las nuevas teorías que conforman la física moderna, con su enorme capacidad explicativa y predictiva a pesar de resultar en principio muy anti-intuitiva, en particular si venimos de hacer demasiado hincapié en la física clásica.

5. UNIDAD DIDÁCTICA ESPECTROSCOPIA VISIBLE

El objetivo instrumental de este trabajo consiste en la preparación de una unidad didáctica y de sus materiales, y la evaluación de una primera puesta en práctica de ésta con un grupo de segundo de Bachillerato. El objetivo de la unidad es que pueda ser utilizada tanto en Bachillerato como la ESO, contribuyendo así a la tan necesaria reintroducción de todo lo relacionado con la luz en la Educación Secundaria.

La unidad didáctica girará en torno a la evolución de la espectroscopía visible entre los siglos XVIII y principios del XX, con el objetivo práctico experimental de construir un espectroscopio visible funcional equiparable a los primeros espectroscopios de tiempos de Kirchoff y Bunsen.

Esta unidad didáctica está destinada por tanto a intentar paliar el notorio vacío existente en el currículo oficial de todos los cursos de *Física y Química*, tanto en la ESO como en Bachillerato así como en la asignatura *Química* de 2º de Bachillerato, en todo lo relacionado con los conceptos de onda, luz y óptica, tal y como se ha expuesto en los epígrafes anteriores. Para los alumnos que cursen la troncal de opción *Física* en segundo de Bachillerato, esta unidad puede ser un buen complemento experimental para el curso acelerado de ondas y óptica al que se ven sometidos, debido a la escasa preparación previa durante toda la Secundaria.

5.1. Contextualización

El contexto general curricular que se ha repasado en los epígrafes anteriores supone que una unidad de estas características puede tener cabida, en principio, en cualquier curso de *Física y Química* en Educación Secundaria, tras realizar las oportunas adaptaciones a cada curso. El tomar contacto directo con el comportamiento de la luz, y el tenerlo en cuenta para resolver los problemas que plantea la construcción de un sencillo pero versátil espectroscopio, tiene un elevado interés pedagógico a todas las edades. Los conceptos y las intuiciones implicadas no precisan de complicado aparato matemático, o del conocimiento formal de la teoría del campo electromagnético, tal como parecería deducirse de su tardía y academicista introducción en el currículo de *Física* de segundo de Bachillerato.

Aunque la impartición de esta unidad didáctica realizada por del autor que se describirá en su momento se ha realizado sobre un grupo de segundo de Bachillerato en el IES Basoko de Pamplona en abril 2020, se pretende que el planteamiento de la unidad se pueda hacer extensible a casi cualquier curso de la ESO o Bachillerato.

La unidad didáctica sobre espectroscopía se ha impartido dentro del marco de una asignatura optativa de libre configuración titulada *Ciencias Experimentales y Aplicaciones Transversales (CEAT)*, de nueva creación en este curso 2019/2020, y diseñada por el departamento de Física y Química de IES Basoko, en concreto por su jefe de departamento E. Navajas. Una unidad didáctica de este tipo en principio parece no tener fácil encaje en las asignaturas troncales, y mucho menos a finales del último curso de Bachillerato, cuando la prioridad casi absoluta es preparar la EvAU. Por consiguiente, esta asignatura optativa no incluida en la EvAU constituye el marco más favorable en el cual introducir esta unidad didáctica, si bien en las fechas de abril-mayo en las que se ha impartido la mayor parte del alumnado dedica escaso tiempo a todo lo que no suponga preparación para la EvAU, y su motivación principal por esta asignatura parece para muchos ser el obtener con facilidad una buena nota para mejorar su media de Bachillerato.

CEAT se plantea como una asignatura con una fuerte componente experimental, y utiliza una batería de metodologías activas. Los temas tratados siempre van acompañados de trabajo experimental y, en la medida de lo posible, con la presencia de invitados o la visita a

instituciones o empresas de la zona. Las metodologías colaborativas tienen una cierta presencia, y se realizan debates finales para algunos de los temas. En algunas unidades se utiliza aprendizaje basado en proyectos sobre problemas concretos a resolver, como por ejemplo el análisis y evaluación de alternativas para la reparación de la campana del laboratorio de química, que hace años no funciona. Tiene una importancia central el desarrollo de la destreza para la consignación sistemática de las observaciones y experiencias en el cuaderno de laboratorio, y la preparación de informes individuales de laboratorio y grupales de otros tipos.

Concretamente los objetivos generales de esta materia optativa son los siguientes (Departamento Física y Química IES Basoko, 2019):

- Desarrollar habilidades de trabajo en el laboratorio de Física y de Química, así como otras ciencias experimentales relacionadas.
- Proponer y desarrollar soluciones para posibles problemas planteados en las clases.
- Progresar en el tratamiento y análisis de datos con herramientas informáticas.
- Adquirir las destrezas para elaborar informes técnicos sobre diferentes problemas abordados.
- Ser capaz de resolver los problemas y cuestiones de carácter científico.
- Adquirir habilidad en el manejo de determinados aparatos y experiencias de laboratorio.
- Comprender la importancia de las ciencias experimentales y las interacciones con la salud, tecnología y la sociedad, valorando la necesidad de preservar el medio ambiente y de trabajar para lograr una mejora en las condiciones de vida actuales.
- Evaluar la información proveniente de otras áreas del saber para formarse una opinión propia, que permita al alumnado expresarse con criterio en aquellos aspectos relacionados con la ciencia.

Es por tanto una asignatura eminentemente práctica orientada a desarrollar fundamentalmente competencias científicas, el espíritu crítico, la creatividad y la iniciativa, y cuyo desarrollo se realiza en gran parte en el laboratorio mediante metodologías activas y colaborativas. Se puede por tanto afirmar que esta asignatura y su grupo de alumnos constituye un marco muy adecuado para la implementación de esta unidad didáctica, pues sus metodologías y objetivos están perfectamente alineados con los de la unidad didáctica.

Durante el curso 2019-2020 la mayor parte de las unidades abordadas en CEAT han correspondido a cuestiones fundamentalmente relacionadas con la química. Es por tanto totalmente procedente esta unidad didáctica sobre espectroscopía, que aborda fundamentalmente cuestiones relacionadas con la física.

En este caso concreto, la Unidad Didáctica se ha implementado con un grupo de 15 alumnos, todos de la modalidad de ciencias, y la práctica totalidad procedentes del programa lingüístico British de la ESO. De estos quince alumnos cinco cursan ambas asignaturas optativas, "*Física*" y "*Química*"; de los diez restantes, ocho cursan solo "*Física*" y otros dos solo "*Química*". Hay un pequeño grupo que ha elegido esta asignatura porque era la única optativa disponible en la modalidad de ciencias y manifiestan escasa motivación. Por otra parte, hay un grupo de alumnos con ciertas inquietudes científicas y que están motivados por el trabajo experimental. Una inmensa mayoría (13 de 15) cursan por tanto *Física*, y por tanto han trabajado en esta

asignatura los completos objetivos curriculares del bloque de ondas y óptica, lo cual constituye una excelente base para esta unidad.

Un aspecto fundamental sobrevenido en la contextualización de esta unidad didáctica es el hecho de que cuando apenas se había planteado la posibilidad de realizar esta unidad didáctica con el grupo que venimos de describir, el centro fue clausurado en su actividad presencial a causa del estado de alarma del COVID 19.

Como es bien conocido por todos, esta circunstancia obligó a alterar completamente todas las actividades educativas, sus objetivos y pedagogías, dado que la docencia telemática tiene sus propias reglas, y estas eran en gran medida desconocidas por una mayoría. Esto ha significado, en lo que respecta a esta unidad didáctica, que todos los elementos de la programación didáctica han sido sustancialmente diferentes de las inicialmente esbozadas para la docencia presencial. Hay que tener muy en cuenta sustanciales limitaciones que la docencia telemática impone al trabajo experimental, en especial si se pretende que sea colaborativo, dado que es imposible construir en equipo un único aparato en estas circunstancias. En los epígrafes siguientes se detallará como se ha planificado efectivamente la didáctica no presencial y, en el apartado de discusión, se discutirá la didáctica con la que se propondría esta misma unidad caso de impartirse presencialmente en el laboratorio.

5.2. Objetivos de la unidad didáctica espectroscopía visible.

Dado que esta unidad didáctica se plantea como adaptable a diferentes cursos de la ESO y de Bachillerato, vamos a indicar todos los objetivos del currículo de cada etapa y curso como potenciales objetivos de la unidad. En cada caso los estándares evaluables oficiales se han modificado para hacerlos más específicos de esta unidad. Se insistirá más en los objetivos provenientes del currículo de segundo de Bachillerato, por su mayor especificidad y porque la puesta en práctica de la unidad se ha realizado en este curso.

5.2.1. Objetivos competenciales comunes a toda la Educación Secundaria

Los objetivos competenciales son comunes en la ESO y en el Bachillerato. Los objetivos que se van a perseguir en esta unidad didáctica son los siguientes:

OCa) Comunicación lingüística de informes de actividades experimentales de forma ordenada, con lenguaje académico y correcta estructura de los documentos requerida.

OCb) Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.

OCc1) Competencia digital para la resolución de conexiones de dispositivos informáticos utilizados como sensor y analizador

OCc2) Competencia digital en el aprendizaje proactivo del uso y solución de problemas con software nuevo desconocido.

OCd) Aprender a aprender, planteando las preguntas apropiadas, buscando respuestas y evaluando alternativas.

OCf) Sentido de iniciativa y creatividad para la generación de soluciones innovadoras para los problemas experimentales que se presenten.

5.2.2. Objetivos de la unidad en Educación Secundaria Obligatoria.

5.2.2.1. Objetivos de etapa ESO

Los objetivos generales de etapa directamente implicados en esta unidad didáctica son los siguientes:

OEe) Desarrollar destrezas básicas en la utilización de las fuentes de información para, con sentido crítico, adquirir nuevos conocimientos. Adquirir una preparación básica en el campo de las tecnologías, especialmente las de la información y la comunicación.

OEf) Concebir la física y la química, como un saber integrado, que se estructura en distintas disciplinas, así como conocer y aplicar los métodos para identificar los problemas en los diversos campos del conocimiento y de la experiencia.

OEg) Desarrollar el espíritu emprendedor y la confianza en sí mismo, la participación, el sentido crítico, la iniciativa personal y la capacidad para aprender a aprender, planificar, tomar decisiones y asumir responsabilidades.

OEh) Comprender y expresar con corrección en la lengua castellana, tanto oralmente como por escrito, utilizando un registro apropiado a la redacción de textos científicos.

5.2.2.2. Objetivos específicos de aprendizaje de la unidad didáctica para cursos de la ESO

Dada la práctica inexistencia en el currículo de la ESO de estándares evaluables relacionados con la óptica o la espectroscopía, los objetivos basados en el currículo oficial aplicables se extraen del bloque 1, genérico, sobre la actividad científica, y se complementarían con una serie de objetivos extracurriculares en la ESO, de nueva creación específicos de la unidad, o sobre todo importados del currículo de Bachillerato, tras la necesaria adaptación al nivel cognitivo y de conocimientos del curso de la ESO del que se trate.

OE1) Formula hipótesis para explicar fenómenos ópticos utilizando teorías y modelos científicos (2º ESO y 3º ESO, bloque 1)

OE2) Relaciona la luz, la óptica y la espectroscopía con las aplicaciones tecnológicas de la vida cotidiana (2º ESO y 3º ESO, bloque 1)

OE3) Identifica material e instrumentos espectroscópicos de laboratorio y conoce su forma de utilización para la realización de experiencias respetando las normas de seguridad e identificando actitudes y medidas de actuación preventivas. (2º ESO y 3º ESO, bloque 1)

OE4) Diseña pequeños trabajos de investigación basados en las posibilidades de la espectroscopía aplicando el método científico y utilizando las TIC para la búsqueda y selección de información y presentación de conclusiones. (2º ESO, 3º ESO y 4º ESO, bloque 1 con niveles de complejidad adaptado al curso de que se trate)

OE5) Registra observaciones, datos y resultados de manera organizada y rigurosa, y los comunica de forma oral y escrita utilizando esquemas, gráficos, tablas y expresiones matemáticas. (3º ESO, bloque 1)

OE6) Analiza cómo la colaboración entre Kirchhoff (físico) y Bunsen (químico) está en el origen de su grandes aportaciones científicas como pioneros de la espectroscopía, y de su fecunda y temprana aplicación a la astrofísica y a la química. (4º ESO, bloque 1)

OE7) Compara los diferentes modelos atómicos propuestos a lo largo de la historia para interpretar la naturaleza íntima de la materia, interpretando las evidencias espectroscópicas que hicieron necesaria la evolución de estos. (4º ESO, bloque 2 la materia)

5.2.3. Objetivos de la unidad didáctica en cursos de Bachillerato

5.2.3.1. *Objetivos de etapa del bachillerato*

Los objetivos generales de etapa involucrados en esta unidad didáctica son los siguientes:

OEj) Comprenderá los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y los métodos científicos en el ámbito de la física y la química.

OEj2) Conocerá y valorará de forma crítica la contribución de la espectroscopía en el cambio de las condiciones de vida.

OEK) Afianzará el espíritu emprendedor con actitudes de creatividad, flexibilidad, iniciativa, trabajo en equipo, confianza en sí mismo y sentido crítico.

OEh) Conocerá y valorará críticamente las realidades de la ciencia contemporánea, sus antecedentes históricos y los principales factores de su evolución.

OEi) Accederá a los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales y dominará las habilidades básicas propias de la modalidad elegida.

OEe) Dominará, tanto en su expresión escrita como oral, la lengua castellana y específicamente las convenciones y formatos del castellano académico requerido para los informes científicos.

5.2.3.2. *Objetivos específicos de aprendizaje de la unidad didáctica para cursos de Bachillerato*

Como ya se ha indicado, el tratamiento de los objetivos curriculares que pueden perseguirse con esta unidad didáctica en el currículo oficial está distribuido de forma muy irregular. Muy pocos estándares evaluables en *Física y Química* de primer curso o en *Química* de segundo curso tienen directa relación con esta unidad didáctica. Únicamente en la asignatura de *Física* de segundo curso se incluye un amplio conjunto de objetivos que están bien alineados con una unidad didáctica como esta. A continuación, se detalla una lista completa única de los objetivos oficiales relacionados con esta unidad en el currículo de Bachillerato de todas las asignaturas y cursos. Todos ellos están bien alineados con implementaciones de esta unidad didáctica. Como la lista es amplia, por el elevado número de estándares en el currículo de *Física* de segundo curso, al programar la unidad didáctica se podrá establecer un pequeño subconjunto de entre estos objetivos, en función del contexto, dado que son demasiados objetivos para una única unidad didáctica.

Se indica entre paréntesis, al final de cada objetivo, el curso, materia y bloque en las que aparece en el currículo oficial.

Los objetivos serían los siguientes:

OE1) Aplica habilidades necesarias para la investigación científica, planteando preguntas, identificando y analizando problemas, emitiendo hipótesis fundamentadas, recogiendo datos, diseñando estrategias de resolución de problemas utilizando modelos y leyes, revisando el proceso, obteniendo conclusiones, proponiendo estrategias de actuación y comunicando resultados mediante informes apropiados. (fusión de estándares evaluables muy similares de 1º Bachillerato, Física y Química; 2º Bachillerato, Química y 2º Bachillerato, Física, bloque 1).

OE2) Analiza la validez de los resultados obtenidos y elabora un informe final haciendo uso de las TIC, comunicando tanto el proceso como las conclusiones obtenidas (1º Bachillerato, Física y Química, bloque 1).

OE3) Describe las aplicaciones de la espectroscopía en la identificación de elementos y compuestos (1º Bachillerato, Física y Química, bloque 2 aspectos cuantitativos de la química).

OE4) Explica las limitaciones de los distintos modelos atómicos, relacionándolo con los distintos hechos experimentales que llevan asociados (2º Bachillerato, Química, bloque 2 origen y evolución de los componentes del universo).

OE5) Calcula el valor energético correspondiente a una transición electrónica entre dos niveles dados, relacionándolo con la interpretación de los espectros atómicos (2º Bachillerato, Química, bloque 2, origen y evolución de los componentes del universo).

OE6) Interpreta los fenómenos de interferencia y difracción utilizando el principio de Huygens (2º Bachillerato, Física, bloque 4, ondas).

OE7) Reconocimiento de efectos cotidianos como ejemplos de difracción (2º Bachillerato, Física, bloque 4, ondas).

OE8) Clasificación de casos concretos de ondas electromagnéticas presentes en la vida cotidiana en función de su longitud de onda y su energía (2º Bachillerato, Física, bloque 4, ondas).

OE9) Análisis de los efectos de difracción e interferencia sencillos (2º Bachillerato, Física, bloque 4, ondas)

OE10) Reconocimiento de aplicaciones tecnológicas de los diferentes tipos de radiación, principalmente infrarroja, ultravioleta y microondas (2º Bachillerato, Física, bloque 4, ondas).

OE11) Experimenta y justifica, aplicando la ley de Snell, el comportamiento de la luz al cambiar de medio, conocidos los índices de refracción (2º Bachillerato, Física, bloque 4, ondas).

OE12) Justifica el color de un objeto en función de la luz absorbida y reflejada (2º Bachillerato, Física, bloque 4, ondas).

OE13) Establece la naturaleza y características de una onda electromagnética dada su situación en el espectro (2º Bachillerato, Física, bloque 4, ondas).

OE14) Reconoce aplicaciones tecnológicas de diferentes tipos de radiaciones, principalmente infrarroja, ultravioleta y microondas (2º Bachillerato, Física, bloque 4, ondas).

OE15) Explica las limitaciones de la física clásica al enfrentarse a determinados hechos físicos, como la radiación del cuerpo negro o los espectros atómicos (2º Bachillerato, Física, bloque 6, física del siglo XX).

OE16) Relación de la longitud de onda o frecuencia de la radiación absorbida o emitida por un átomo con la energía de los niveles atómicos involucrados (2º Bachillerato, Física, bloque 6 física del siglo XX).

OE17) Interpretación de espectros sencillos, relacionándolos con la composición de la materia (2º Bachillerato, Física, bloque 6 física del siglo XX).

Esta lista pretende ser exhaustiva de todo lo que el currículo oficial incluye que sea potencialmente objetivo de esta unidad. Dado el elevado número de objetivos específicos de esta lista, en cada caso habrá que establecer un subconjunto coherente de estos para llevarlos a la práctica.

5.2.4. Objetivos globales

Todo este numeroso conjunto pormenorizado de objetivos, tanto los competenciales como los específicos, pueden sintetizarse en los siguientes objetivos más globales de la unidad didáctica, aplicables tanto para la ESO como el Bachillerato:

- Familiarizarse con la naturaleza de la luz y sus propiedades de difracción y refracción
- Trabajar las competencias científicas experimentales básicas de la Física y la Química
- Integrar los contenidos adquiridos en las asignaturas de *Física y Química* a través del desarrollo práctico de un instrumento que a su vez puede fácilmente dar lugar a nuevos proyectos de laboratorio, tanto en el ámbito de la física como de la química.
- Tomar conciencia práctica del papel fundamental que los equipos de todo tipo de espectroscopía desempeñan en la actualidad en cualquier laboratorio de cualquier disciplina científica, empresa u hospital.
- Fomentar la iniciativa y creatividad a la hora de resolver problemas científicos en el laboratorio.
- Desarrollar la capacidad de trabajar colaborativamente en proyectos de una cierta complejidad.
- Desarrollar las competencias científico-lingüísticas en la comunicación de resultados de trabajos experimentales de laboratorio.
- Analizar como la complejidad de la materia, la variación de las propiedades de la luz en función de su longitud de onda unidas a la sofisticación de la interacción mutua de luz con la materia son el fundamento último que hace que la espectroscopía constituya una fuente inagotable para el conocimiento de la realidad material.

5.3. Contenidos

La Unidad Didáctica se centra en el proyecto de construcción, calibrado y utilización de un espectroscopio para analizar diversas fuentes de luz visible, inspirados por los trabajos de Kirchhoff y Bunsen. Para ello es necesario desarrollar los siguientes contenidos:

- Evolución del contexto científico-histórico del proceso de descubrimiento de la espectroscopía, desde Newton hasta Kirchhoff-Bunsen, con especial énfasis en las aportaciones seminales de estos últimos (Kirchhoff, 1860; Kirchhoff & Bunsen, 1860).
- Refracción y difracción de la luz y su uso como técnicas de separación de la luz en sus componentes monocromáticos. Prismas y redes de difracción. Caracterización de una red de difracción. Ventajas e inconvenientes de unos y otros.
- Posibilidades de un teléfono móvil como sensor del espectroscopio.
- Diseño y construcción del tubo óptico de un espectroscopio.
- Montaje y configuración del sensor (Gatkine, Zimmerman, & Warner, 2018; Lappetito, 2015) utilizando la cámara de un teléfono móvil o una webcam.
- Instalación y uso del *freeware* de espectroscopía Theremino (theremino.com, 2014b, 2014a)

- Calibración de un espectroscopio.
- Tratamientos de imagen por defecto y de los filtros de infrarrojo habituales en las cámaras de los dispositivos móviles y webcams
- Historia de las aportaciones de la espectroscopía desde Kirchhoff-Bunsen hasta el átomo de Bohr. Cuantización de la energía en el cuerpo negro, cuantización de la luz, cuantización de la energía en las órbitas electrónicas de Bohr
- Papel fundamental de la espectroscopía en el desarrollo de la Física cuántica, en el nacimiento y desarrollo de la Astrofísica y en el análisis químico moderno.

En anexos (ver epígrafes 9.2 a 9.5) se incluye documentación detallada con los contenidos teóricos y prácticos de la unidad, así como las presentaciones de PowerPoint utilizadas.

5.4. Metodología

En los epígrafes que siguen nos vamos a centrar en la didáctica que se ha llevado a la práctica telemáticamente, dejando para el epígrafe de resultados y discusión el análisis de los resultados obtenidos y los planteamientos que se pueden proponer para una deseable impartición presencial.

Tal y como se ha indicado en la contextualización, la impartición telemática forzosa a la que ha obligado la declaración del estado de alarma del COVID 19 ha supuesto restricciones muy sustanciales a la metodología pedagógica a utilizar en esta unidad.

El construir un dispositivo de una cierta complejidad, como el planteado, por parte del alumno, solo en casa y con limitadas posibilidades materiales, es un reto muy importante. Por este motivo la metodología utilizada está inspirada en las metodologías *Direct Interactiva Model*, DIT (Hassard, 2008), en la que el proyecto global se ha fraccionado en fases para las cuales el docente aporta el contexto, la problemática a resolver y, en este caso de forma telemática, demuestra experimentalmente la viabilidad de una posible solución.

En cierto modo se puede decir que afrontar individualmente la reproducción de un resultado experimental obtenido por el profesor en sus circunstancias de aislamiento y de limitaciones materiales no deja de ser un reto, que exige unas soluciones proactivas e imaginativas a muchos pequeños problemas, y de forma completamente autónoma. En este sentido, se plantea prácticamente un aprendizaje ABP por mini-fases. Sin embargo, la imposibilidad de realizar un trabajo colaborativo experimental ha supuesto un grave hándicap para la consecución de los objetivos planteados. En la práctica esto ha supuesto que el alumno intenta reproducir, en sus circunstancias particulares, las fases del proyecto que el profesor ha demostrado teórica y prácticamente por videoconferencia.

Por su parte los materiales de la parte magistral de la metodología sí pueden adaptarse fácilmente a la docencia telemática, si bien el nivel de interacción profesor alumno y de alumnos entre sí es limitada.

Las fases programadas para el desarrollo de esta unidad didáctica tienen unos objetivos muy concretos. Las fases inicialmente planificadas son las siguientes:

1. Introducción, motivación y contexto de la espectroscopía.
2. Obtención, caracterización y aplicación de una red de difracción destinada al detector de nuestro futuro espectroscopio.
3. Construcción del tubo óptico.
4. El detector del espectroscopio, ajuste de su geometría y ensamblaje con el tubo óptico.

5. Conexión detector-ordenador, tratamiento de la señal del espectro y calibración del espectroscopio.
6. Obtención y análisis de espectros de interés.
7. Propuesta de un proyecto de investigación que aproveche las potencialidades del instrumento obtenido.

La fase 7 inicialmente programada, junto con su informe escrito, fue eliminada tras la primera semana, utilizándose las sesiones liberadas para que los alumnos confeccionaran el informe final.

5.5. Temporalización

La propuesta inicial de unidad didáctica supone una inversión temporal de 12 sesiones de cincuenta y cinco minutos cada una, una para las fases 1 y 7 y dos para todas las demás.

Para asignaturas con carga lectiva de 3 sesiones por semana esto supone 4 semanas. En el caso de la asignatura CEAT de 2º de Bachillerato, con carga lectiva de 4 sesiones por semana, se impartió durante 3 semanas consecutivas.

En el caso de que se vayan a impartir durante el mismo curso contenidos de óptica, es recomendable que las fechas de impartición de dichos contenidos sean previas a la realización de esta unidad de espectroscopía. En el caso específico del curso segundo de Bachillerato, es recomendable que en la asignatura de *Física* se haya cursado ya el bloque de ondas y el bloque de óptica geométrica, los cuales corresponden al final del temario. Esto puede suponer una dificultad por la proximidad del fin de curso y la lógica prioridad por la preparación de la EvAU en esas fechas. Este ha sido el caso con el grupo CEAT.

En los otros cursos sin contenidos de óptica de acuerdo con el currículo oficial, convendría coordinar una breve introducción a la óptica, tal como la que algunos editores de libros de texto incluyen tan temprano como el curso segundo de la ESO (María del Carmen Vidal Fernández & Gómez, 2016). Para cursos superiores estos mismos contenidos fundamentales pueden abordarse con más profundidad formal. Alternativamente, una breve introducción a la luz podría ser integrada con la introducción histórica, lo cual exigiría ampliar el número de sesiones de esta introducción en al menos dos más.

Las doce sesiones se desarrollaron efectivamente entre 20/04/2020 y el 7/05/2020 durante tres semanas consecutivas con cuatro sesiones por semana.

De estas doce sesiones solo nueve supusieron sesiones efectivas por vía telemática, impartidas por el autor de este trabajo, ya que la política del docente titular de la asignatura es darles tiempo correspondiente a sesiones lectivas para el trabajo individual de redacción de los informes. Como se ha dicho ya, una vez iniciada la unidad se anuló su última fase 7 y su informe, y las tres últimas sesiones se dedicaron a la redacción del informe final, sin sesión telemática, pues se pretende que esta asignatura no exija tiempo de trabajo individual del alumno fuera de horario lectivo.

5.6. Actividades realizadas

El detalle de la temporalización se organiza en forma de fichas, una por sesión, en la que se incluyen todos los elementos esenciales de la programación relacionados con cada sesión, de manera que sirvan como fichas guía para el docente durante la realización de la sesión. Se insertan los vínculos a los documentos que se emplearán (ver anexos) Estos datos corresponden a la secuencia de actividades efectivamente desarrollada durante la impartición bajo el confinamiento.

Sesión 1: 20/04/2020	
Objetivos	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Activación y presentación de la unidad ▪ Marco científico-histórico 	
Metodología	
Magistral	
Contenidos y Secuencia de Actividades	
55'	<p>Sesión 1, 20/04/2020</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pregunta de activación ¿Cómo es posible conocer la composición química de objetos a miles de millones de años luz de nosotros? 2. Video de activación sobre espectroscopía (en inglés) 3. https://www.youtube.com/watch?v=n_KyYFYNvpI (4 minutos) ¿Qué es la espectroscopía? Respuestas por chat 4. Presentación a grandes rasgos del proyecto: <ol style="list-style-type: none"> 4.1. Objetivos 4.2. Contenido 4.3. Producciones 4.4. Programación sesiones 5. Presentación magistral, PowerPoint “Albores de la espectroscopía”, desde Newton hasta Kirchhoff-Bunsen sin entrar en las tres leyes de Kirchhoff 6. Explicar la necesidad de la obtención de una red de difracción a partir de un DVD <p>Tarea para mañana: obtener una red de difracción a partir de un DVD o CD viejos (preferentemente DVD grabable virgen).</p>
Recursos	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Youtube https://www.youtube.com/watch?v=n_KyYFYNvpI (4 minutos) ▪ PowerPoint “Albores de la espectroscopía” (ver epígrafe 9.2) 	

Sesión 2: 21/04/2020	
Objetivos	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presentación metodología de evaluación ▪ Introducción a redes de difracción y prismas; obtención casera de una red de difracción 	
Metodología	
Magistral	
Contenidos y Secuencia de Actividades	
55'	<p>Sesión 2. 21/04/2020</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Explicación de la Evaluación de la unidad didáctica (ver epígrafe 5.7) 2. Técnicas de separación de las componentes elementales monocromáticas <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Presentación de las redes de difracción frente a los prismas como elemento esencial de la espectroscopía. Explicación teórica del comportamiento de la luz a través de prismas y redes de difracción. Ventajas e inconvenientes de unos y otros. Ecuación para determinar la D de la red de difracción. 2.2. Demostración práctica de cómo obtener en casa una rejilla de difracción a partir de un CD o DVD viejos.
Recursos	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ PowerPoint “Construcción de espectroscopio escolar” (ver epígrafe 9.3) 	

Sesión 3: 22/04/2020	
Objetivos	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planteamiento problema fase 2: separar los diferentes colores de la luz blanca ▪ Presentación redes de difracción y prismas. ▪ Medición de ángulos de difracción con el objetivo de caracterizar la red con su distancia de retícula. ▪ Presentación formato del informe de laboratorio a realizar. 	
Metodología	
DIT	
Contenidos y Secuencia de Actividades	
55'	<p>Sesión 3. 22/04/2020 13:25</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Planteamiento de problema experimental a resolver sobre la red de difracción que ha obtenido cada alumno: <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Actividad: obtener una red de difracción y resolver el problema de conocer la distancia de la red de difracción obtenida del CD o DVD. Ángulos bajo los cuales se difracta cada color. 1.2. Se realiza una medición colaborativa de los ángulos de difracción colocando la red de difracción sobre la webcam. Los alumnos están viendo el espectro difractado. Se mide la distancia de la cámara a la pared de enfrente y el profesor pregunta en qué punto de la pared ven cada color. Se miden las distancias y se determinan los ángulos de

Sesión 3: 22/04/2020	
	<p>difracción de cada color y en base a eso se calcula la distancia de la red de difracción.</p> <p>1.3. Deben realizar unas mediciones similares cada uno con su red de difracción y los resultados deberán incluirse en un breve informe de laboratorio (no más de dos caras) que incluirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Objetivo ▪ Breve introducción teórica ▪ Material y Dispositivo experimental ▪ Resultados y análisis. ▪ Conclusiones <p>1.4. Además, los resultados de las mediciones de cada alumno deberán consignarse, 24 horas antes de la siguiente sesión) en una hoja de cálculo común, y si es posible con fotos de los espectros observados (son fáciles de obtener cubriendo el objetivo de la cámara del móvil con la red de difracción)</p>
Recursos	

Sesión 4: 28/04/2020	
Objetivos	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resolver dudas y problemas encontrados en la práctica de la red de difracción. ▪ Estimar el grado de motivación 	
Metodología	
Seminario consultas	
Contenidos y Secuencia de Actividades	
55'	<p>Sesión 4. 23/04/2020</p> <p>1. Sesión de dudas, voluntaria, y consultas prácticas libres. Los que no se conectan pueden usar este tiempo para redactar su informe sobre el experimento de medición de la D de la red de difracción.</p> <p>2. Se plantean bastantes dudas (asisten 9 alumnos) sobre como resolver numéricamente el valor de D.</p> <p>3. A los asistentes se les facilita hoja de calculo preparada para el cálculo.</p>
Recursos	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hoja Excel para el cálculo del valor de D por regresión lineal. 	

Sesión 5: 27/04/2020	
Objetivos	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contexto de los descubrimientos de Bunsen Kirchoff, su espectroscopio. ▪ Planteamiento de las fases del espectroscopio y su problemática. 	
Metodología	
Magistral+DTT	
Contenidos y Secuencia de Actividades	
55'	<p>Sesión 5.27/04/2020</p> <p>Comentarios previos</p>

Sesión 5: 27/04/2020

- Comentarles los trabajos presentados. Pedirles completen la tabla para comentar resultados mañana
 - He visto varios que no indican claramente en su informe el valor del resultado final de la D que han medido.
 - En algunos de los informes parece que no se visualizan las ecuaciones por problemas de compatibilidad del formato de archivo de classroom. Se recomienda entregar una versión en pdf para asegurar legibilidad los que usen Microsoft Word como editor
 - Pueden presentarlo de nuevo para mejorar la nota.
1. Vídeo de activación, recordando a Kirchhoff-Bunsen
<https://www.youtube.com/watch?v=qgDsLRV6VG0>
 2. Retomar presentación histórica en Bunsen Kirchhoff
 - Ahora el espectro tiene sentido para nosotros, si dudamos con respecto a algún aspecto no busco en libro, cojo mi trozo de cd y vuelvo al experimento hemos realizado. Observamos
 1. Que la luz se desvía más ángulo cuanto mayor la D y cuanto mayor la longitud de onda.
 2. Hay notable diferencia de ángulos difracción de Cd vs DVD, siendo los ángulos mucho mayores en estos últimos. Implicaciones prácticas sobre la geometría del espectroscopio
 - Inmediatos descubrimientos de Kirchhoff-Bunsen
 1. Cesio y rubidio
 2. Analizar químicamente la atmósfera solar
 - Leer texto motivador de Bunsen y de Kirchhoff, emocionados por las posibilidades de la espectroscopía. Comentar los estados de ánimo de estas personas.
 - Observad las láminas espectros obtenidos por Kirchhoff-Bunsen,
 1. Espectro continuo solar
 2. Bandas de absorción
 3. Bandas de emisión de la llama caliente
 - Leyes de Kirchhoff
 1. Espectros continuos
 2. Espectros discretos de absorción y emisión
 - Ellos nunca supieron con certeza por qué la materia al interactuar con la luz emitía/absorbía longitudes de onda tan finamente definidas. El responder a esta inocente pregunta nos lleva a la mecánica cuántica.
 - Ahora sabemos porque un gas conteniendo sodio se comporta así: Ponerlos en relación láminas de espectros con las transiciones electrónicas
 3. Mostrar espectroscopio Kirchhoff-Bunsen Y UNA DE LAS FOTOS DE SUS INFORMES CON LUZ PARASITA, analizar problemática y algunos parámetros del diseño importantes:

Sesión 5: 27/04/2020	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Relacionar ángulos entre los tubos = girar la cabeza = poner móvil en ángulo ○ Necesidad de rendija: haz estrecho en la dirección en la que separamos por ángulo ○ Necesidad de eliminar como sea la luz parásita <p>4. Presentación fases de la construcción del espectroscopio</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Construcción tubo óptico y problemas a resolver: luz parásita, geometría del haz de luz 2. Detector y su problemática: colocación de la red, ángulos, como fijar la geometría. 3. Conexión y tratamiento informático. 4. Calibrado del espectroscopio <p>Spectrum Demo: Continuous and Emission</p>
Recursos	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PowerPoint “Albores de la espectroscopía” (ver epígrafe 9.2) ▪ PowerPoint “Construcción de un espectroscopio escolar” (ver epígrafe 9.3) ▪ YouTube Spectrum Demo: Continuous and Emission

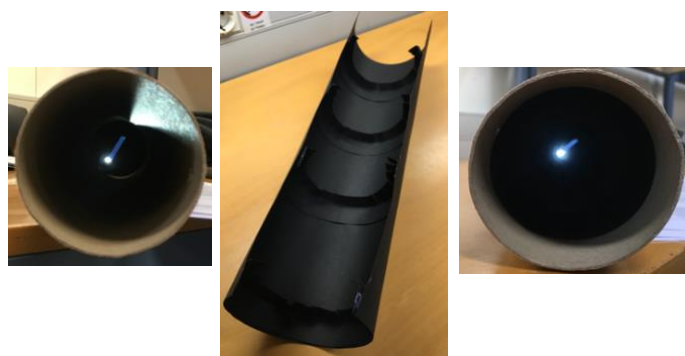


Ilustración 1: Una posible solución para evitar que luces parásitas producidas por reflexión interna en el tubo lleguen al detector. A la izquierda el tubo óptico sin el inserto de cartulina; a la derecha tubo equipado con el inserto que aparece en la foto central. Los múltiples tabiques con forma de corona circular bloquean los rayos reflejados por la pared interna del tubo.



Ilustración 2: Red de difracción obtenida de un DVD colocada sobre la cámara trasera de un móvil Android

Sesión 6: 28/04/2020	
Objetivos	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construcción del tubo óptico
Metodología	
DIT	
Contenidos y Secuencia de Actividades	
55'	<p>Sesión 6 28/04/2020</p> <p>Construcción por parte del alumno del tubo óptico. Deberán ir construyendo el tubo y mostrar sus avances y problemáticas a través de videoconferencia.</p>

Sesión 6: 28/04/2020	
	<p>Antes de la próxima sesión instalar el siguiente software:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. En el teléfono Android: buscar en google play la app "DroidCam Wireless Webcam" 2. DroidCam Cliente Windows. Buscarlo en internet. Hay que instalarlo en el ordenador Windows. 3. En ordenador con Windows: En la página del link "Automation theremino" hay descargas de instrucciones muy interesantes sobre construcción de espectroscopios, y más abajo en la zona de descarga hay que descargarse donde dice: Theremino_Spectrometer_V2.8
Recursos	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Software Theremino https://www.theremino.com/en/downloads/automation#spectrometer

Sesión 7: 29/04/2020	
Objetivos	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demostración del ensamblaje tubo óptico-detector. ▪ Demostración de la conexión informática ▪ Demostración del calibrado con luz procedente de tubo fluorescente.
Metodología	
DIT	
Contenidos y Secuencia de Actividades	
55'	<p><u>Sesión 7, 29/04/2020</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Demostración fase de ensamblaje del sensor y el tubo óptico. Importancia de la fijación de la geometría 2. Demostración conexión informática con el ordenador y software de espectroscopio Theremino. <ol style="list-style-type: none"> 1.1. instalar todo el software y conectar el teléfono al ordenador. 2. Demostración calibración del software Theremino con luz procedente de tubo fluorescente (picos característicos del vapor de mercurio a 436 nm y 546 nm). 3. Una vez calibrado, visualización del espectro de luz incandescente y luces de lámparas led. <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Diferencias entre los dos espectros observados y su relación con el fenómeno que produce la luz.
Recursos	
	<p>Software Theremino https://www.theremino.com/en/downloads/automation#spectrometer</p>

Sesión 8: 30/04/2020	
Objetivos	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensamblaje y calibrado por parte de los alumnos
Metodología	
DIT	
Contenidos y Secuencia de Actividades	

Sesión 8: 30/04/2020	
55'	<p>Sesión 8 30/04/2020</p> <p>Dedicaremos la primera parte de esta sesión a que los alumnos vayan montando el espectroscopio y conectándolo al ordenador para luego calibrar el software "theremino spectrometer".</p> <p>Varios alumnos han seguido algunos videos de internet que utilizan tubos de patatas "pringles", que tienen el interior aluminizado y han encontrado muchos problemas para eliminar las luces parásitas. Se les demuestra que con uno de estos tubos y con un recubrimiento interior de papel de cocina y un pequeño trozo de papel oscuro detrás del espectro que aumente el contraste de la imagen consigue un espectro razonablemente bueno.</p> <p>Dos alumnos consiguen mostrar imágenes de espectros. Solo les falta centrar las imágenes y calibrar los picos. No consiguen que la fuente lumínica también aparezca en la ventana de detección del espectroscopio.</p>
Recursos	



Ilustración 3: Sensor acoplado al tubo óptico y mostrando la imagen del espectro de un tubo fluorescente

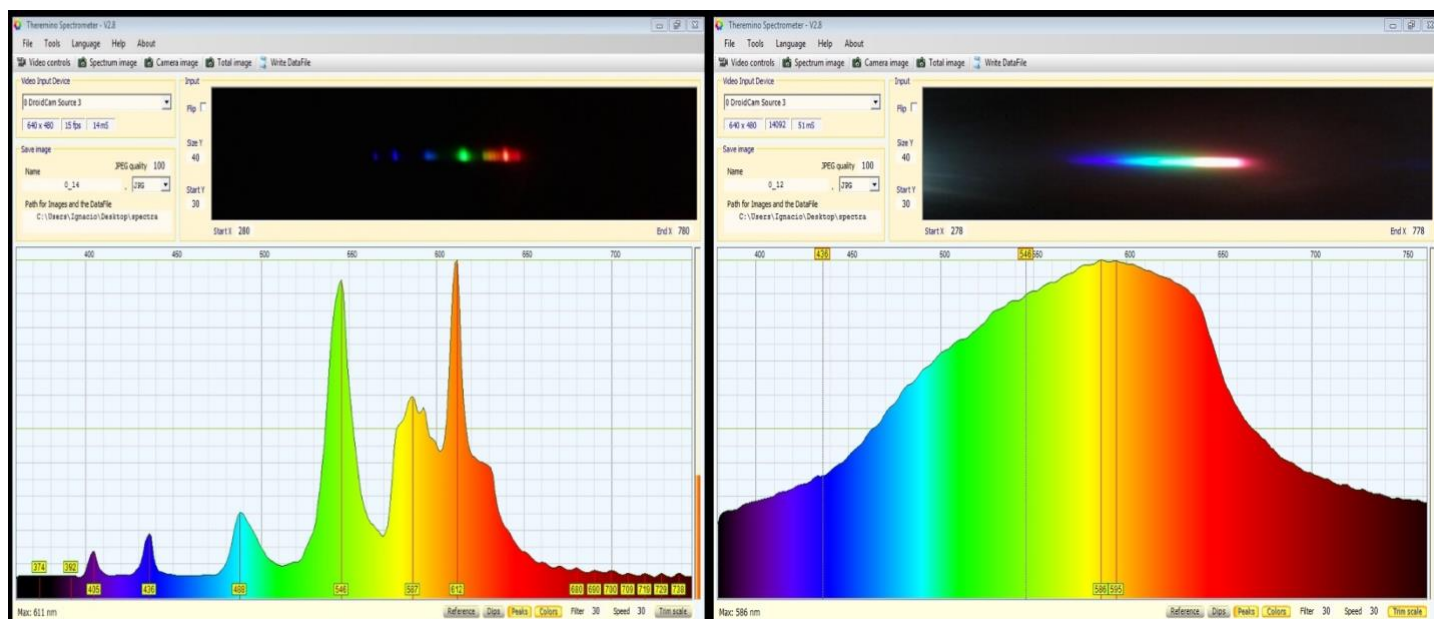


Ilustración 5: Espectro tubo fluorescente Phillips CFL 23042020 ya calibrado, obtenido durante la sesión 7, mostrando bien definidos los picos a 436 nm y 546 nm utilizados para la calibración

Ilustración 5: Espectro de una lámpara incandescente convencional de 25W obtenido durante la sesión 7

Sesión 9: 04/05/2020	
Objetivos	
<ul style="list-style-type: none"> Consultas sobre problemas encontrados y resultados obtenidos por alumnos. Planteamiento trabajo final 	
Metodología	
Magistral	
Contenidos y Secuencia de Actividades	
55'	<p>Sesión 9 (4/05/2020)</p> <p>Presentación del planteamiento y rúbrica para el informe final. Dado el número de alumnos que no han conseguido un espectroscopio funcional, se plantean dos informes alternativos (ver plantilla modelo en anexo, epígrafe 9.1).</p>
Recursos	
<ul style="list-style-type: none"> Plantilla modelo informe final (ver anexo epígrafe 9.1) Rúbrica informes escritos (ver epígrafe 5.7.2.2) 	

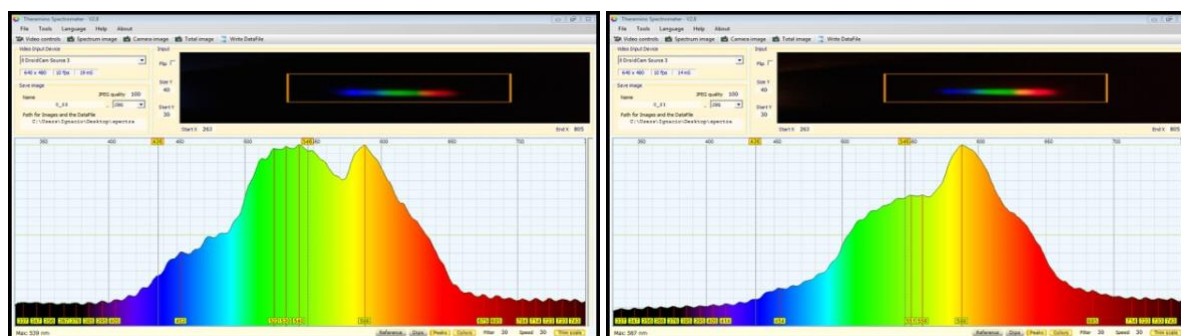


Ilustración 6: Izq.: Espectro bombilla led Matel 6W 6400K; Dcha.: Bombilla led Philips 5.5w 2700K obtenidos por el autor tras la sesión 8.

Sesiones 10, 11, 12: 05,06,08/05/2020	
Objetivos	
▪ Trabajo individual de redacción del informe final.	
Contenidos y Secuencia de Actividades	
55'	Sesiones 10, 11, 12 Trabajo individual del alumno para redactar el informe final. Se les permite entregar una primera vez, calificarlo y comentarlo y devolvérselo con opción a volverlo a entregar para subir nota.

5.7. Evaluación

En este epígrafe se describen brevemente los instrumentos de evaluación y los criterios de evaluación y calificación para la unidad didáctica propuesta.

5.7.1. Instrumentos de evaluación

- Participación en las sesiones (registro del profesor).
- Informe de laboratorio sobre la determinación experimental de la distancia de la red de difracción.
- Espectroscopio construido y espectros obtenidos (evaluación continua y demostración práctica del buen funcionamiento del espectroscopio).
- Informe final incluyendo:
 - Construcción del espectroscopio
 - Espectros obtenidos y breve comentario.
 - Elaboración de propuesta de proyecto de aplicación.

5.7.2. Criterios de evaluación

5.7.2.1. *Criterios para la evaluación continua de la participación y el trabajo experimental:*

Esta evaluación tomará como referencia los objetivos globales de la unidad establecidos en el epígrafe 5.2.4 y en su caso los objetivos específicos que se seleccionen entre los objetivos curriculares específicos detallados en epígrafe 5.2.

5.7.2.2. *Criterios de evaluación de los informes escritos*

Los dos informes escritos, "Informe de Laboratorio" e "Informe final" se evalúan en base a los criterios establecidos en la rúbrica que figura en la página 37.

Los informes escritos se presentarán y calificarán dos veces con una semana de intervalo. Tras la primera corrección y comentarios se da la posibilidad de presentarlos de nuevo corregidos para subir la calificación. Una mayoría de alumnos hizo uso de esta posibilidad.

5.7.3. Criterios de calificación

En la planificación inicial de la unidad didáctica la calificación se programó en base a las evaluaciones de cada uno de los instrumentos indicados, ponderándolos con los siguientes porcentajes:

- 20% Participación en las sesiones, cantidad y calidad.
- 20% Informe de Laboratorio sobre la práctica determinación distancia de la red de difracción.
- 20% Construcción del espectroscopio y obtención de espectros.
- 40% Informe final. En la evaluación de este informe final, se prestará especial atención a los siguientes aspectos:
 - Calidad del informe
 - Obtención de espectros consignados en el informe
 - Elaboración de propuesta de aplicación para el instrumento construido.

Debido a la imposibilidad de implementar la unidad didáctica tal como estaba prevista en un principio y a la escasez de espectroscopios completados entre el alumnado, el sistema de calificación anterior fue simplificado y reorganizado de la siguiente manera:

- Se eliminó la parte “Elaboración de propuesta de aplicación para el instrumento construido” del informe final.
- Se agruparon los instrumentos “Construcción del espectroscopio” y el “Informe final” rebajando el porcentaje al 50%.
- Los otros dos instrumentos se aumentaron a una ponderaron del 25%.

De esta manera, el sistema de calificación quedó definitivamente como sigue:

- 25% Participación en sesiones, cantidad y calidad.
- 25% Informe de Laboratorio sobre la práctica experimental de determinación distancia de la red de difracción.
- 50% Informe final. En la evaluación de este informe final, se prestó especial atención a los siguientes aspectos:
 - Construcción del espectroscopio.
 - Obtención y discusión de espectros consignados en el informe o alternativamente.
 - Análisis de las dificultades encontradas en el proyecto y propuesta de líneas de actuación para superarlas.

Rúbrica para la evaluación de los informes escritos

	1 Insuficiente	2 Mínimo	3 Aceptable	4 Optimo
Estructura del texto	El lector no puede seguir el texto, o lo sigue con mucha dificultad y haciendo suposiciones. No hay conexión de ideas o ésta es muy deficiente.	El texto no es fácil de seguir y con conexiones de ideas no consistentes o débiles.	Texto bastante fácil de leer y comprender. La conexión de las ideas es consistente.	Texto fácil de leer y comprender, bien desarrollado y con las diferentes ideas bien conectadas
Contenido del texto	El texto no contiene los contenidos requeridos	El texto contiene algunos de los contenidos requeridos	El texto contiene la mayor parte de los contenidos requeridos	El texto contiene todos los contenidos requeridos.
Introducción	No despierta interés y la mayor parte del texto no está relacionado con el trabajo experimental realizado.	Aborda el tema omitiendo varios aspectos principales y/o extendiéndose de forma innecesaria.	Muestra las líneas principales pero algún aspecto queda inconcluso o no desarrollado.	Plantea de forma atractiva el resumen de la actividad experimental Asocia y justifica los aspectos teóricos relacionados, justificándolos de forma conceptual.
Objetivos	Inexistentes o totalmente inadecuados.	Desordenados o de pertinencia limitada.	Correctamente expresados, verbos no infinitivos	Planteados de forma ordenada, precisa y concisa, con verbos en infinitivo.
Materiales y métodos	No se mencionan los materiales y procedimientos, o faltan en su mayor parte.	Faltan materiales y/o métodos. Redacción inapropiada por excesiva extensión, o por incluir elementos obvios e innecesarios	Redacción ordenada y concisa pero falta algún material o método.	Redactados de forma completa, concisa, ordenada, descriptiva y suficiente.
Resultados y discusión	No se presentan de manera suficiente los resultados, faltando elementos. Las ideas de la discusión son irrelevantes, impropias o inexistentes.	Presentación de resultados suficiente pero muy breve. La discusión es poco relevante.	Se mencionan los resultados. La discusión es débil o redactada de forma inapropiada.	Se consignan los resultados obtenidos de forma clara y completa. Se discuten de forma apropiada, ordenada y coherente
Conclusión	No existe conclusión o no está relacionada con el trabajo experimental.	Poco relevante con respecto al trabajo experimental realizado.	Relevante pero no se concreta de forma suficiente, o el texto es innecesariamente largo.	Relevante, concisa y adecuada

5.1. Atención a la diversidad

La Orden Foral 93/2008 (Gobierno de Navarra, 2008) recoge las medidas de atención a la Diversidad. La inclusión de enfoques educativos alternativos a los enfoques tradicionales puede ser sin duda un aliciente para el alumnado desmotivado, y pueden constituir una medida de atención a la diversidad (de miradas, de capacidades) constituyendo un complemento excelente para el modelo tradicional.

Aquellos alumnos/as que no aprueben el proyecto final, deberán realizar un trabajo relacionado con todos los conceptos tratados en el proyecto, que se acordará entre el alumno/a y el profesor/a. Es decir, se realizará un plan de recuperación personalizado (atención a la diversidad) dependiendo de los motivos por los que no se ha superado.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusión se refieren a la unidad didáctica impartida por el autor en el IES Basoko, durante su periodo de Prácticum II en dicho centro, bajo supervisión de su cotutor E. Navajas, entre el 20/04/2020 y el 7/05/2020, fechas que corresponden al estado de alarma por el COVID 19. Por tanto, todas las sesiones se realizaron telemáticamente.

6.1. Metodología y contenidos

La metodología implementada en esta unidad didáctica ha estado muy condicionada por el hecho de impartirse telemáticamente. La idea original de una unidad didáctica en la que se construyera un espectroscopio nunca consideró la posibilidad de su aplicación vía telemática. Un proyecto que puede ser perfectamente viable presencialmente, trabajando en grupos colaborativos en el laboratorio y apoyados presencialmente por el profesor, ha resultado excesivamente dificultoso con el alumno trabajando en solitario y con grandes limitaciones materiales. Incluso los alumnos con buena base por haber estudiado física de segundo de Bachillerato, algunos además muy motivados por el trabajo experimental, a duras penas han conseguido unos resultados satisfactorios.

Por otra parte, el hecho de haber tenido que utilizar una metodología DIT excesivamente dirigida ha debilitado mucho el cumplimiento de alguno de los objetivos competenciales esenciales, relacionados con autonomía, iniciativa, creatividad y competencias científicas, así como todas las relacionadas con el trabajo colaborativo.

El contenido teórico aportado ha cumplido su cometido. Su objetivo es ser trasfondo, motivación e hilo conductor de la unidad, enfatizando en la historia de la espectroscopía la actitud, circunstancias y limitaciones de los científicos del siglo XIX y los estupendos resultados que obtuvieron. Los recursos presentados por el docente (software, presentaciones, vídeos) se consideran adecuados y han cumplido su función.

Se han detectado importantes carencias materiales debidas a la situación de confinamiento, como el no disponer de una variedad suficiente de fuentes lumínicas con las que calibrar adecuadamente el espectroscopio y enriquecer la experiencia del análisis espectros, en el caso de haber llegado los alumnos a montar y calibrar con éxito el espectroscopio.

El informe final debía incluir la elaboración de una propuesta de proyecto que usara como instrumento el espectroscopio construido, o bien un proyecto de mejora del mismo. Esta parte de la unidad hubo de ser cancelada, dado que la mayoría tuvo que centrar su informe final en los problemas encontrados que les impidieron completar el espectroscopio, y elaborar propuestas para superarlos.

Se podrían haber elaborado multitud de proyectos para la posible utilización del espectroscopio. Serían ejemplos de estos proyectos el análisis cualitativo a la llama, el construir un colorímetro para preparar curvas de calibración de concentraciones de disoluciones coloreadas, proyectos de mejora de la resolución del espectroscopio o intentar detectar las líneas de Fraunhofer en la radiación solar entre otros muchos sin duda posibles. Una parte sustancial de estos posibles proyectos podrían estar de hecho más relacionadas con la química que con la física, lo cual apoya también la idea de que es precisa más óptica en el currículo de física y química a lo largo de toda la secundaria.

En cualquier caso, y aunque no ha podido realizarse el proyecto de unidad didáctica tal y como estaba concebido, sí que parece claro que el número de 12 sesiones realizadas es insuficiente. Una alternativa interesante consistiría en planificar un mínimo de 20 sesiones que sin dejar de utilizar una metodología DIT como vertebradora de toda la unidad, cada fase se constituyera en verdadero mini-proyecto entro de un plan general de construcción. En cada mini proyecto el problema a resolver estaría claramente definido dentro del marco teórico y práctico de la unidad, y los grupos de trabajo podrían trabajar con total autonomía para buscar alternativas de solución viables y seleccionar e implementar las que considerasen mejores. De este modo se podrían trabajar las competencias de capacidad de creatividad y análisis de los problemas, así como la toma de decisiones. Esta organización permitiría que el importante número de sesiones que requiere pudiera ser fraccionado a lo largo de uno o dos trimestres, con fases que podrían realizarse en una semana lectiva de cuatro sesiones.

Un aumento del número de sesiones permitiría también plantear nuevas actividades de refuerzo. Dichas actividades podrían estar basadas directamente en la documentación histórica manejada, y podrían consistir, por ejemplo, en organizar sesiones de “role playing” (Kirchhoff y Bunsen por ejemplo) por grupos, en las que se argumentara ante un comité que decide la financiación de nuevos proyectos, la importancia de la espectroscopía. La financiación obtenida por cada grupo puede utilizarse para evaluar la actividad. Esto permitiría que los alumnos se pusieran en la piel de estos científicos decimonónicos, que se enfrentaron a problemas quizá similares a los que ellos han encontrado con su espectroscopio.

Ha quedado en el tintero otro elemento fundamental en la idea inicial de esta unidad didáctica que no se ha podido concretar. Es la parte relacionada con la medición e interpretación del espectro del hidrógeno, poniéndolo en relación con el nacimiento de la cuántica y el modelo atómico de Bohr. Esto no era viable por no disponerse lógicamente en casa de tubos de descarga de hidrógeno, pero sería viable dado que sí existen en el laboratorio del instituto, no solo el hidrógeno sino otros gases que enriquecerían la gama de espectros observados.

Por otra parte, un área de desarrollo potencial muy interesante para esta unidad es convertirlo en un proyecto multidisciplinar conjunto con la asignatura de tecnología, dadas las inagotables posibilidades de la impresión 3D, los automatismos, y el posible uso de cámaras CCD que no estén sometido al filtrado IR y el tratamiento informático incontrolable de las imágenes de los móviles, elementos que podrían ser incorporados en un espectroscopio escolar con grandes beneficios pedagógicos, científicos y técnicos.

6.2. Resultados experimentales obtenidos

Los alumnos de segundo de Bachillerato están plenamente capacitados para completar con éxito un trabajo de este tipo. Se encontró sin embargo una diferencia en el desempeño entre los que cursan *Física* y los que cursan solo *Química*. No obstante, por ser solo dos los alumnos de este grupo que cursan *Química* pero no *Física*, esto puede ser poco significativo. De hecho,

uno de estos dos alumnos de química fue el único que incluyó en su informe varios bocetos a mano alzada con alternativas que decía haber probado sin éxito, y ambos alumnos de *Química* obtuvieron buenas calificaciones finales. En cualquier caso, no sería sorprendente, tras el análisis realizado de los contenidos sobre ondas y sobre la luz en los currículos de secundaria, a excepción de los que han cursado Física que tenían además los conceptos muy recientes, que muchos alumnos tuvieran problemas con esta unidad. Esto implica que, de volver a impartir esta unidad, deberá ser precedida de unas sesiones de homogeneización de conocimientos previos, que intenten corregir las graves carencias del currículo en esta materia, sobre todo cuando se aplique sobre alumnos de cursos inferiores.

Únicamente tres alumnos consiguieron ensamblar todos los elementos y mostrar en la ventana de detección de Theremino algo que contuviera espectros viables. Sin embargo, ninguno ha conseguido limpiar y centrar correctamente el espectro en la ventana de detección y calibrar el instrumento. El tiempo dedicado al software Theremino y a cómo se obtienen los picos de los espectros ha sido claramente insuficiente, lo que explica que prácticamente ningún alumno haya podido tratar correctamente la imagen del espectro obtenida (ver ejemplo de informe final de uno de los alumnos que consiguió ensamblar el espectroscopio en el anexo, epígrafe 9.7). En algunos casos, como en el mostrado, los alumnos han interpretado la luz directa de la rendija, que aparecía en la imagen por una inadecuada orientación del detector, como parte del espectro.

Estos escasos resultados parecen confirmar que los objetivos de la unidad son demasiado ambiciosos, y mucho más si además se ha de realizar telemáticamente, confirmándose que trabajo de laboratorio y teletrabajo son en gran medida incompatibles. Varios alumnos han manifestado su frustración ante la imposibilidad de reproducir los trabajos propuestos. A pesar de ello, la motivación de algunos alumnos ha sido muy alta, y han llegado a obtener resultados que, dadas las circunstancias, son muy alentadores con vistas a la implementación de esta unidad en su modalidad presencial.

Finalmente, la mayor parte de los alumnos intenta reproducir exactamente los pasos del profesor, cosa esperable dado lo excesivamente dirigido de la metodología. Sin embargo hay una pequeña parte del alumnado que busca soluciones diferentes, creatividad que podría dar frutos con una metodología ABP colaborativa y, por supuesto, presencial.

6.3. Informes escritos

Tal y como se ha indicado en la contextualización, los alumnos de este grupo ya están acostumbrados a la redacción de informes estándar sobre trabajos experimentales.

La gran mayoría realizaron las mediciones experimentales de la red de difracción y realizaron el informe siguiendo el formato estándar requerido.

De los dos informes escritos requeridos, el primero es el más convencional por ser una determinación experimental del valor numérico de la distancia característica de la red de difracción a utilizar en el espectroscopio. Sin embargo, una mayoría no hace suficiente énfasis en el objetivo concreto del experimento, que es la medición de un parámetro fundamental de la red de difracción concreta que ellos han obtenido, y además medir los ángulos concretos con los que van a salir difractadas las diferentes longitudes de onda. En los apartados de objetivos e introducción, a menudo se confunde estos objetivos con la construcción del espectroscopio, o con sus objetivos de aprendizaje o incluso motivaciones. Tienen dificultad para deslindar sus objetivos de aprendizaje o su motivación de los objetivos del interés técnico o científico del trabajo experimental de que se trate.

En la introducción a menudo falta una introducción general sobre los fundamentos teóricos en los que se basa la medición y las ecuaciones concretas que vamos a utilizar para nuestros cálculos. Se redactan introducciones circunstanciales totalmente inapropiadas. Se abusa del corta-pegar, con textos introductorios faltos de coherencia discursiva, con muy honrosas pero escasas excepciones.

En el dispositivo experimental se echan en falta esquemas explicativos, dado el carácter geométrico de la medición, de cómo se disponen los diferentes elementos para realizar la medición. Sorprende lo poco que usan la cámara de fotos, a pesar de que en el ocio no paran de hacer fotos a todo. En un trabajo experimental en el que, como en casi todos, las fotos son valiosas, no tienen el reflejo de fotografiar y de seleccionar fotos relevantes. A menudo insertan fotos obtenidas de internet, que en muchos casos no tienen mucho que ver con el texto. En ningún caso indican si la foto es suya u obtenida de internet. Solamente en un caso un alumno presenta, ya se ha comentado, bocetos de diferentes propuestas realizados a mano y bien planteados. No es por casualidad que fueran las propuestas más originales, dibujar es una herramienta fundamental de la creatividad. Hay muy poca tendencia entre los alumnos a dibujar un boceto, parecen querer encontrarlo todo en internet y a menudo incorporan sin pudor esquemas obtenidos en internet que poco tienen que ver con lo tratado.

En el apartado de resultados deben hacer constar los datos concretos que hemos medido, los ángulos para cada color el valor obtenido para DVD o CD. Es claro que en muchos alumnos no ha quedado claro que el objetivo fundamental del trabajo experimental con la red de difracción es caracterizar su red de difracción por determinación de la distancia de la rejilla de difracción, un valor numérico. Una mayoría del alumnado no da explícitamente el valor obtenido, o no lo explicita suficientemente.

En muy pocos casos hay análisis de resultados, y de cómo la metodología o las circunstancias concretas de la medición practicada han influido en el mejor o peor resultado obtenido, o cual es la fiabilidad, precisión o exactitud del dato obtenido.

En cuanto al apartado de conclusiones, estas son muy generales, escaseando las conclusiones concretas y directamente relacionadas con el experimento realizado.

6.4. Motivación, implicación y participación

A pesar de las dificultades que una unidad didáctica experimental puede suponer para su implementación vía telemática, al haberla realizado cuando ya había pasado más de un mes desde el inicio del confinamiento, las rutinas de trabajo vía videoconferencia ya estaban bien consolidadas en este grupo, que por otra parte es un grupo que en general da buenos rendimientos académicos. No obstante, se ha establecido durante el confinamiento una rutina generalizada de micrófonos cerrados y escasa participación en clase que no contribuye a la creación de una dinámica activa y creativa por parte de los alumnos.

Sin embargo, la existencia de un grupo de cuatro o cinco alumnos motivados por el trabajo de laboratorio permitió mantener el dinamismo de las clases por encima de los que se estaban obteniendo en otros grupos similares con metodología magistral.

La idea de construir un espectroscopio ha conseguido atraer a varios de los alumnos, a pesar de lo desmotivante del confinamiento. El disponer de una red de difracción de un DVD o CD no fue problema. Sin embargo, el no disponer de luces fluorescentes convencionales, que dan un espectro de mercurio muy interesante y útil para la correcta calibración del espectroscopio, sí

ha sido una notable barrera material y desmotivante, aunque hubo un alumno que consiguió una luz “fría” ultravioleta e intentó obtener su espectro.

7. CONCLUSIONES

- Del análisis del currículo de Educación Secundaria realizado se puede concluir que el tratamiento que se hace de la óptica y las ondas a lo largo de ambas etapas es insuficiente. Su introducción apresurada en la asignatura de *Física* de segundo de Bachillerato no resuelve las carencias observadas, no solo para los que no siguen estudios científicos, sino incluso para los que lo hacen por la rama de la *Química*.

La indudable importancia de la óptica y las ondas para una adecuada comprensión del mundo físico y de un número creciente de tecnologías de uso cotidiano justificaría plenamente la inclusión de un bloque entero dedicado a la luz y las. De esta forma las nociones de la óptica podrían ser introducidas de forma fenomenológica y progresiva, a lo largo de varios cursos, al igual que se hace en los bloques sobre la materia, la energía, o la dinámica.

- La unidad didáctica sobre espectroscopía visible propuesta puede contribuir a paliar las carencias del currículo y permitir una introducción de las nociones fundamentales de la óptica y la interacción entre ondas electromagnética y la materia. Una adecuada transposición adaptada al nivel de conocimientos y cognitivo de los diferentes cursos de la ESO y Bachillerato puede hacer posible que alumnos de los últimos cursos de la ESO o primero de Bachillerato puedan construir por sus propios medios un espectroscopio funcional con interesantes posibilidades pedagógicas.
- La impartición de esta unidad didáctica sobre un grupo de estudiantes de segundo de Bachillerato vía telemática durante el confinamiento confirma que este tipo de alumnos está plenamente capacitado para llevar a buen término una unidad de este tipo.

Sin embargo, el confinamiento ha supuesto una barrera insuperable para muchos alumnos. La unidad ha demostrado ser demasiado ambiciosa y futuras implementaciones precisarían modificaciones metodológicas y temporales.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Departamento Física y Química IES Basoko. (2019). *Programación didáctica 2019/2020 asignatura "Ciencias Experimentales y Aplicaciones Transversales."* Pamplona.
- Fernández, María del Carmen Vidal, & Gómez, D. S. (2016). *Física y Química 2ESO* (P. de L. Villota, ed.). Madrid: Santillana Educación SL.
- Fernández, María del Carmen Vidal, Gómez, D. S., & de Luis García, J. L. (2019). *4 ESO Physics and Chemistry* (T. G. Ruiz, ed.). Madrid: Santillana Educación SL.
- Gatkine, P. R., Zimerman, G., & Warner, E. (2018). *A do-it-yourself spectrograph kit for educational outreach in optics and photonics*. 27. <https://doi.org/10.1117/12.2321640>
- Gobierno de Navarra. (2008). ORDEN FORAL 93/2008, DE 13 DE JUNIO, DEL CONSEJERO DE EDUCACIÓN POR LA QUE SE REGULA LA ATENCIÓN A LA DIVERSIDAD EN LOS CENTROS EDUCATIVOS DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA Y EDUCACIÓN SECUNDARIA DE LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA. *Boletín Oficial de Navarra*, (BON N.º 93 30/07/2008). Retrieved from <http://www.lexnavarra.navarra.es/detalle.asp?r=29678>
- Gobierno de Navarra. (2015a). Decreto Foral 24/2015 de 22 de abril, Currículo de las Enseñanzas de ESO en la Comunidad Foral de Navarra. *Boletín Oficial de Navarra*, (Nº 127-2/07/2015).
- Gobierno de Navarra. (2015b). Decreto Foral 25/2015 de 22 de abril, Currículo de las Enseñanzas del Bachillerato en la Comunidad Foral de Navarra. *Boletín Oficial de Navarra*, (Nº 127-2/07/2015).
- Hassard, J. (2008). *The Art and Science of Teaching: Inquiry and Innovation in Middle School and High School* (2nd Editio). Oxford: Oxford University Press.
- Kirchhoff, G. (1860). On the Relation between the Radiating and Absorbing Powers of different Bodies for Light and Heat. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, XX(CXXX), 1–20.
- Kirchhoff, G., & Bunsen, R. (1860). Chemical Analysis by Spectrum-observations. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, XX(CXXXI), 89–110.
- Lappetito, L. (2015). Atomic Spectroscopy. Retrieved from http://physicsopenlab.org/wp-content/uploads/2015/12/SpettroscopiaAtomica_ENG.pdf
- Prada, F. I. de, Cañas, A., & Caamaño, A. (2015). *física y química 3 ESO*. Ediciones SM.
- Sánchez Ron, J. M. (2005). *Historia de la física cuántica*. Barcelona: Crítica SL.
- theremino.com. (2014a). Theremino Spectrometer Instructions. Retrieved from <https://www.theremino.com/en/downloads/automation>
- theremino.com. (2014b). Theremino Spectrometer Technology. Retrieved from https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Technology_ENG.pdf
- Zubairy, M. S. (2016). A Very Brief History of Light. In M. D. Al-Amri, M. El-Gomati, & M. S. Zubairy (Eds.), *Optics in Our Time* (pp. 3–24). https://doi.org/10.1007/978-3-319-31903-2_1

9. ANEXOS

9.1. Anexo A. Plantilla ejemplo para el informe final

Título

Resumen

Breve resumen del trabajo realizado

Palabras Clave

Introducción

Breve resumen de la experiencia y una justificación desde el punto de vista teórico, poniendo de manifiesto los principios físicos involucrados

Objetivo

Materiales y método

En este apartado se detallarán los materiales empleados y cómo se ha construido el espectroscopio

Resultados y discusión.

En este apartado se analizarán críticamente los resultados obtenidos.

- Los que han conseguido espectros:
 - Estudio de uno o varios espectros obtenidos con el espectroscopio
 - Explicación general breve del espectro observado y del fenómeno físico que lo produce.
- Si se han tenido problemas para construir el espectroscopio
 - Descripción de las dificultades, análisis de estos y propuesta de actuación para superarlas.

Conclusiones

Bibliografía

En este apartado se enumeran las fuentes bibliográficas consultadas.

9.2. Anexo B. PowerPoint “Albores de la espectroscopía”

Los primeros pasos de la espectroscopia

y alguna de sus muchas
aportaciones a la astrofísica

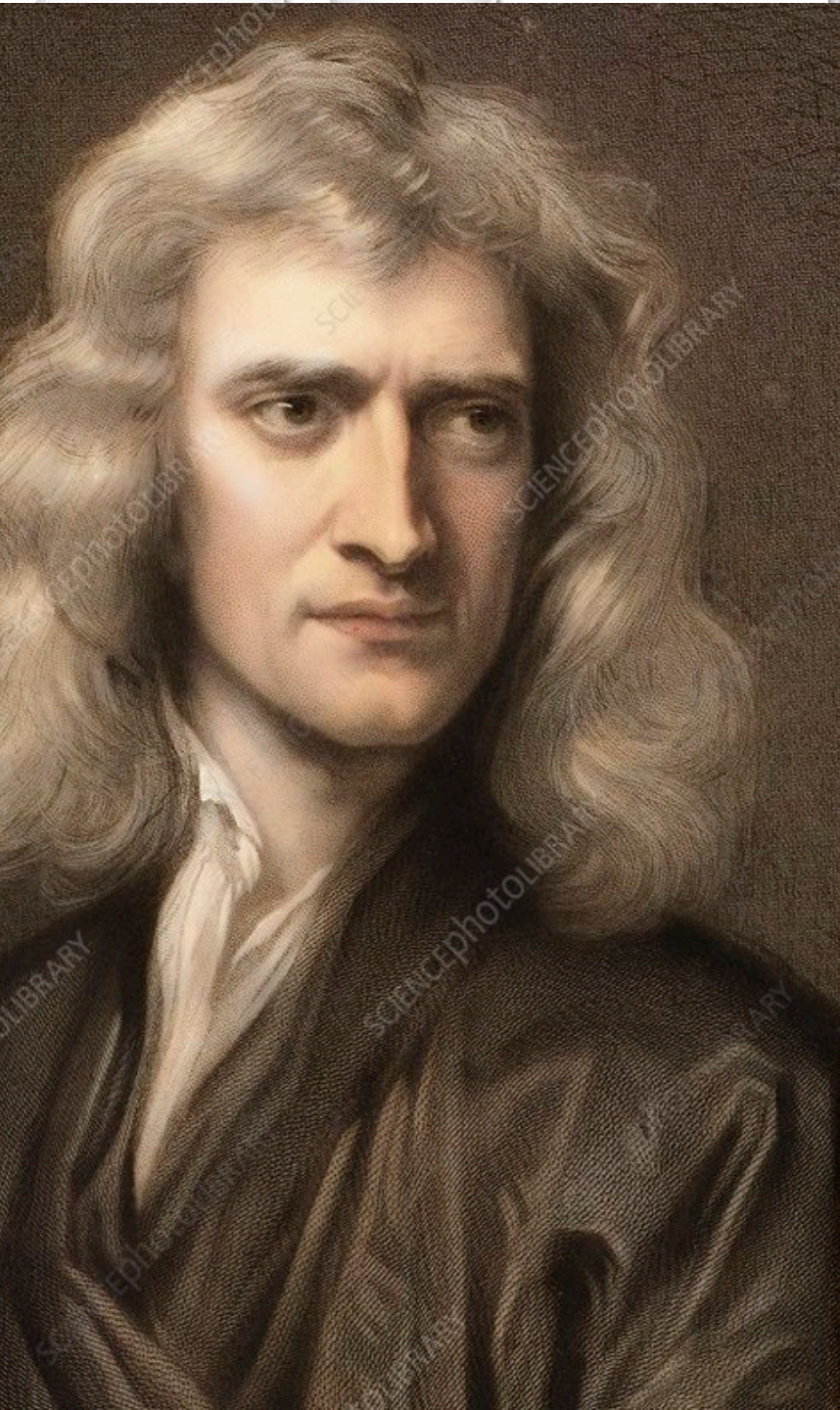


Sumario

- Que es la espectroscopia
- Historia de la espectroscopia
 - Albores de la espectroscopía: de Newton 1752 a Kirchhoff-Bunsen 1858
 - Fase de consolidación experimental: de Krichhoff-Bunsen a las series del hidreogeno de Lyman, Paschen
 - Formulación de bases teóricas: Plank, Einstein y Bohr
- Astrofísica
 - La radiación del cuerpo negro y el estudio del Sol
 - Química del universo

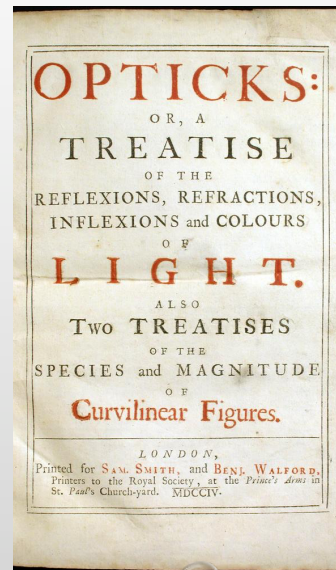
Espectroscopía

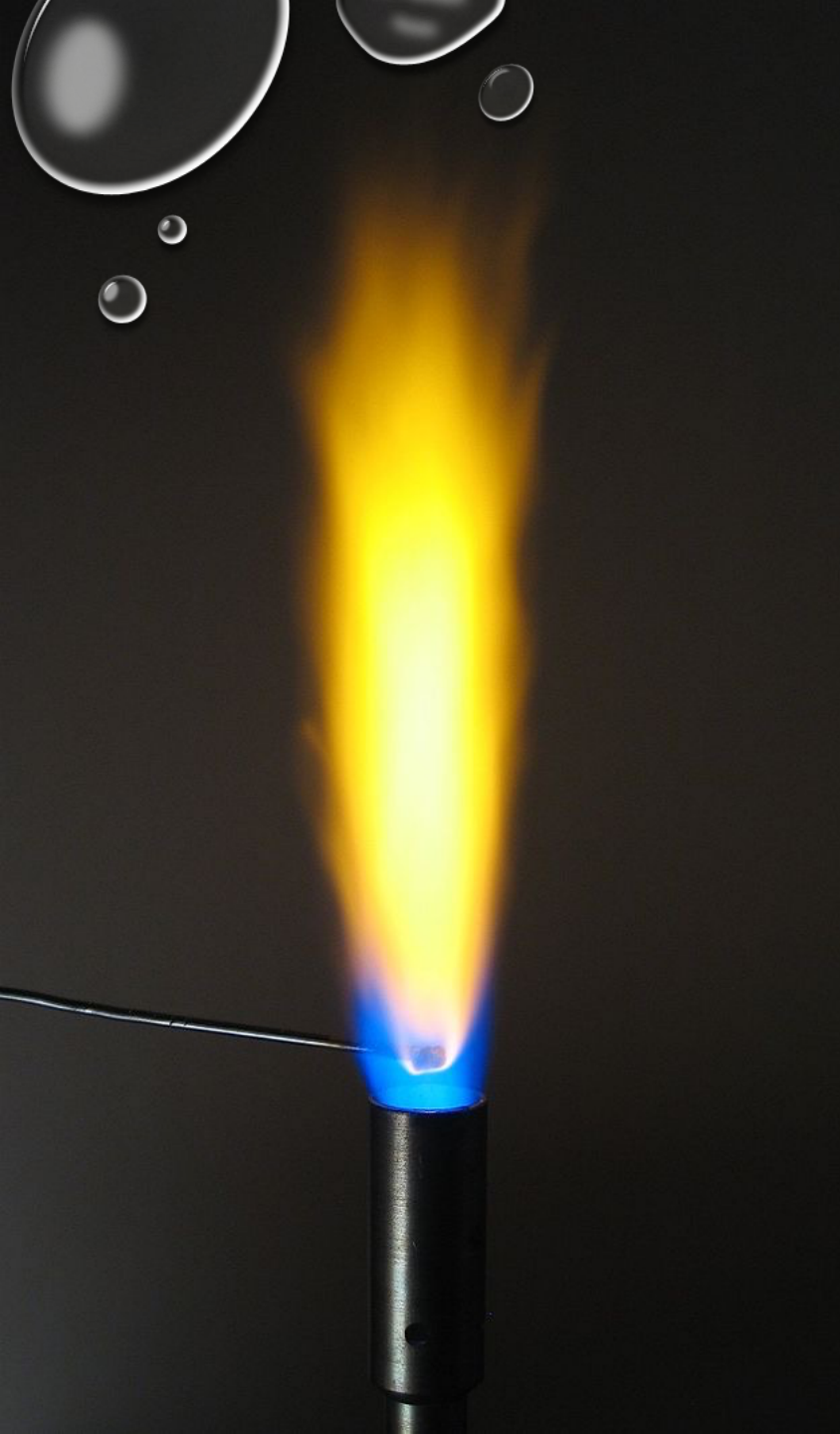
- Se puede definir como la ciencia que estudia la interacción de la materia con la radiación electromagnética y de su variación con la longitud de onda
- Nació en el restringido campo de la luz visible
- En la actualidad en un sentido amplio se extiende a ondas no electromagnéticas como las ondas sonoras o gravitatorias y su importancia en el desarrollo y metodologías de muchas ciencias es trascendental
- Sin embargo, hace apenas 160 años la espectroscopía no existía como ciencia, ni ninguna de sus bases teóricas había sido desarrollada



1671 Isaac Newton (Inglaterra)

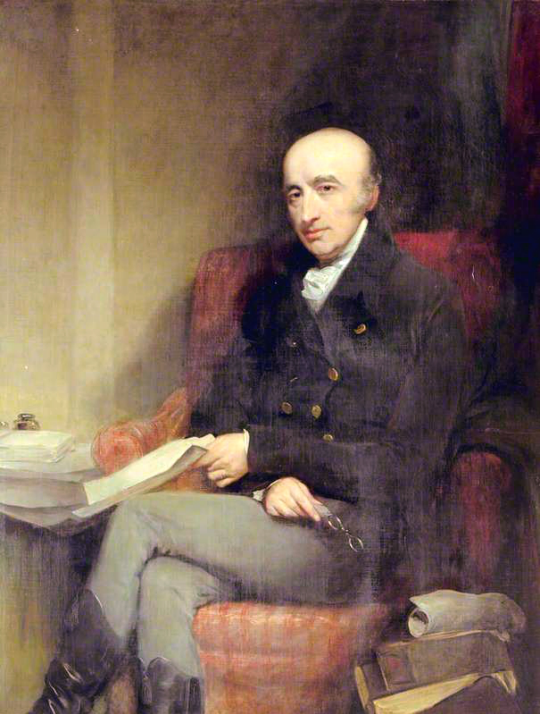
- Entre sus muchas aportaciones a la historia de la ciencia no es la menor su aportación a la óptica
- Hacía muchos siglos que se conocía el “espectro” coloreado que se producía cuando la luz blanca atravesaba un prisma.
- Se consideraba que al atravesar el prisma cambiaban los atributos de la luz. El color no se consideraba un atributo innato u original de la luz.
- Newton realiza una aportación esencial al concluir tras sus estudios experimentales que los colores no son un resultado de las refracciones y reflexiones sino que son
- **PROPIEDADES ORIGINALES O INNATAS DE LA LUZ**
 - **LA LUZ BLANCA ES EL RESULTADO DE UNA COMBINACION DE LUCES ELEMENTALES COLOREADAS**





1752 Thomas Melvill (Escocia)

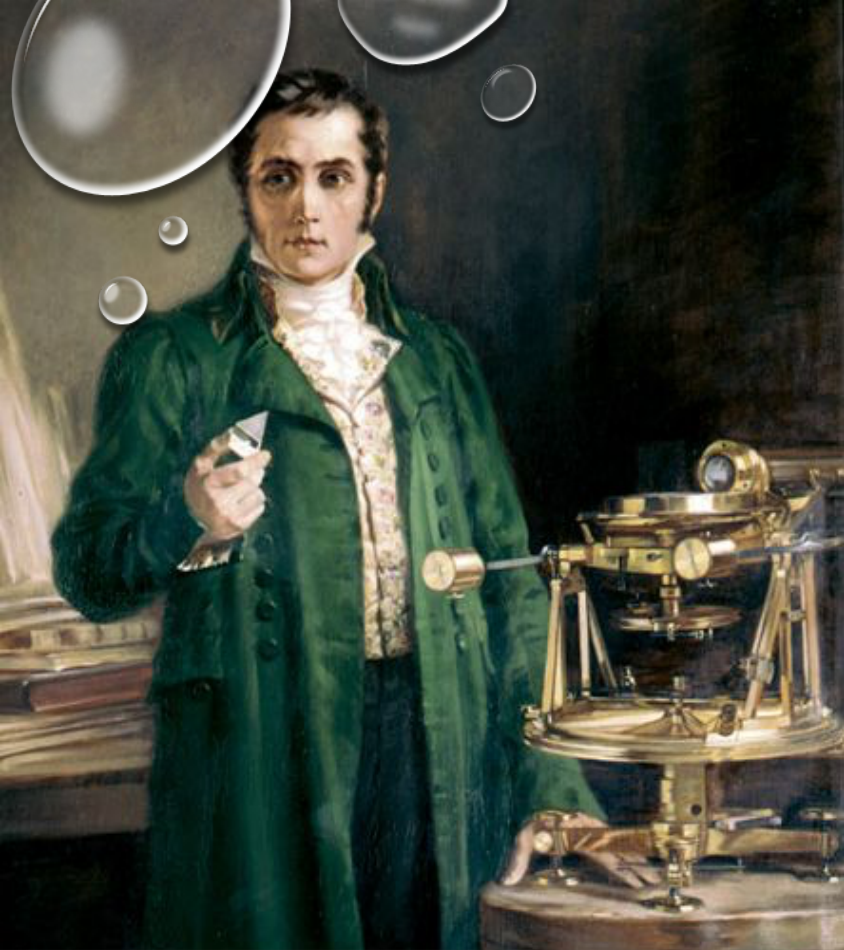
- Observó que calentando sales en una llama se producían brillantes colores.
- Identificó el sodio, que aparecía casi siempre como impureza, con el color amarillo a la llama
- Hizo pasar la luz por un prisma y observó un espectro continuo con líneas más brillantes
- Fue el primero en observar un espectro de emisión



1802 William Hyde Wollaston (Inglaterra)

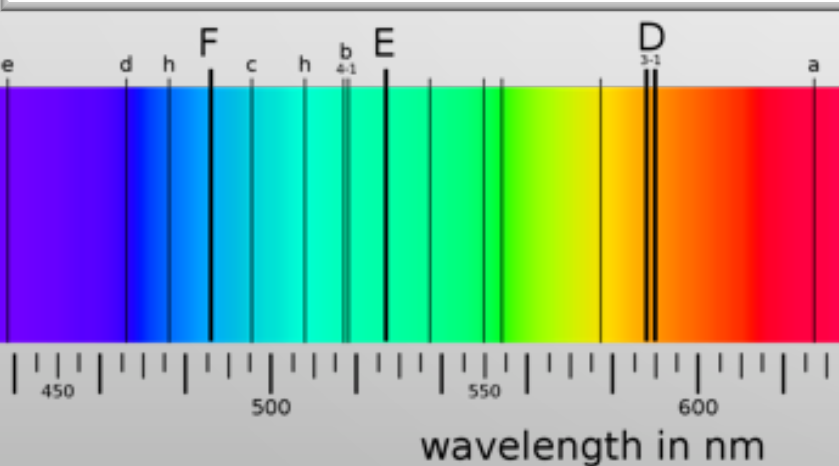
- Químico, descubridor del Paladio y el Rodio
- En 1802 observó que en el espectro del sol había líneas oscuras, pero las identificó erróneamente con los “bordes” de los colores

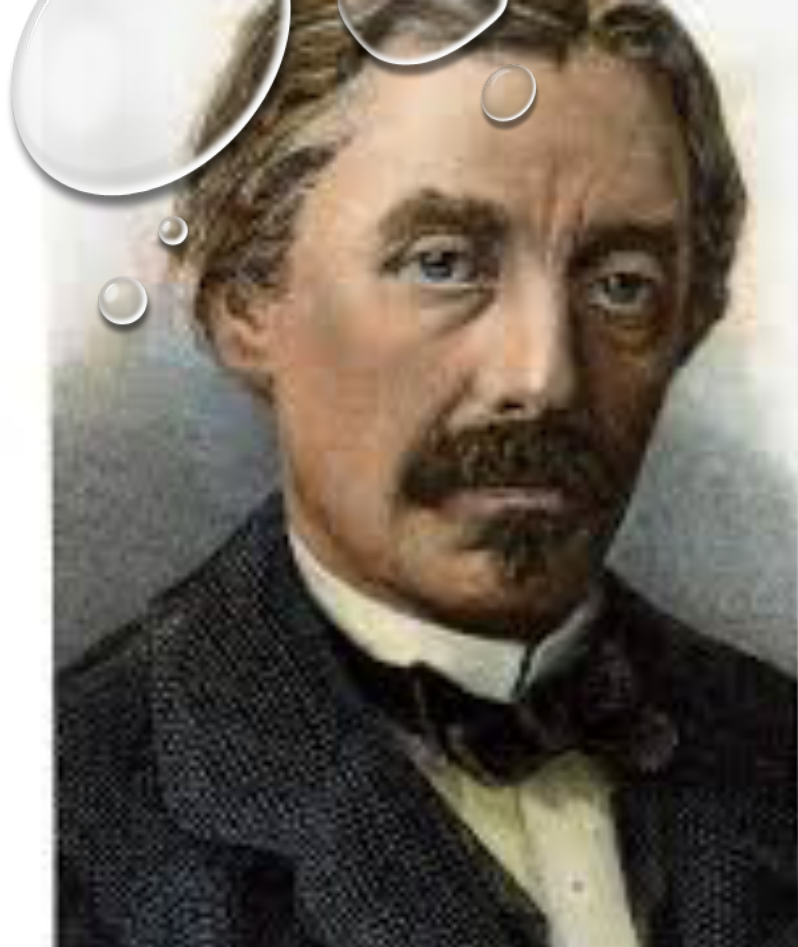




1814 Joseph von Fraunhofer (Baviera)

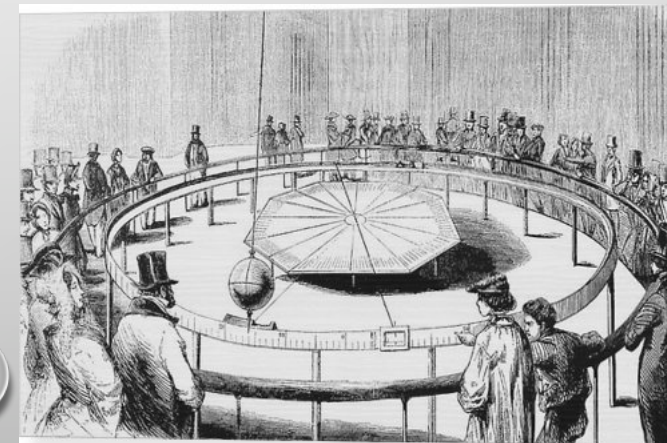
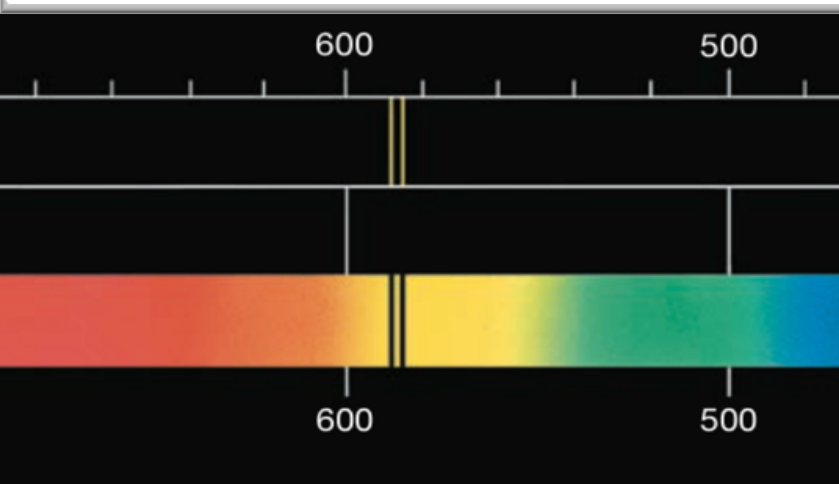
- Físico y el mejor fabricante de lentes acromáticas y prismas de su tiempo, obsesionado por mejorar la calidad de sus lentes.
- Buscando puntos de referencia en los espectros para determinar con precisión los índices de refracción de sus materiales observó las líneas que ya había visto Wollaston.
- La insuperable calidad de las ópticas que fabricaba le permitió observar nada menos que 600 líneas, identificando con exactitud la posición de 324 de ellas.
- Nombró la doble línea amarilla del sodio como “línea D”
- Observó que se podían introducir líneas oscuras si la luz atravesaba algunas sustancias.





1849 Leon Foucault (Francia)

- Físico parisino muy recordado por su famoso péndulo
- Fue el primero en caer en la cuenta de que las intensas líneas D de Fraunhofer se corresponden exactamente con las brillantes líneas producidas por la ensayo a la llama del sodio



1858 Gustav Kirchhoff (Prusia) y Robert Bunsen (Westfalia)

- Coinciden en la universidad de Heidelberg
- Bunsen es un químico experimentado en la purificación de compuestos, interesado en la identificación de elementos mediante ensayo a la llama
- Kirchhoff es un físico que había desarrollado como estudiante sus famosas leyes de Kirchhoff para los circuitos



La gran contribución a la ciencia de un modestísimo dispositivo

- Pocos casos habrá en la historia de la ciencia en la que un instrumento tan sencillo y modesto como el mechero Bunsen haya contribuido de forma tan relevante a una gran revolución científica.
- Bunsen desarrolló su diseño de mechero porque necesitaba una llama muy caliente que produjera el mínimo de luz.



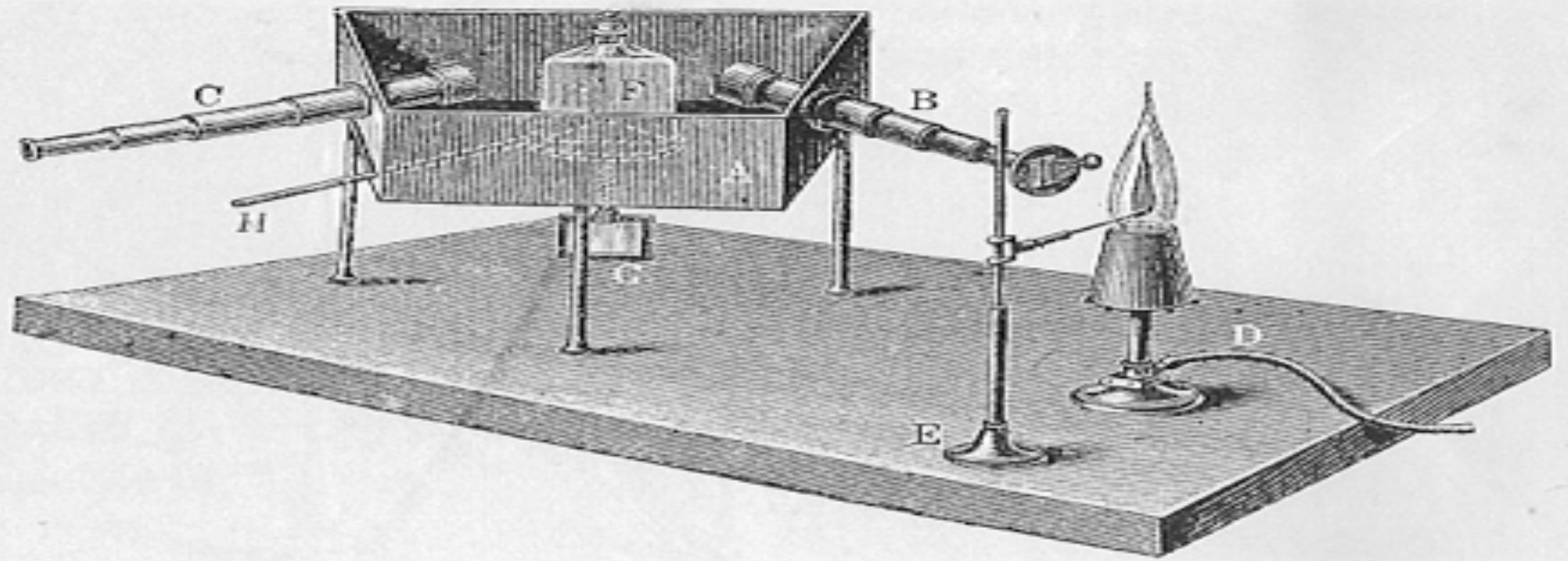
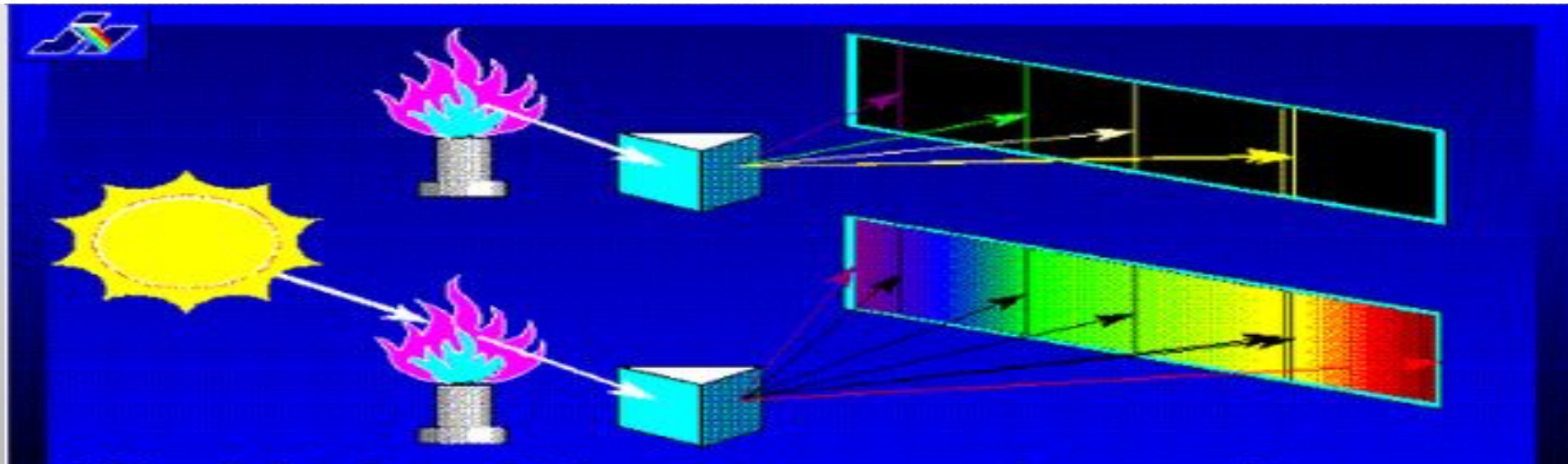
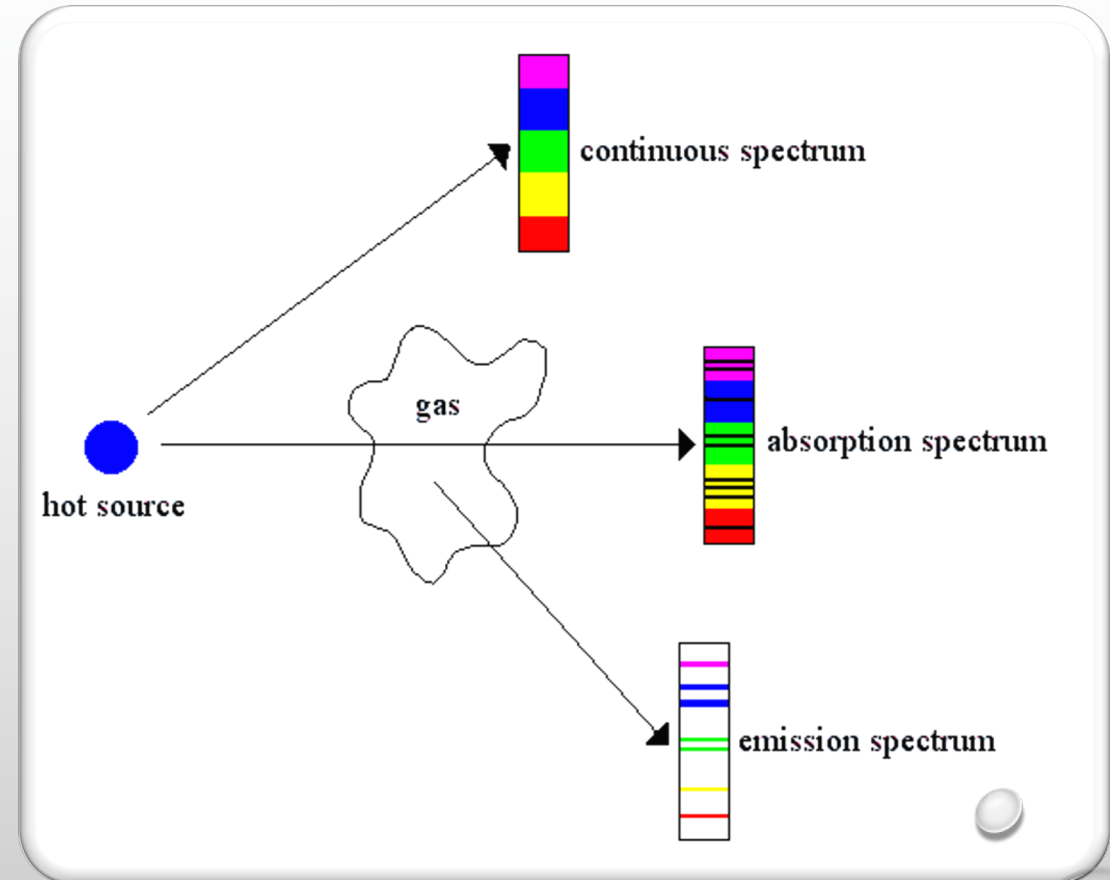


FIG. 411. THE DISPERSION OF LIGHT BY A GAS.



Las tres leyes de Kirchhoff

1. Los cuerpos luminosos sólido, líquidos o gaseosos suficientemente densos emiten luz de todas las longitudes de onda, produciendo un espectro continuo.
2. Los gases poco densos muy calientes emiten luz cuyo espectro consiste en series de líneas de emisión que son características de la composición del gas.
3. Los gases poco densos y fríos expuestos a un espectro continuo absorben determinadas longitudes de onda, produciendo líneas oscuras en el mismo. Estas líneas son también características de la composición química del gas y se producen precisamente con exactamente las mismas longitudes de onda de las líneas de emisión que ese mismo gas emite cuando es calentado.



Espectros de emision de los metales alcalinos y alcalinotérreos

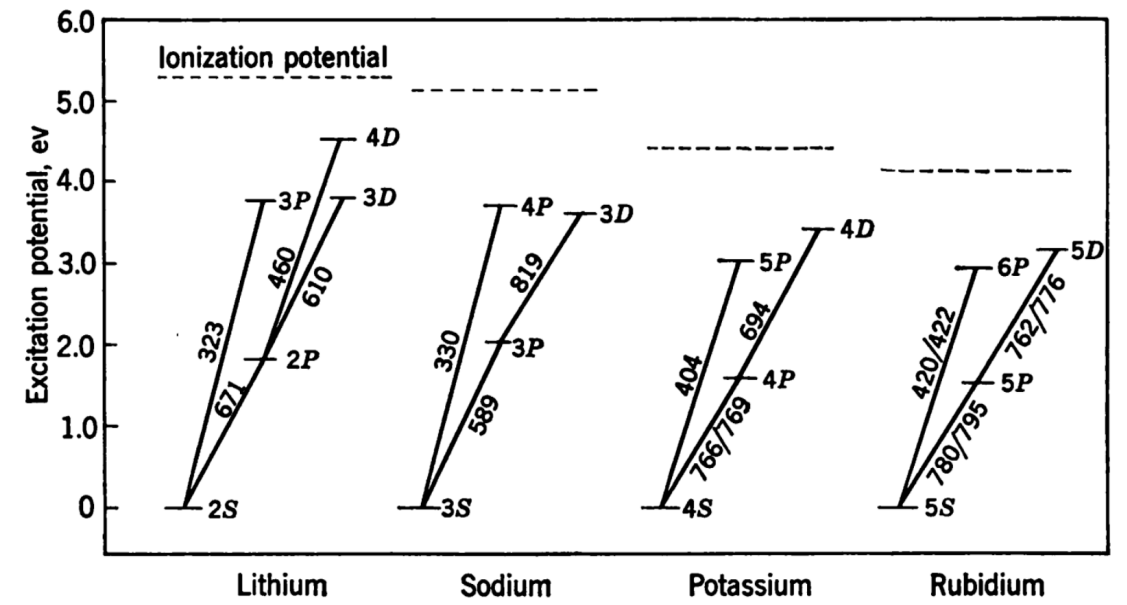
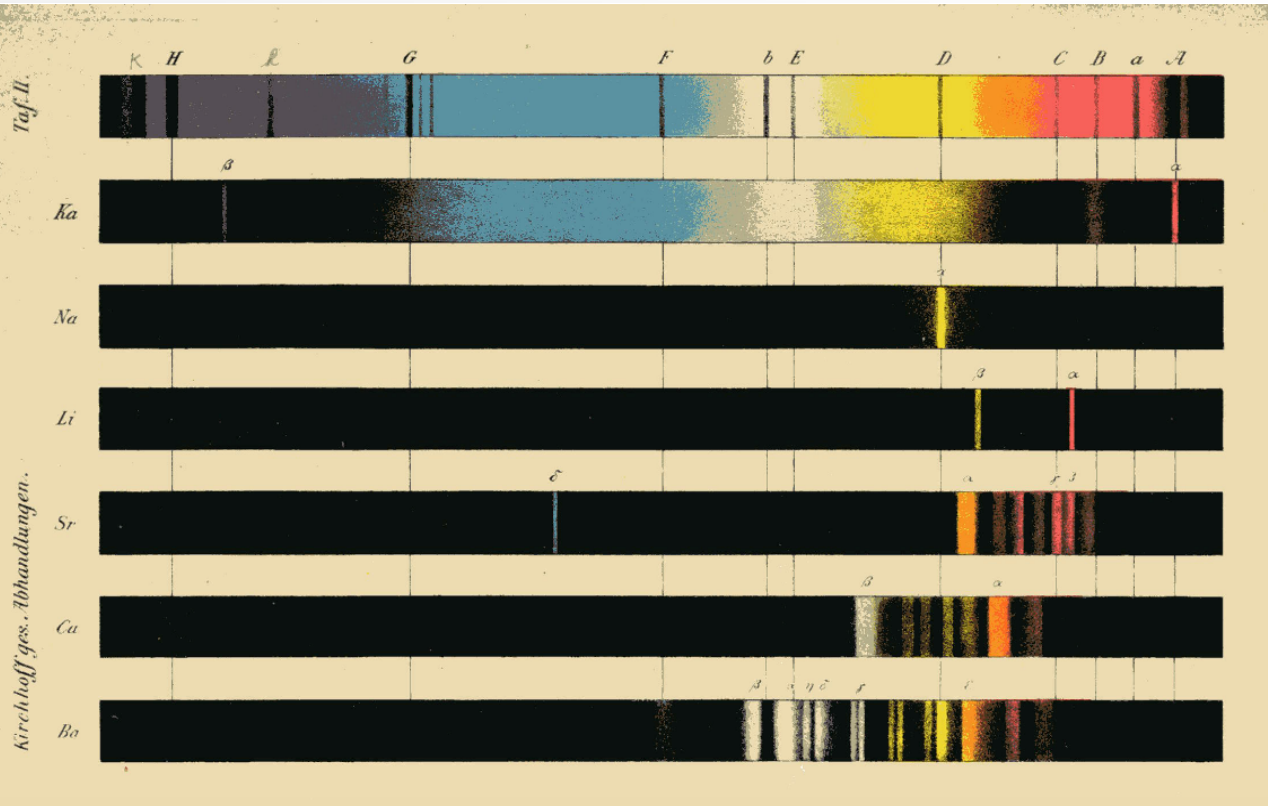
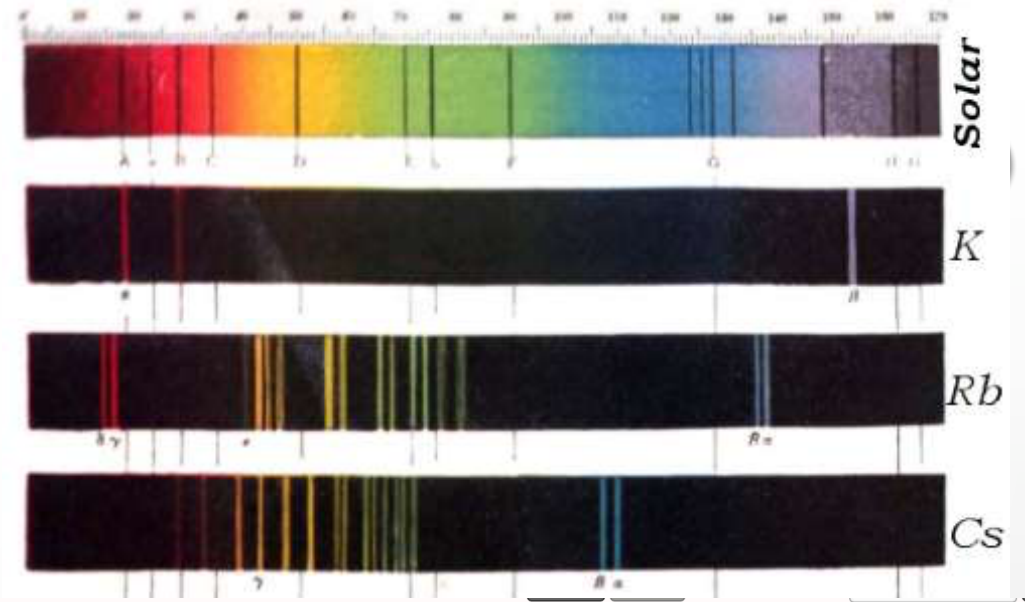
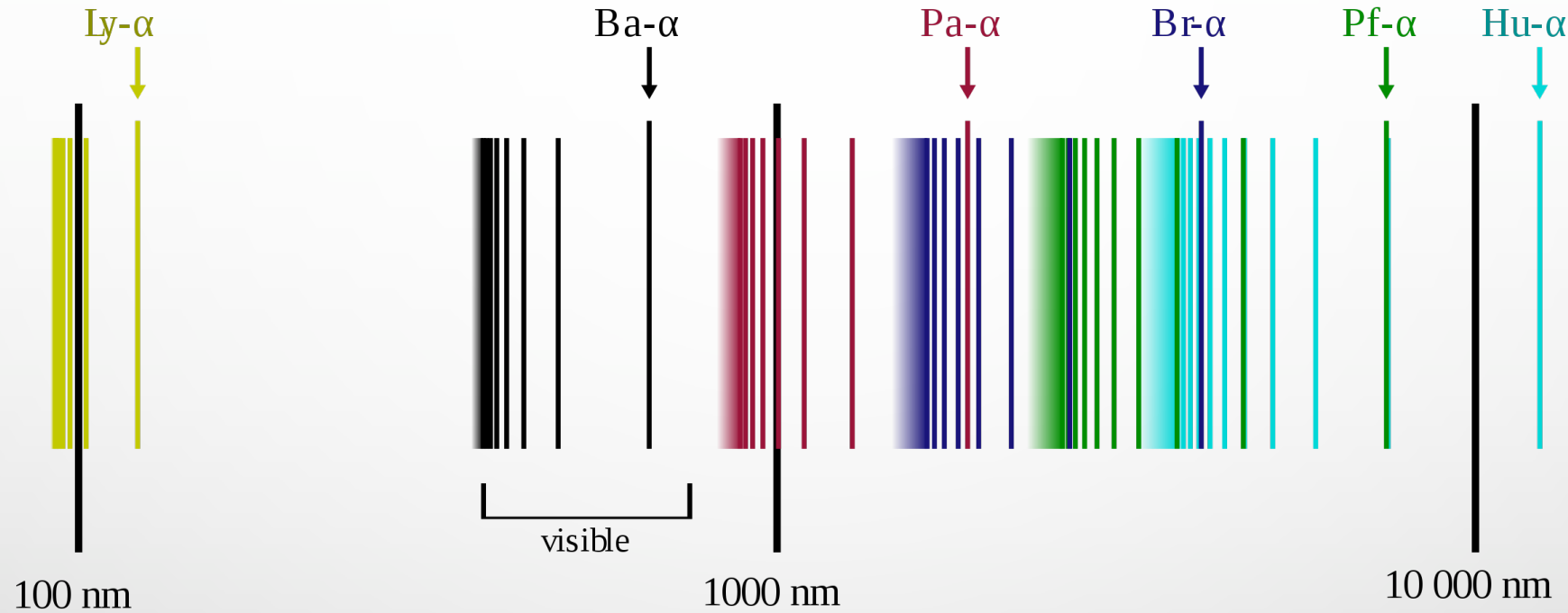


FIG. 4-1. Energy-level diagrams for the easily excited atomic lines of lithium, sodium, potassium, and rubidium. Wavelengths are given in millimicrons for the spectral lines produced by transitions between the different levels. The ionization potential is indicated by the dashed line above the respective diagrams.

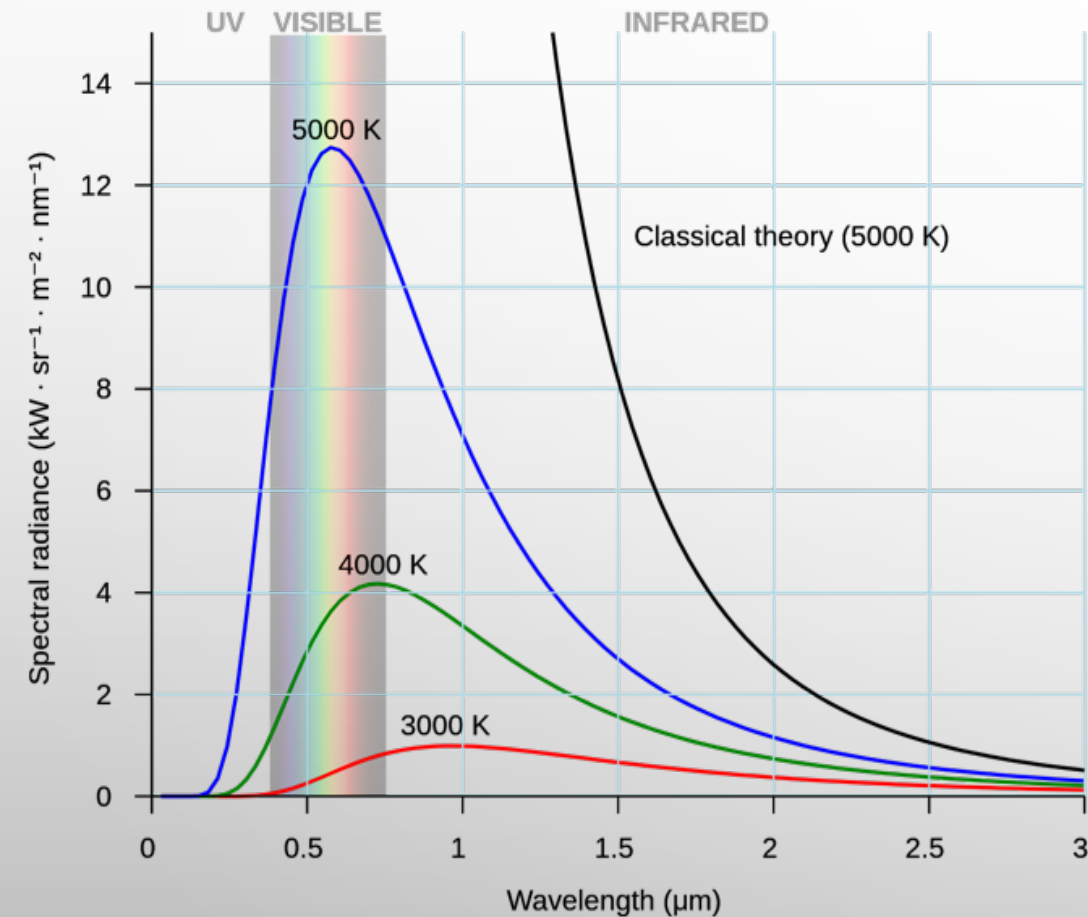
Series espectrales para el átomo de hidrógeno



$$\frac{1}{\lambda} = R_{\text{H}} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{for } n = 3, 4, 5, \dots$$

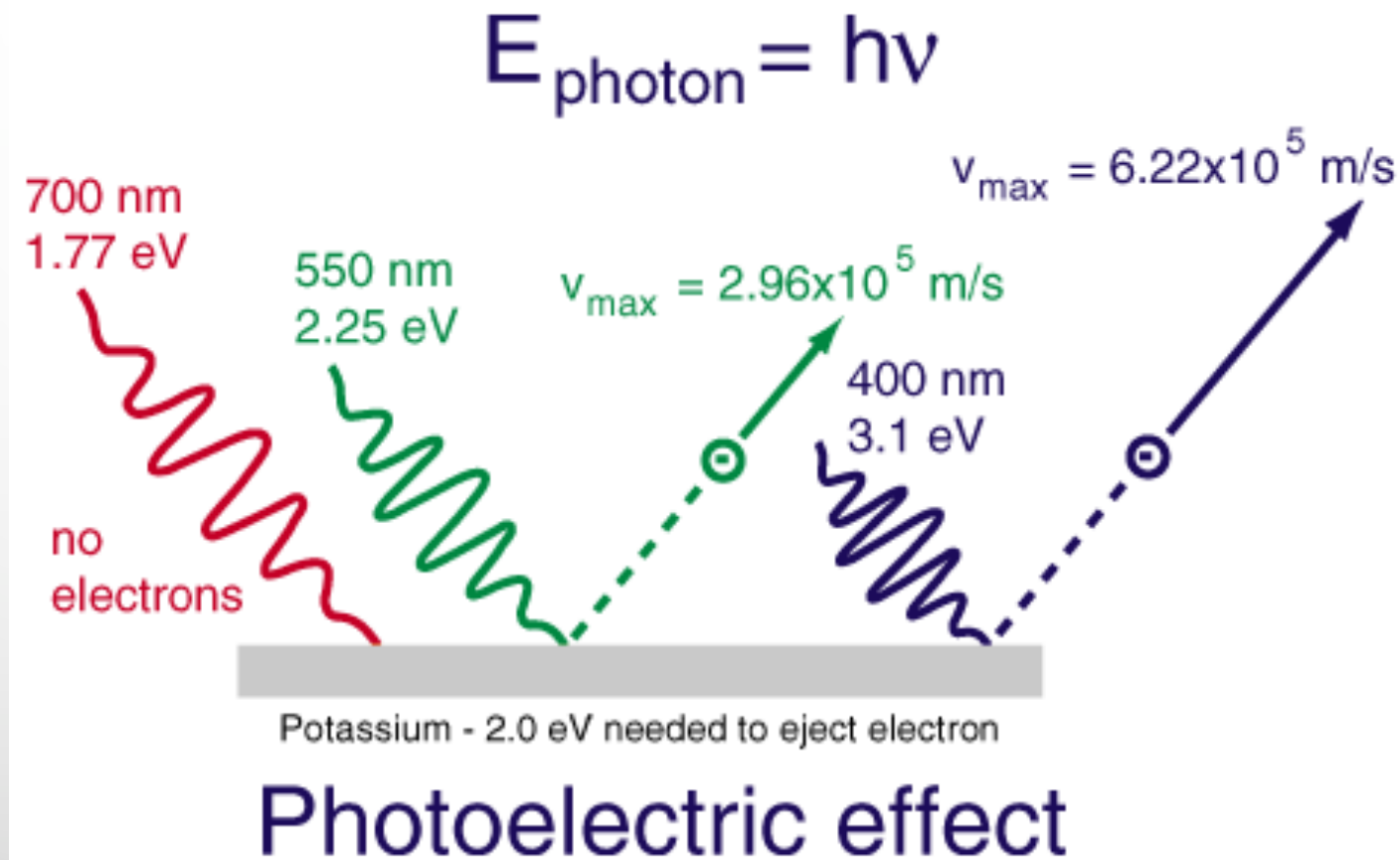
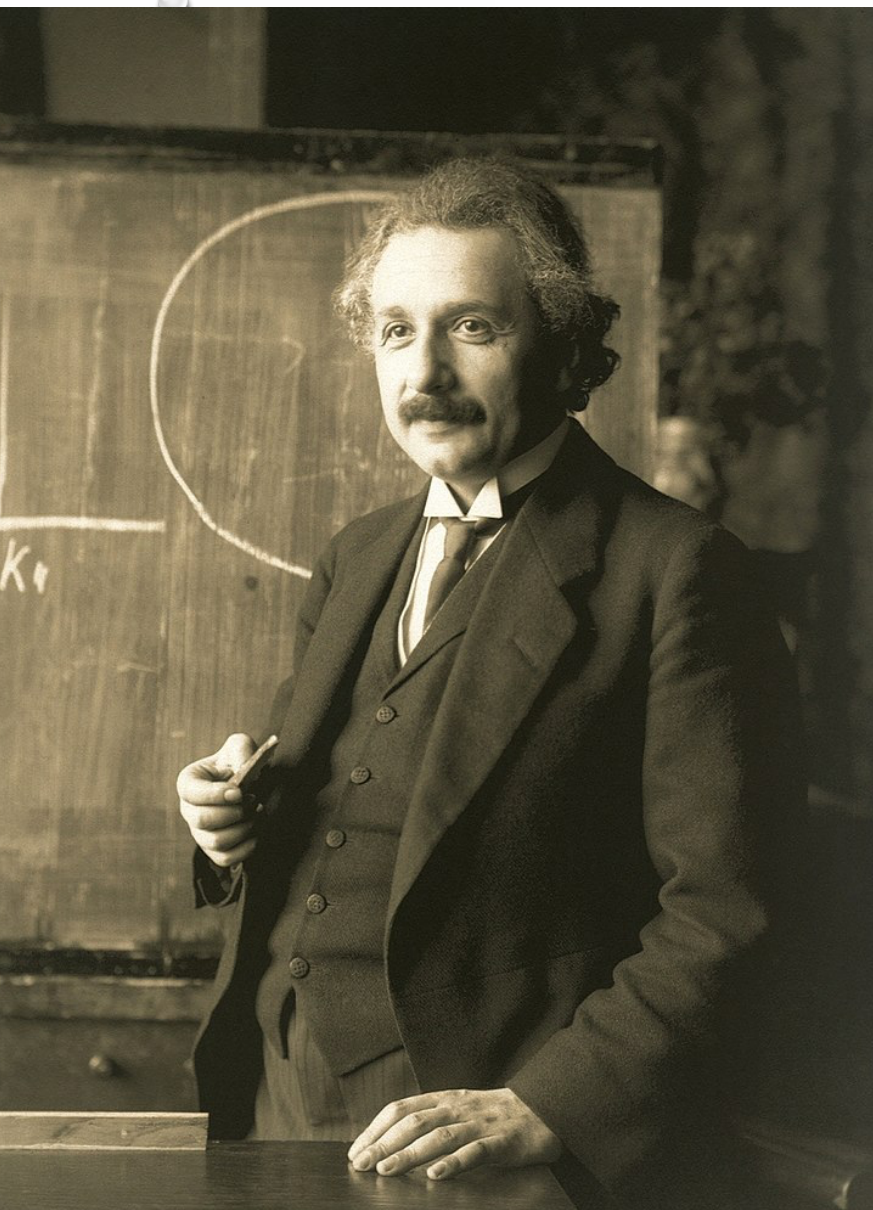
1900 Plank y el espectro del cuerpo negro

$$E = h \frac{c}{\lambda} = h\nu$$

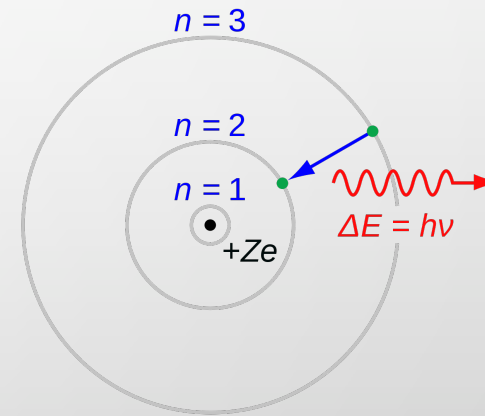
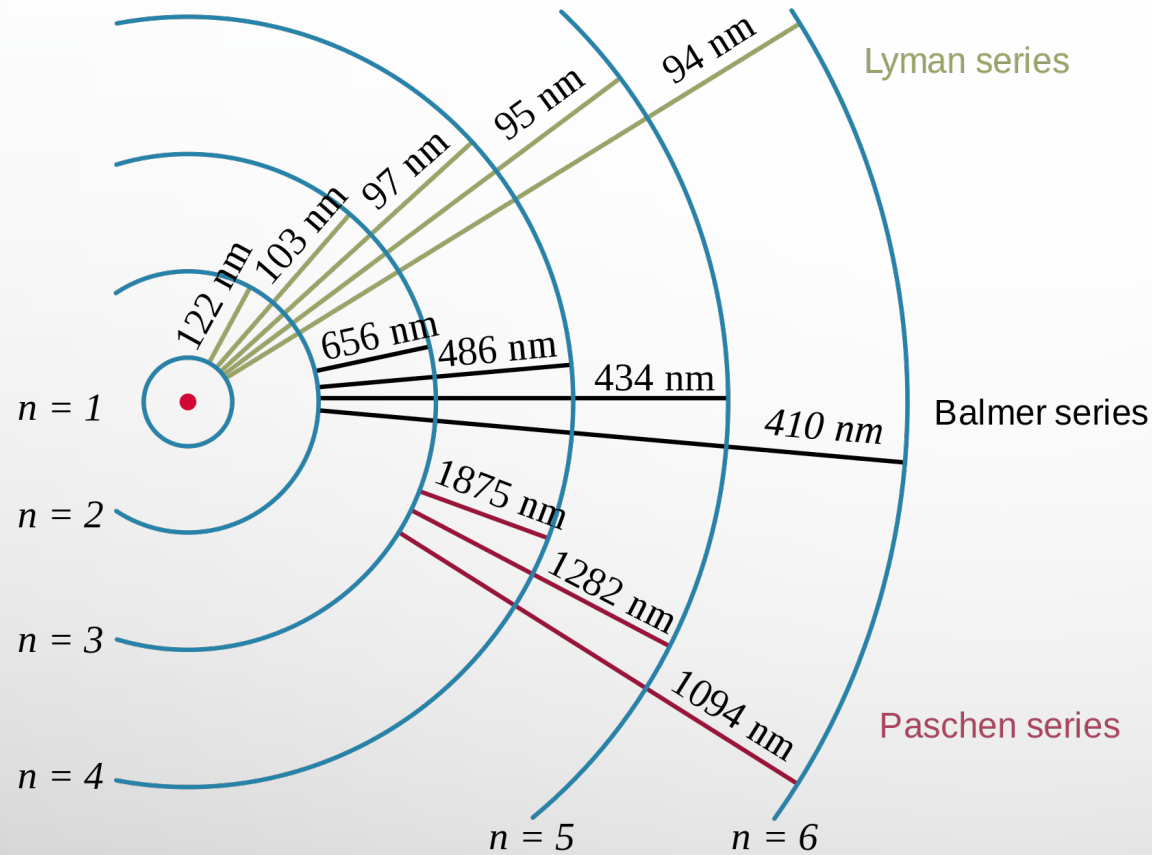


- Postula la cuantización de la energía de los osciladores para explicar el espectro
- No considera la cuantización de la luz
- Explica la forma del espectro
- Explica la ley de Stefan-Boltzman $F = \sigma T^4$
- Explica el desplazamiento de Wien $\lambda = \frac{2.9 \text{ mm}}{T}$

1905 Einstein y la cuantización de la luz



1913 Bohr y su modelo para el átomo de Hidrógeno



$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{for } n = 3, 4, 5, \dots$$

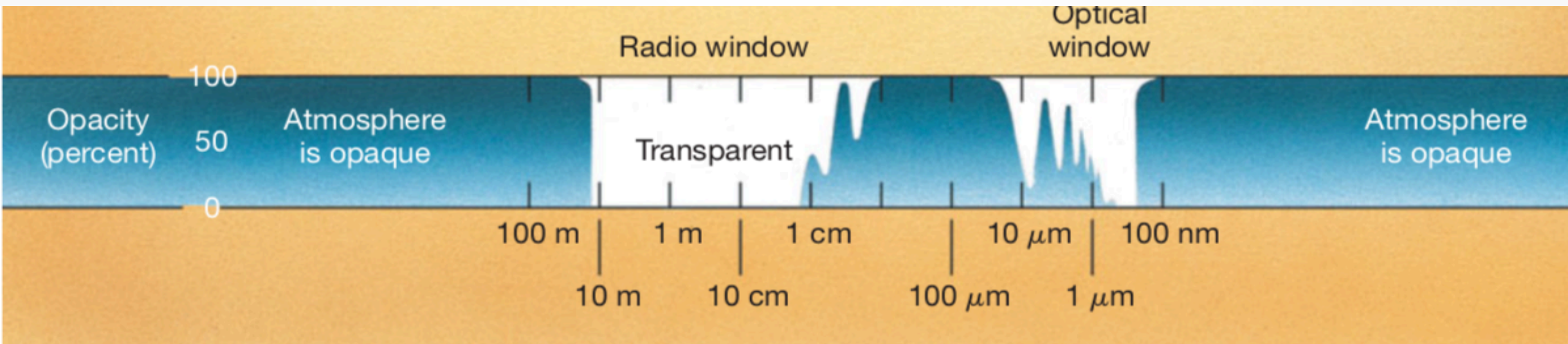
$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi}$$

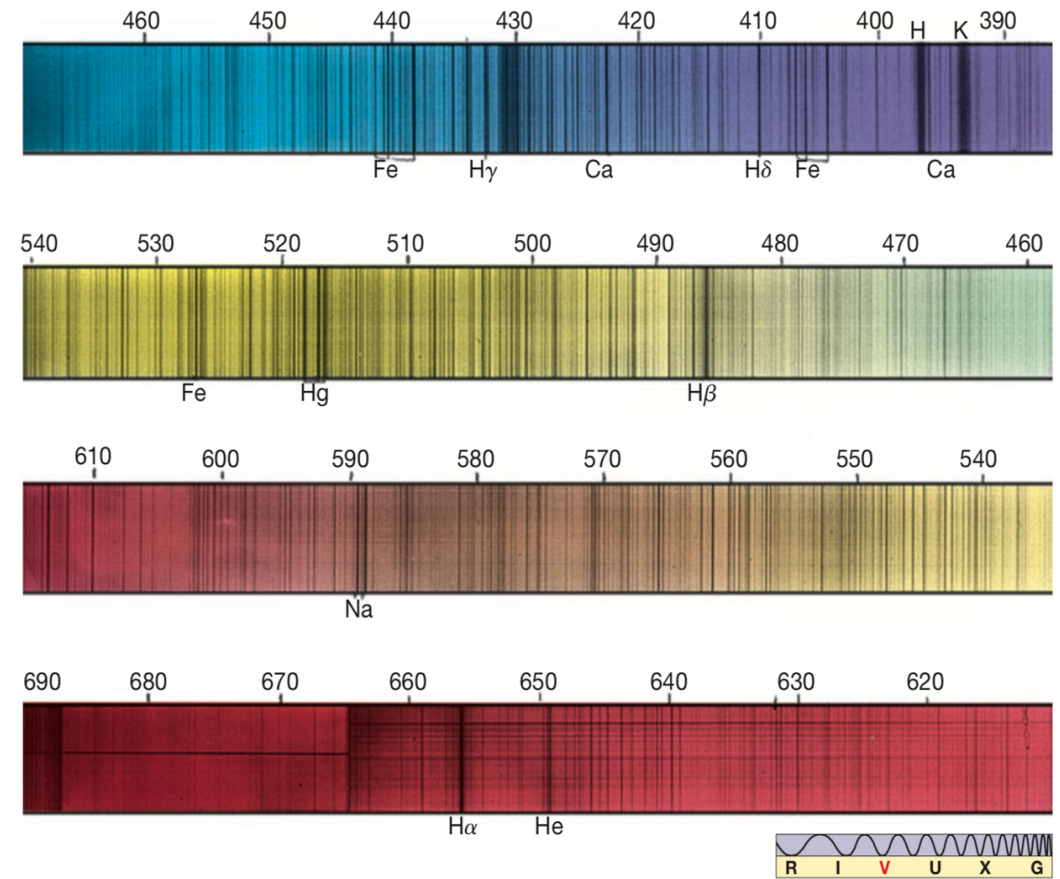
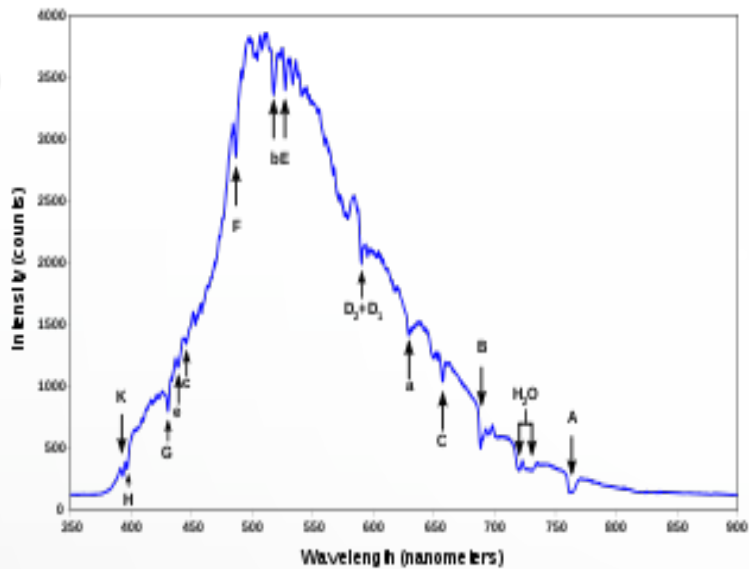
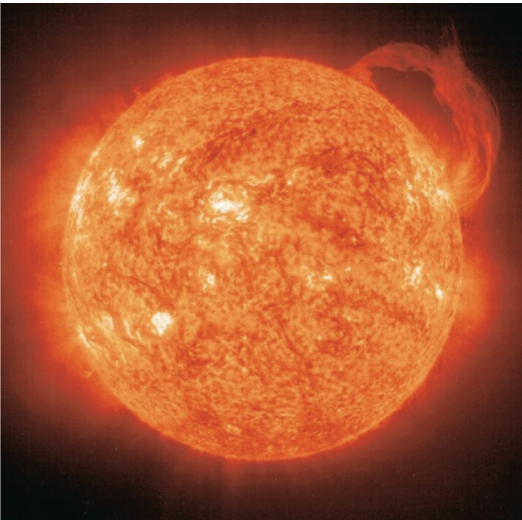
$$R_Z = \frac{2\pi^2 m_e Z^2 e^4}{h^3}$$

Astrofísica

The image features the word "Astrofísica" centered in a bold, black, sans-serif font. The background is a light gray gradient. In the top-left and bottom-right corners, there are several realistic-looking water droplets of various sizes, rendered with soft shadows and highlights to give them a three-dimensional appearance.

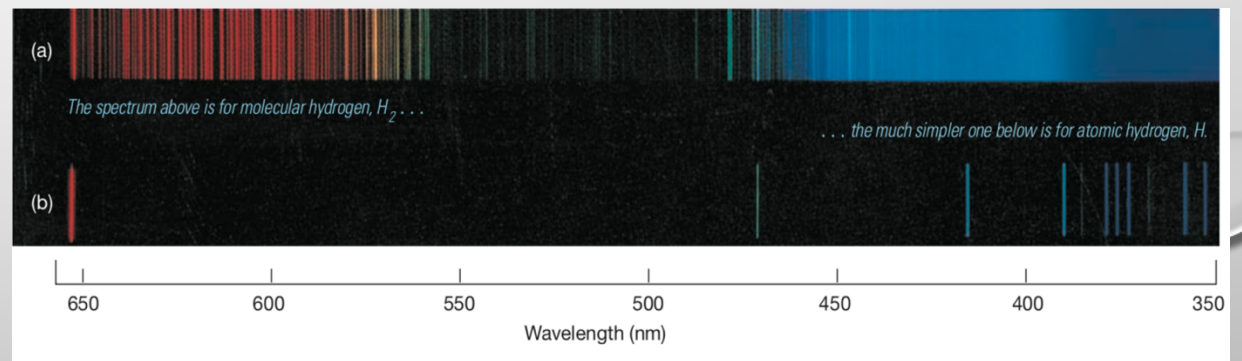
La "transparencia" de la atmósfera terrestre



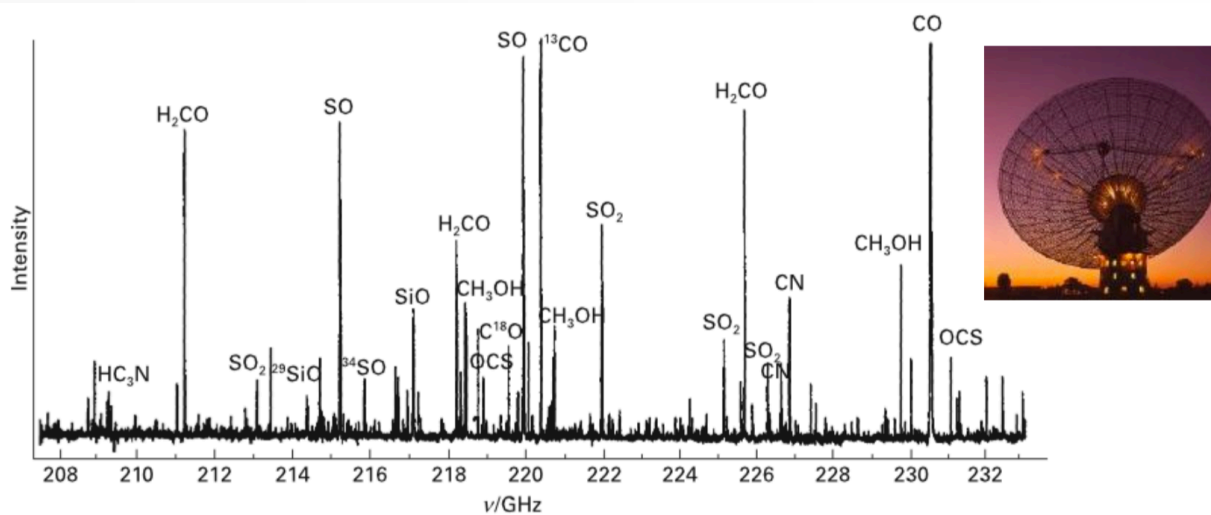


El Sol

Elemento	Porcentaje del numero total de átomos
Hidrógeno	91.2
Helio	8.7
Oxígeno	0.078
Carbono	0.043
Nitrógeno	0.008
Silicio	0.0045
Magnesio	0.0038
Neon	0.0035
Hierro	0.0030
Azufre	0.0015



Radioastronomía



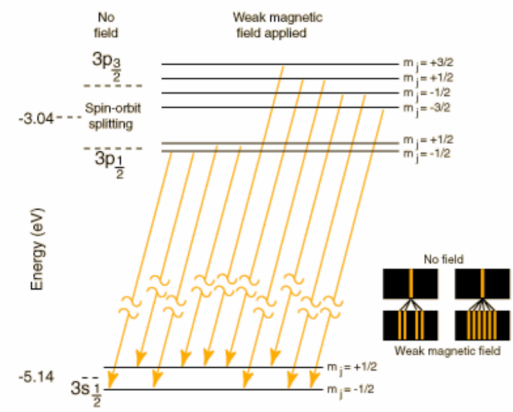
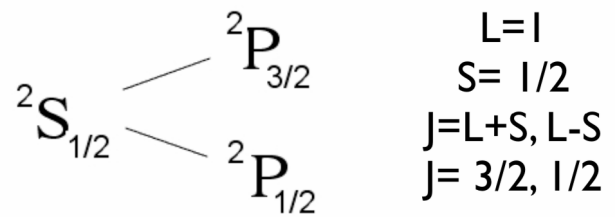
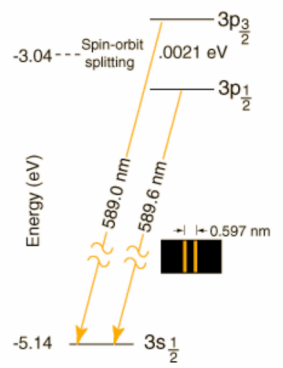
*Atkins Fig 13.8. Rotational spectrum of the Orion nebula, showing spectral fingerprints of diatomic and polyatomic molecules present in the interstellar cloud. Adapted from G.A. Blake et al., *Astrophys. J.* 315, 621 (1987).*

- Las ondas electromagnéticas en la banda de la radiofrecuencia también proporcionan gran cantidad de información
- Una de las informaciones que suministran es la composición molecular de las nebulosas
- Esto se debe a que la cuantización de la rotación de las moléculas, cuyas transiciones energéticas, de muy baja energía, corresponden a fotones en la banda de radiofrecuencia.
- Se han identificado una gran cantidad de moléculas en nebulosas y espacio interestelar.

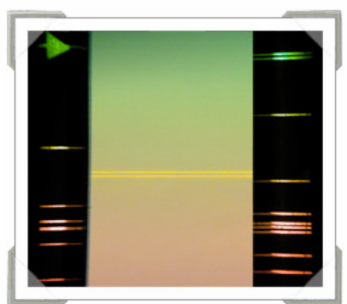
The background is a light gray gradient with several realistic water droplets of various sizes scattered across it. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance. They are located in the top-left, bottom-left, and bottom-right areas of the frame.

Muchas gracias

The sodium doublet is due to spin-orbit coupling of L and S



Zeeman effect splits m_j levels into 10 lines



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H Hydrogen 1.008	2 He Helium 4.0026																
3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.0122																
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305																
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.91	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.87	48 Cd Cadmium 112.41	49 In Indium 114.82	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.76	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Caesium 132.91	56 Ba Barium 137.33	57-71 Lanthanoids	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.95	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.21	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.97	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 208.98	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89-103 Actinoids	104 Rf Rutherfordium (267)	105 Db Dubnium (268)	106 Sg Seaborgium (269)	107 Bh Bohrium (270)	108 Hs Hassium (270)	109 Mt Meitnerium (278)	110 Ds Darmstadtium (281)	111 Rg Roentgenium (282)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (290)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)

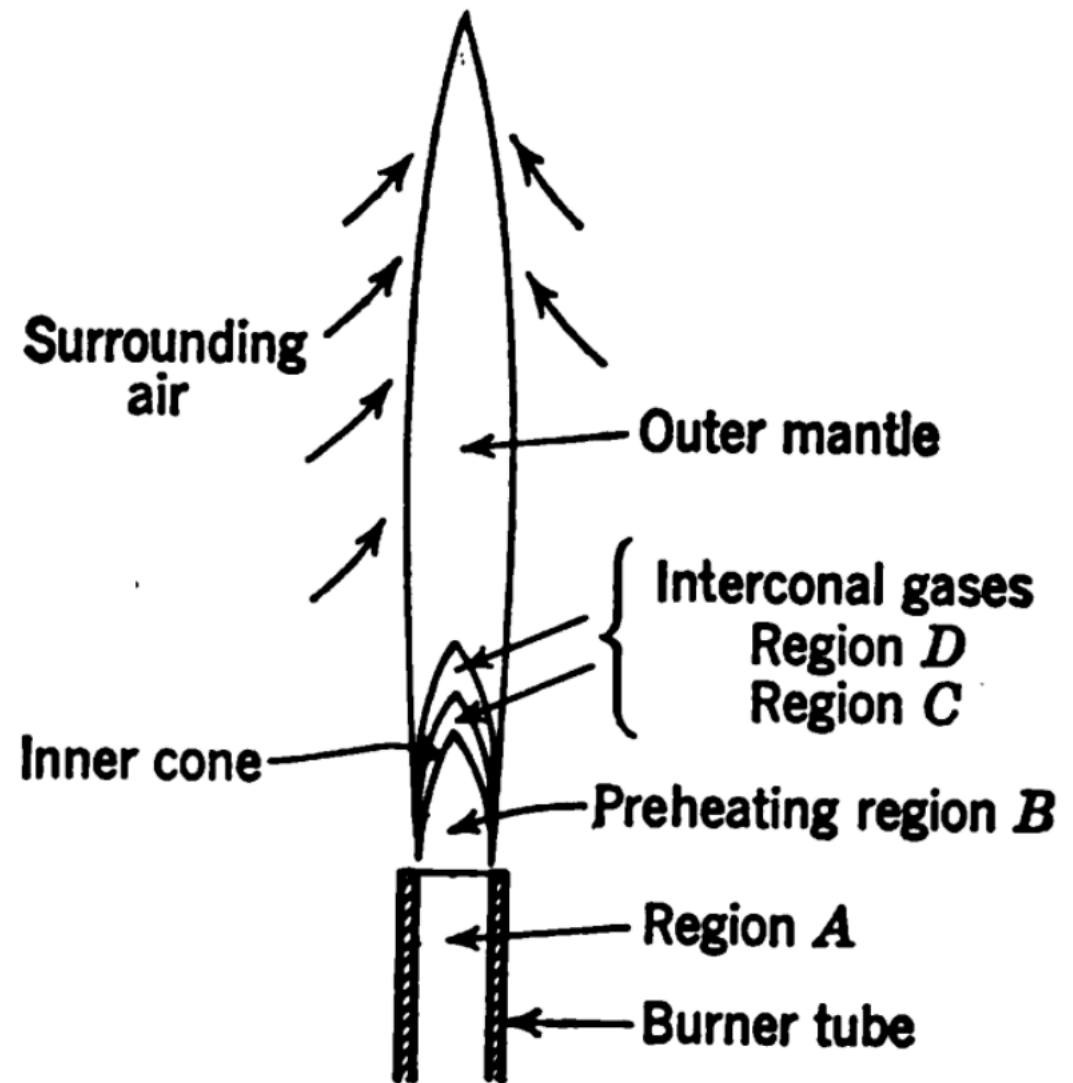
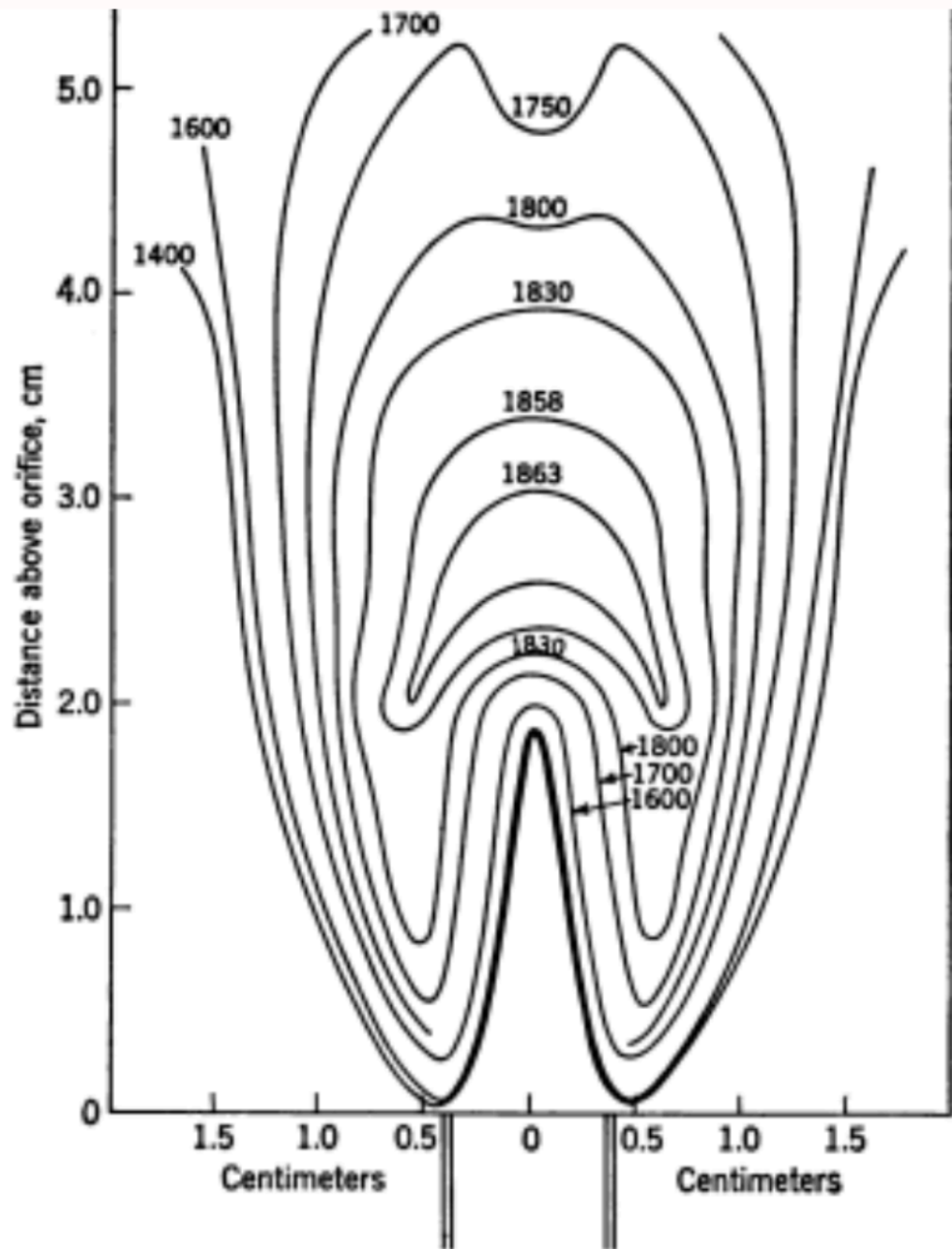


FIG. 3-1. Structure of a flame.

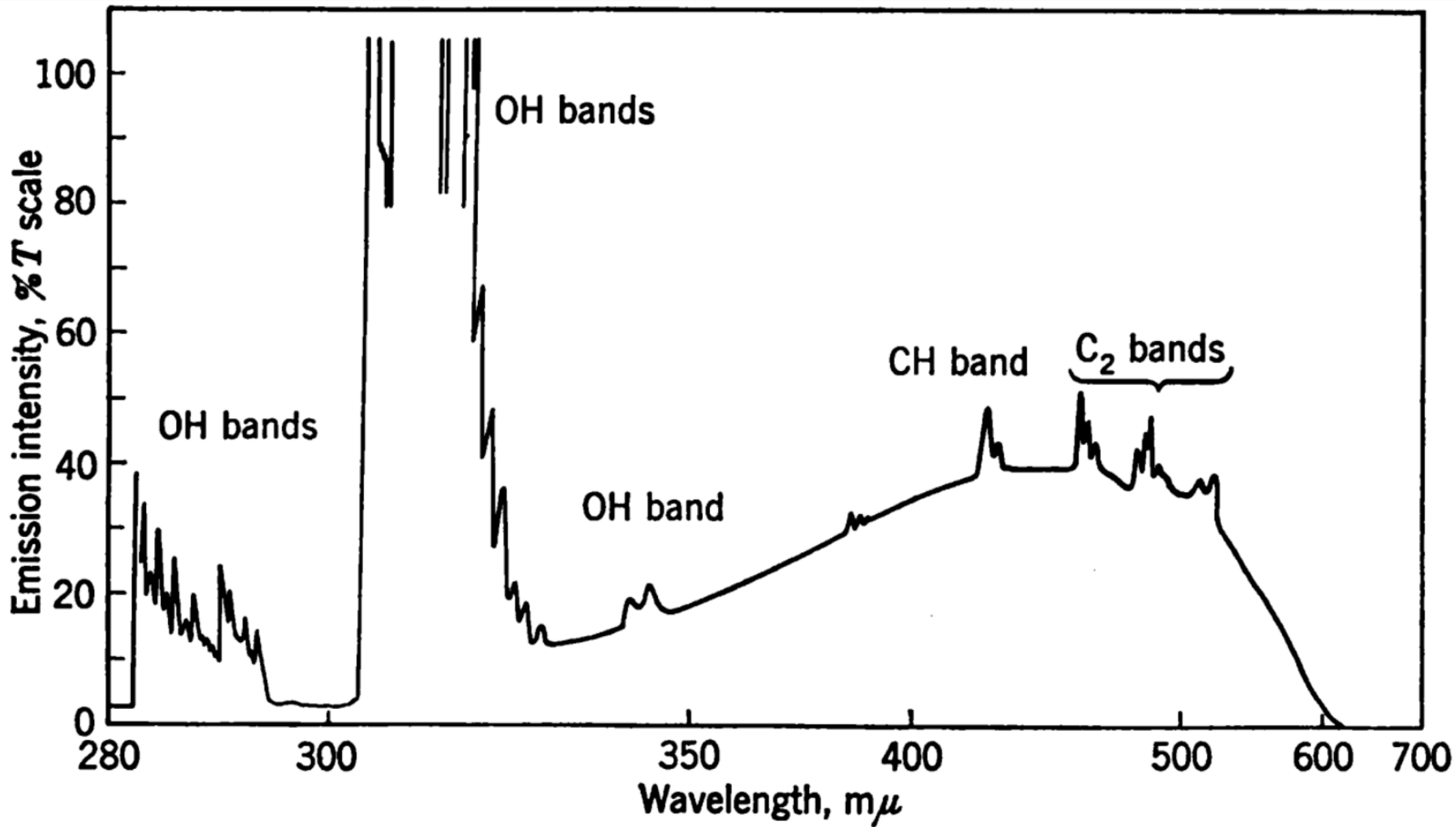
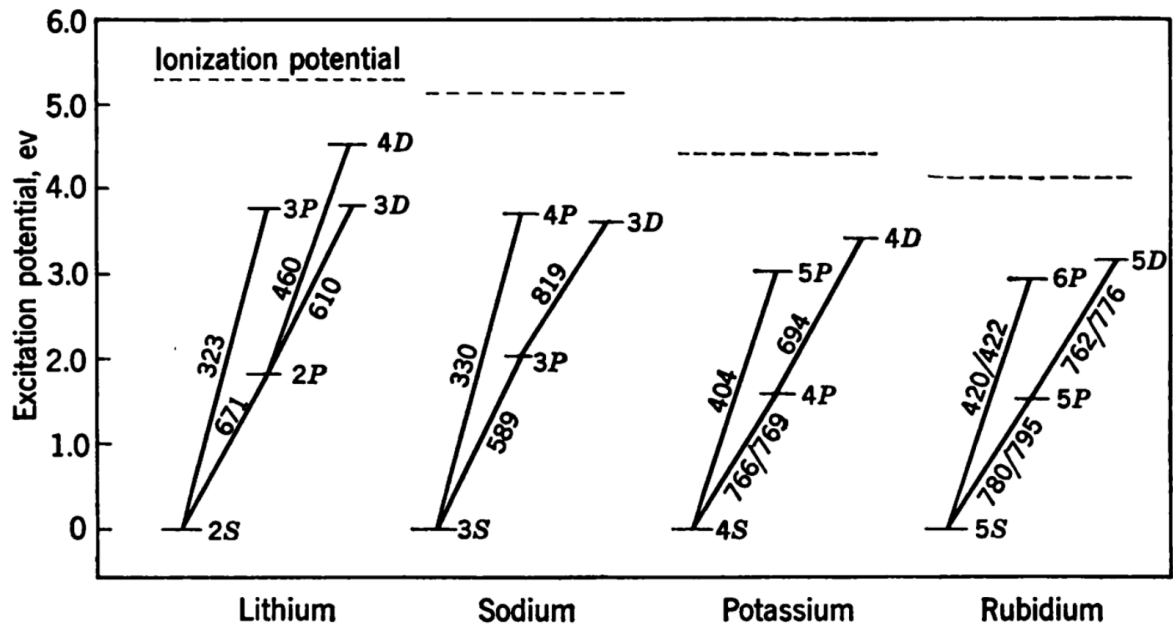


FIG. 3-8. Flame background spectrum of an acetylene-oxygen flame containing an organic aerosol.



El espectro de emisión de los metales alcalinos

Constante de Boltzmann

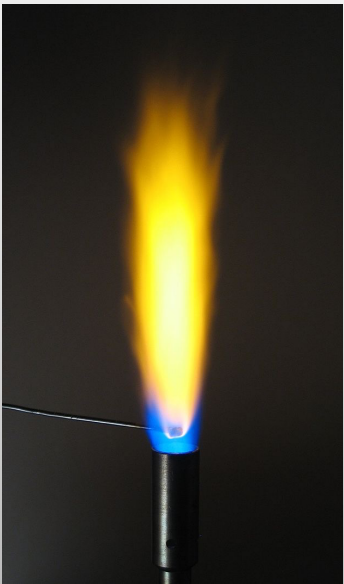
$$k = 8.617333262145 \times 10^{-5} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}$$

FIG. 4-1. Energy-level diagrams for the easily excited atomic lines of lithium, sodium, potassium, and rubidium. Wavelengths are given in millimicrons for the spectral lines produced by transitions between the different levels. The ionization potential is indicated by the dashed line above the respective diagrams.

TABLE 4-1. VALUES OF N_j/N_0 FOR VARIOUS RESONANCE LINES†

Resonance line	P_j/P_0	N_j/N_0		
		2000°K	3000°K	4000°K
Cs 852.1 m μ	2	4.44×10^{-4}	7.24×10^{-3}	2.98×10^{-2}
Na 589.0 m μ	2	9.86×10^{-6}	5.88×10^{-4}	4.44×10^{-3}
Ca 422.7 m μ	3	1.21×10^{-7}	3.69×10^{-5}	6.03×10^{-4}
Zn 213.9 m μ	3	7.29×10^{-15}	5.58×10^{-10}	1.48×10^{-7}

† By permission, from A. Walsh, *Spectrochim. Acta*, 7, 110 (1955).



9.3. Anexo C. PowerPoint “Construcción de un espectroscopio escolar”

Construcción de un espectroscopio escolar



Objetivos curriculum de la ESO relacionados

2 ESO, 3 ESO Bloque 1: La actividad científica

- Conocer los procedimientos científicos para determinar magnitudes
- Ilustrar los modelos atómicos, en particular el modelo atómico de Bohr y subsiguientes, demostrando uno de los experimentos fundamentales que han permitido validarlos (ESO)
- Identificar la importancia de instrumentos básicos [como los espectroscopios] en el trabajo científico y en el diseño de trabajos de investigación. (ESO)
- Desarrollo de trabajos de investigación aplicando el método científico(ESO)

4 ESO Bloque 2: La materia

- Comparar los diferentes modelos atómicos propuestos a lo largo de la historia para interpretar la naturaleza íntima de la materia, interpretando las evidencias que hicieron necesaria la evolución de los mismos.

Objetivos Bachillerato

- Descripción de aplicaciones de la espectroscopia en la identificación de elementos y compuestos (1 BACH)
- Interpretación de los fenómenos de interferencia y difracción utilizando el principio de Huygens (2 BACH)
- Numerosos objetivos 2 BACH en el bloque 4 “Ondas” y bloque 6 “Física del siglo XX”
 - Reconocimiento de efectos cotidianos como ejemplos de difracción (2 BACH)
 - Clasificación de casos concretos de ondas electromagnéticas presentes en la vida cotidiana en función de su longitud de onda y su energía
 - Análisis de los efectos de difracción e interferencia sencillos
 - Establecimiento de la naturaleza y características de una onda electromagnética dada y su situación en el espectro
 - Reconocimiento de aplicaciones tecnológicas de los diferentes tipos de radiación, principalmente infrarroja, ultravioleta y microondas.
 - Relación de la longitud de onda o frecuencia de la radiación absorbida o emitida por un átomo con la energía de los niveles atómicos involucrados.
 - Interpretación de espectros sencillos, relacionándolos con la composición de la materia.

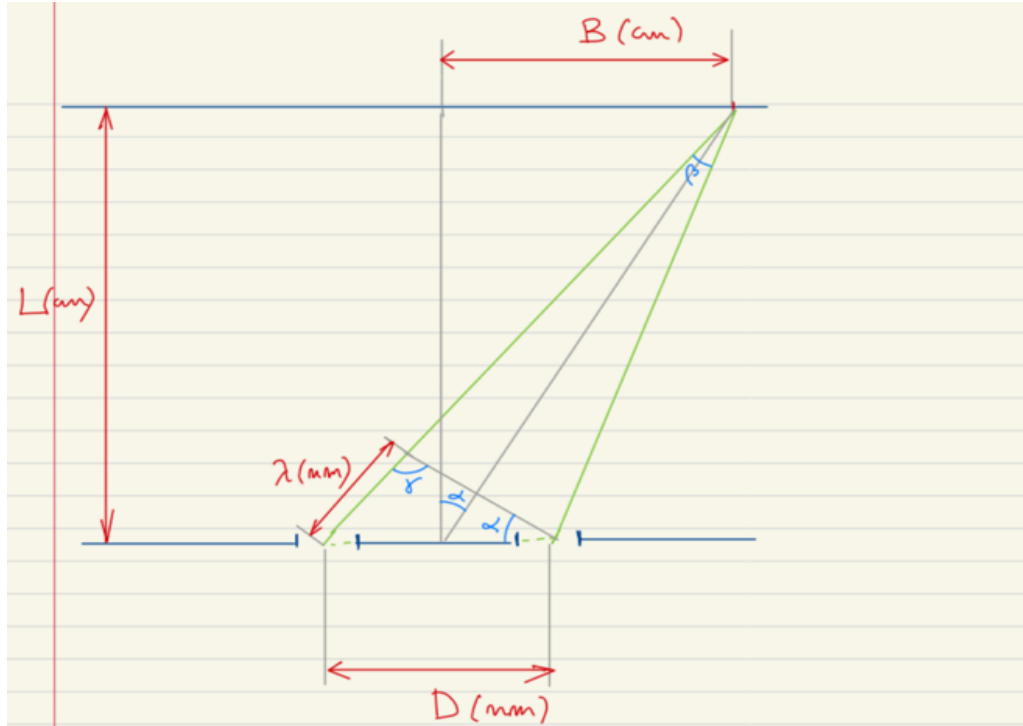
Comentarios sobre la luz y el currículo

- Sorprende un poco la casi nula importancia que el legislador da en la ESO a la radiación electromagnética.
- Sin embargo, súbitamente en segundo curso del bachillerato, se cae del guindo y satura el curriculum con ondas, óptica, difracción etc, fenómenos que hasta el momento parecían ser irrelevantes para un estudiante de ESO o primero de Bachillerato.
- No se puede argumentar que hace falta madurez para aproximarse a la naturaleza y comportamiento de la luz. Sus aspectos esenciales son tan fáciles o difíciles de asimilar como tantos otros que sí se tratan, y de ninguna manera menos importantes.
- Este proyecto de construcción de un espectroscopio pretende llenar en parte ese hueco del currículum, usando para ello el bloque 1 dedicado a la actividad científica en ESO2 y ESO3, y además el estudio de los modelos atómicos en ESO4.

Experimentos a realizar

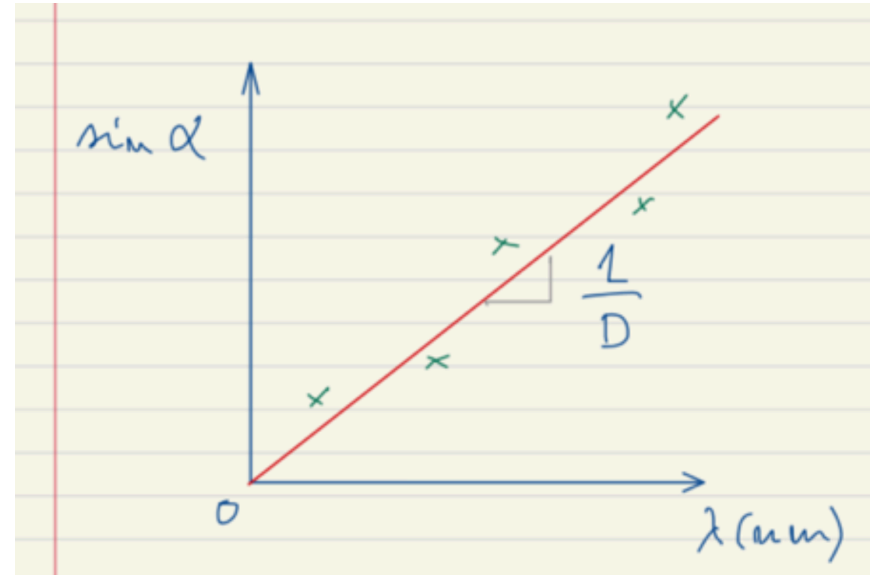
1. Introducción sobre refracción de la luz con prismas y redes de difracción. Fundamentos de la red de difracción
2. Práctica del cálculo de la distancia del espaciado de una red de difracción procedente de un DVD
3. Construcción del espectrómetro
4. Calibración y observación de varios espectros
 - Espectro bombilla fluorescente bajo consumo y calibración espectrómetro
 - Espectro de emisión del hidrogeno
 - Espectro de emisión de lámpara incandescente
 - Espectro de emisión del sodio

Fundamentos de una red de difracción



$$L \gg D \Rightarrow \begin{cases} \beta \rightarrow 0 \\ \gamma \approx 90^\circ \end{cases} \Rightarrow \lambda \approx D \sin \alpha$$

$$\Downarrow$$
$$\sin \alpha \approx \left(\frac{\lambda}{D} \right)$$



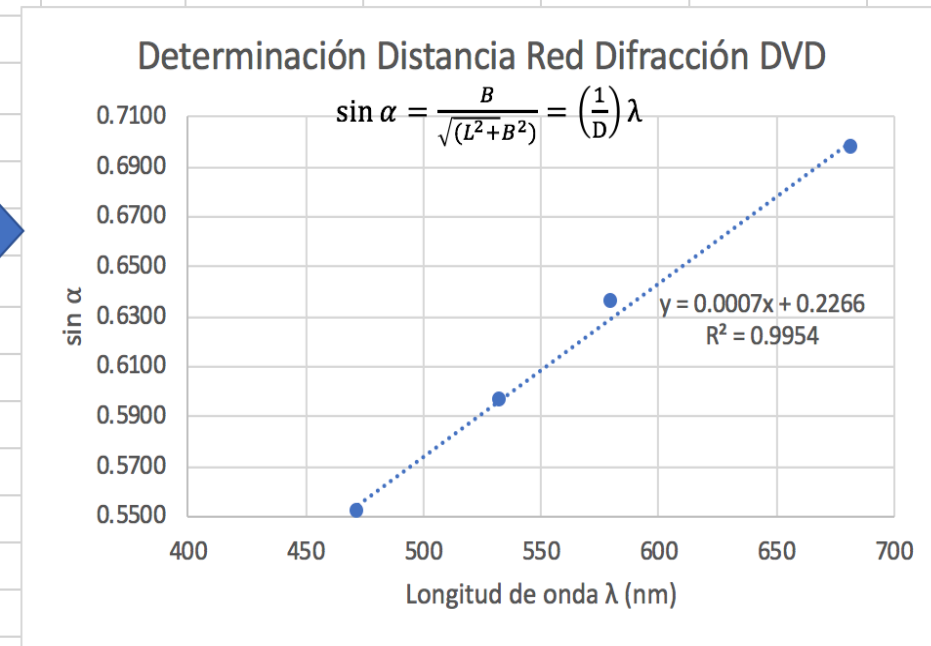
1. Práctica de medición de la D de la red de difracción

- Se coloca un móvil con la luz de flash encendida sobre la pizarra, con la luz hacia los alumnos.
- Un alumno se coloca frente a la luz del móvil a una distancia de 2 o 2.5 metros, con la red de difracción frente al ojo, a pocos milímetros del ojo, colocando las líneas de la red verticales.
- Este alumno observará a ambos lados de la luz del móvil, a distancias de entre 1.5 m y 3 metros, un espectro coloreado. Otro alumno le preguntará en qué punto de la pizarra ve cada color del espectro y marcará en la pizarra la posición de cada color.
- Con una cinta métrica se mide L , distancia de la red de difracción a la fuente de luz, y las distancias B para cada color, o distancias entre la marca realizada para cada color y la fuente de luz, medido con el metro sobre la superficie de la pizarra.
- Estos datos se analizarán como sigue.

1. Práctica de medición de la D de la red de difracción

L (± 5 cm) = 260 cm

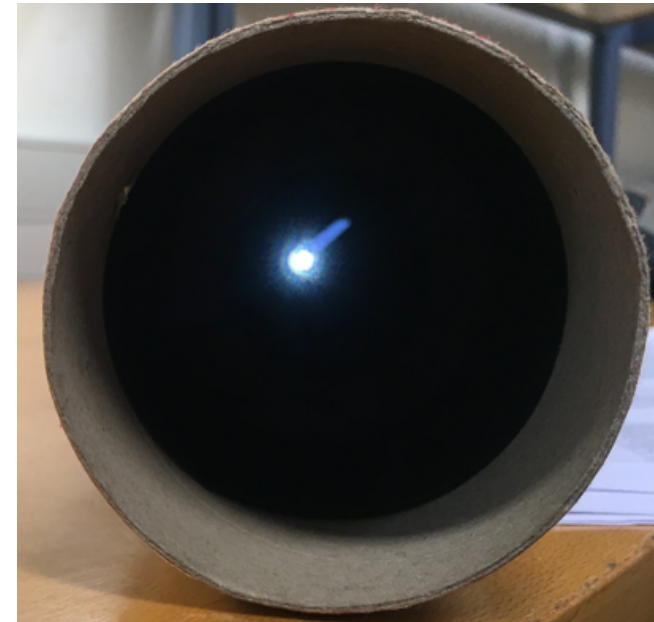
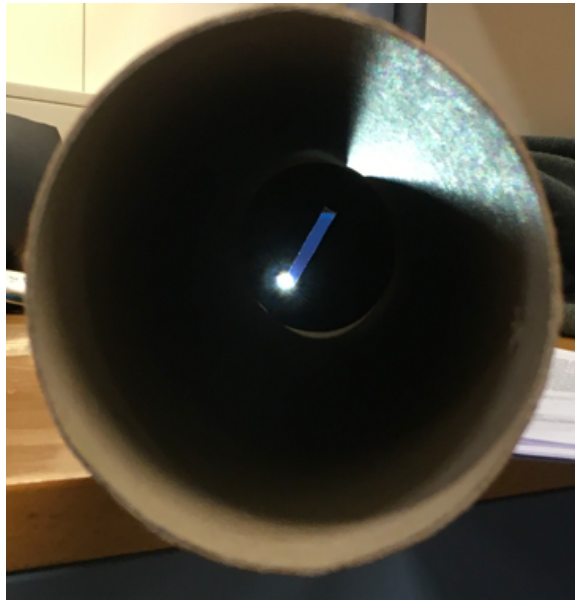
B (± 5 cm)	λ (nm ± 10)	$\sin \alpha = \frac{B}{\sqrt{L^2+B^2}}$	color
172	472	0.5517	azul
193	532	0.5960	verde
214	580	0.6355	amarillo
253	682	0.6974	rojo



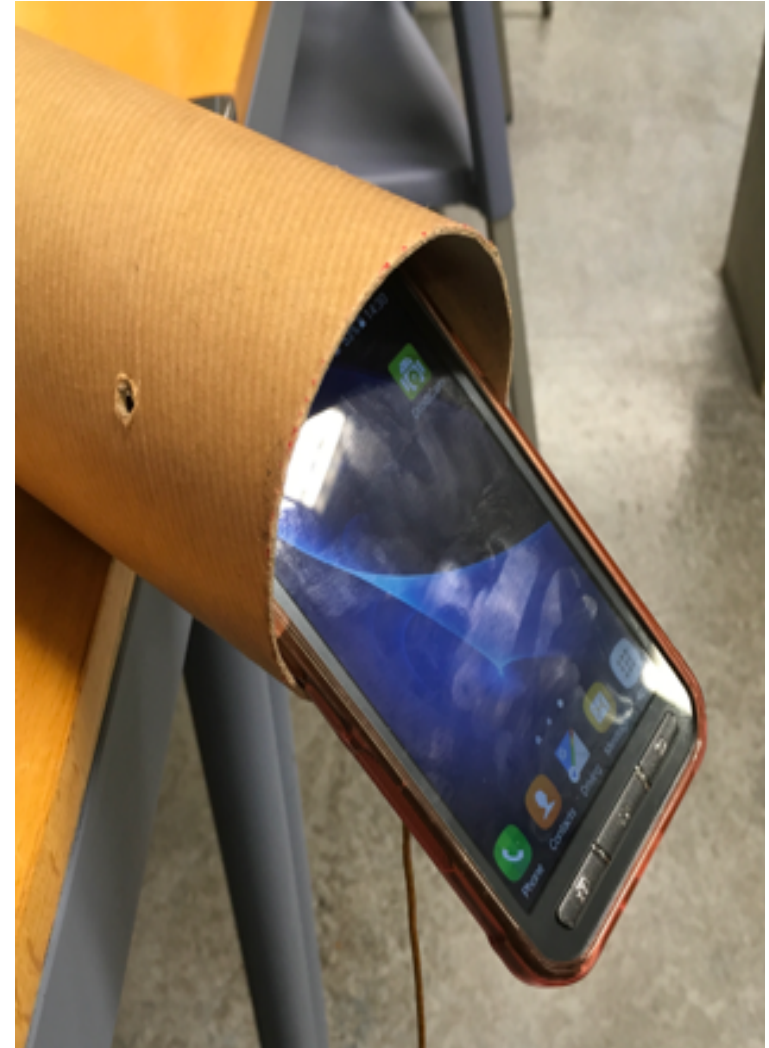
$$\frac{1}{D} = 0.000695 \text{ nm}^{-1}$$

$$D = 1440 \pm 10 \text{ nm}$$

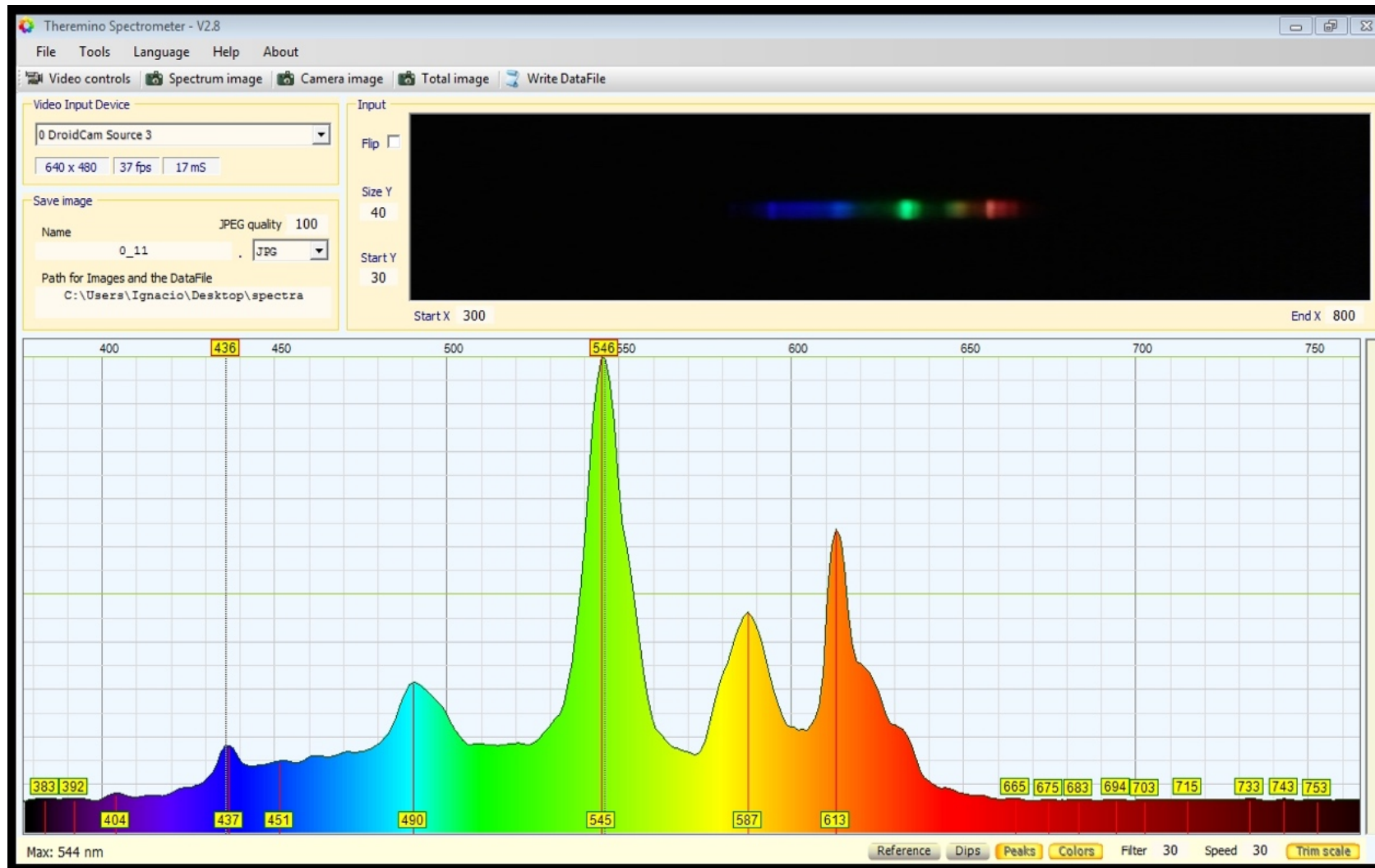
2. Construcción del tubo del espectroscopio



El dispositivo de detección



Conexión con el software de análisis de señal y calibración con lampara fluorescente



Repaso del funcionamiento de un tubo de descarga mediante simulación descarga tubo conteniendo hidrógeno

Neon Lights & Other Discharge Lamps (1.13)

File Options Help

One Atom Multiple Atoms

23.00 V

Electron Production

Single Continuous 20%

Legend

- Atom
- Electron
- Photon

Atom Type

Hydrogen

Energy (eV)

Options

- Spectrometer
- Squiggles
- Run in slow motion

Wavelength (nanometers)

Stop Reset

View Picture of Actual Discharge Lamps

3. Observación de espectros

- Espectro de tubo de descarga con hidrógeno
- Espectro de lámpara incandescente
- Espectro de llama de sodio

Conclusiones

Posibles aplicaciones y proyectos que pueden surgir de estos experimentos:

- Preparación de un catálogo de espectros de diferentes tipos de fuentes lumínicas.
- Proyecto de construcción de espectroscopio con una mejor de la sensibilidad y resolución que el propuesto.
- Diseño de un sistema de determinación de concentraciones de soluciones acuosas coloreadas.
- Análisis cualitativo de muestras problema (compuestos de alcalinos o alcalinotérreos en base a espectros de emisión ensayo a la llama).
- Estimación de la temperatura de objetos en base a su espectro de radiación de emisión de cuerpo negro.
- Experiencias demostrativas del fenómeno de la fluorescencia.
- Posibilidades de mejorar la construcción del espectroscopio utilizando diseño e impresión 3D.

9.4. Anexo D. Albores de la espectroscopía

ALBORES DE LA ESPECTROSCOPIA

EL NACIMIENTO DE LA ESPECTROSCOPIA Y DE LA ASTROFÍSICA

INDICE DE CONTENIDO

1. Abstract	2
2. Introduccion	2
3. Antecedentes históricos, de Newton a Kirchhoff	3
3.1. Isaac Newton, 1671.....	3
3.2. Thomas Melvill, 1752.....	3
3.3. William Hyde Wollaston, 1802	4
3.4. Joseph von Fraunhofer, 1814.....	4
3.5. Leon Foucault, 1849	4
3.6. Gustav Kirchhoff, Robert Bunsen, 1858.....	5
4. Desde Kirchhoff hasta plank Einstein y Bohr	8
4.1. Radiación del cuerpo negro	8
4.1.1. Ley de Stefan-Boltzmann	9
4.1.2. Ley de desplazamiento de Wien.....	9
4.2. De los espectros de emisión al átomo de Bohr	10
4.3. Efecto fotoeléctrico y el modelo atómico de Bohr	12
4.4. Cuantización de los grados de libertad vibracionales y rotacionales	14
5. Espectroscopia y astrofisica(Chaisson & MacMillan, 2014)	15
5.1. Las ventanas electromagnéticas de la atmósfera	16
5.2. Espectro Solar	17
6. Consideraciones didacticas	20
7. Bibliografia	21

1. ABSTRACT

En el presente documento se presenta un momento estelar de la ciencia en el que como resultado de la estrecha colaboración de dos disciplinas científicas, la física y la química, fructifican en muy poco tiempo dos nuevas ciencias, la espectroscopía y la astrofísica. Se presentan los antecedentes históricos de la espectroscopía desde Newton hasta las aportaciones de Bunsen Kirchhoff, y las aportaciones teóricas posteriores de Plank, Einstein y Bohr. Para ilustrar uno de los múltiples campos de la ciencia en los que la espectroscopía es fundamental utilizamos como ejemplo algunas cuestiones de astrofísica.

2. INTRODUCCION

En la actualidad la espectroscopía es omnipresente en todas las ramas de la ciencia, y su uso es cotidiano en cualquier laboratorio o centro sanitario. Hoy en día disponemos de una amplia batería de técnicas espectroscópicas basadas en el conocimiento detallado de la interacción entre radiación y materia que nos permiten extraer información detallada tanto del mundo microscópico como del macroscópico, tanto a escala terrestre como astronómica. Es difícil exagerar el impacto que estas técnicas han tenido, tienen y tendrán en el desarrollo de las ciencias y técnicas modernas, así como su no menos importante influencia directa en el advenimiento de uno de los más importantes cambios de paradigma en la historia de la ciencia: el que nos hizo pasar de la mecánica clásica a la mecánica cuántica.

Sin embargo, hace apenas 160 años ni la espectroscopia ni ninguna de sus bases teóricas existían aún. Aproximarse a la génesis histórica que llevó a sus establecimiento como ciencia nos ayudará a comprender el lento y tortuoso camino que subyace a cualquier gran avance científico, comprender como pequeñas aportaciones de muy diversa índole por parte de muchos científicos, a menudo inconexos y dedicados a disciplinas distantes, pueden llevar a grandes avances cuando la curiosidad, la creatividad, el rigor y la honestidad intelectuales se combinan con el respeto inquebrantable a los hechos observados experimentalmente.

Es indudable que los orígenes de la espectroscopía deben colocarse en las primeras nociones sobre la naturaleza y propiedades de la luz y su propagación, ideas que hunden sus raíces muy profundamente en la historia antigua. Sin embargo, en el presente documento nos vamos a centrar en unos fenómenos que trascienden a la indudablemente importante naturaleza de la luz, porque a través del descubrimiento de fenómenos asociados con la cuantización de la luz se ha llegado a una nueva visión cuántica de la realidad que altera radicalmente no solo los fundamentos de la ciencia sino incluso los de la filosofía.

Es por esto que el campo de aplicación de la espectroscopía que se presenta como ejemplo aquí sea la astrofísica, la ciencia que puede presumir sin falsa modestia de tener el objeto de estudio de mayor complejidad y dimensión entre todas las ciencias, y el que mayor impacto ha tenido en el desarrollo temprano de la ciencia.

Obviaremos las fases tempranas del estudio de la naturaleza y propiedades de la luz y partiremos de las aportaciones fundamentales de Newton, las cuales podemos calificar como preludio de la espectroscopía.

3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS, DE NEWTON A KIRCHHOFF

3.1. Isaac Newton, 1671

La luz es un fenómeno de una gran riqueza y complejidad, y muchos de los fenómenos asociados a ella han sido conocidos desde muy antiguo. En concreto, el fenómeno de la descomposición de la luz en varios colores al atravesar determinados medios transparentes era conocido desde tiempos del antiguo imperio romano. Cuando Newton empezó a interesarse por la óptica fue un fenómeno que atrajo su atención. Newton utilizó prismas para descomponer la luz blanca y demostró que una luz coloreada no podía volver a ser blanca. De entre las importantes aportaciones de Newton figura el de haber comprendido esto, en 1671, que cuando la luz blanca se descompone en varios colores no se está produciendo un cambio de propiedades de la luz, cambio de color como atributo de la luz, sino que por el contrario, cada color es luz con la propiedad elemental innata de un color dado, y que la luz blanca no es un color más sino un efecto combinado de un conjunto de luces de colores diferentes, que se combinan produciendo ese color “aparente” que llamamos blanco. Es fácil comprender como esta noción de naturaleza elemental de la luz de cada color es un elemento fundamental previo a cualquier idea relacionada con la espectroscopía.

3.2. Thomas Melvill, 1752

Escocés, murió con apenas 27 años, pero tuvo tiempo para dedicarse a la astronomía y convertirse en un auténtico precursor de la espectroscopía. Observó, en 1752, que calentando sales en una llama se producían brillantes colores, entre los que identificó el amarillo del sodio por ser impureza habitual de las sales con las que trabajaba. Tuvo la idea de hacer pasar esta luz coloreada por un prisma y observó un espectro continuo con líneas brillantes amarillas. Al hacerlo se convirtió en el primero en observar un espectro de emisión.



Ilustración 1 Ensayo a la llama para el sodio, correspondiente a su doble línea D en los 589 nm

3.3. William Hyde Wollaston, 1802

Químico y físico inglés, descubridor del Paladio y el Rodio, en 1802 realizó observaciones del espectro de la luz solar, observando líneas oscuras que consideró, erróneamente, eran los “bordes” de los diferentes colores.

3.4. Joseph von Fraunhofer, 1814

Las fechas empiezan a acelerarse, estamos en el fecundo siglo XIX. Este físico y fabricante de lentes bávaro, responsable de la fabricación de las mejores lentes acromáticas y prismas de su tiempo, fue también el primero en sacar buen partido de estas.

Sumergido en su interés técnico en mejorar la calidad de sus lentes, buscaba puntos de referencia precisos dentro

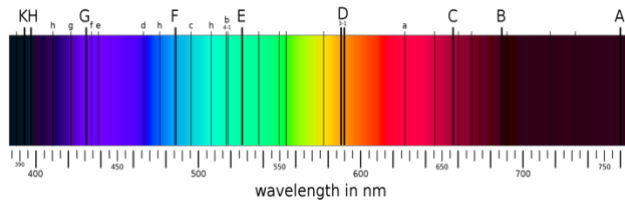


Ilustración 2: Líneas de Fraunhofer en el espectro solar

del espectro que le permitieran medir con precisión el índice de refracción del material. Observó las líneas que antes había observado Wollaston, pero dada la mejor calidad de sus ópticas, pudo observar nada menos que 600 líneas oscuras, identificando la posición exacta de 324 de ellas. Por otra parte, descubrió el interesante hecho de que se podían introducir líneas oscuras en el espectro al atravesar la luz diversas sustancias. Sin embargo, no avanzó en el estudio de las causas de este hecho crucial, y durante los siguientes 35 años nadie hizo aportaciones relevantes que explicaran este curioso fenómeno.

3.5. Leon Foucault, 1849

Este físico parisino, más conocido por su demostración de la rotación de la tierra en base al famoso péndulo que lleva su nombre, realizó también importantes aportaciones en espectroscopía. Fue el primero en caer en la cuenta que las intensas líneas D del espectro solar de Fraunhofer (ver Ilustración 2) se correspondían exactamente con las líneas brillantes producidas en el ensayo a la llama del sodio. Aunque Foucault no pasó de hacer esta interesantísima

observación, no habían de pasar ya más de 10 años para que Kirchhoff y Bunsen sentaran las bases de la espectroscopía.

3.6. Gustav Kirchhoff, Robert Bunsen, 1858

A la colaboración de un físico alemán Gustav Kirchhoff y el químico, también alemán Robert Bunsen, debemos el nacimiento de la espectroscopía y la astrofísica. Ambos trabajaban en Heildelberg. Bunsen acumulaba una larga experiencia como químico en síntesis y purificación de sales y metales, y trabajaba sobre la identificación de sales de metales alcalinos y alcalinotérreos mediante ensayos a la llama de un mechero, hoy llamado mechero bunsen, que era capaz de obtener una llama muy poco luminosa pero de alta temperatura. Kirchhoff propuso observar el espectro de las llamas coloreadas obtenidas por Bunsen. El dispositivo que utilizaron inicialmente es el que figura en la Ilustración 4.



Ilustración 3: Gustav Kirchhoff (izquierda) junto a Robert Bunsen

3.6.1. Nacimiento de la espectroscopía y sus aplicaciones en química. Descubrimiento del Cesio y el Rubidio

En muy poco tiempo, Bunsen y Kirchhoff pudieron caracterizar el espectro visible del Li, Na, K, Ca, Sr, Ba (Kirchhoff & Bunsen, 1860). El método permitía detectar la presencia de sales de estos metales en concentraciones muy bajas, y esto les permitió identificar rápidamente dos metales alcalinos desconocidos hasta entonces, presentes casi siempre como impurezas en las sales utilizadas y en muchas aguas minerales en bajas concentraciones. Se trata del Rb y del Cs, que fueron bautizados ambos con nombres relacionados con el color de sus líneas espectrales.

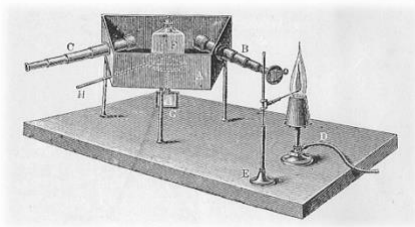


Ilustración 4: Espectroscopía Kirchhoff-Bunsen

3.6.2. Nacimiento de la espectroscopía y la astrofísica

Con ser importante el descubrimiento de dos nuevos elementos, es mucho mayor la trascendencia de una observación de Kirchhoff quien, siguiendo las observaciones de Foucault, comprobó no solo que la línea de emisión de la llama de sodio coincidía exactamente con la línea D del espectro solar de Fraunhofer, sino que esta *se hacía más*

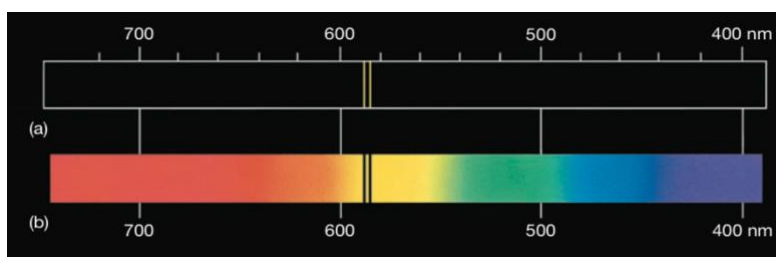


Ilustración 5: correspondencia entre los espectros de emisión y absorción del sodio

oscura cuando la luz solar atravesaba la llama de sodio. En apenas 24 horas, tras su sorpresa inicial declarada al

constatar este oscurecimiento, Kirchhoff emitió la hipótesis de que el sodio, que como ya se sabía es capaz de emitir la línea D, también es capaz de *absorber esa misma línea* cuando lo atraviesa un espectro continuo. Kirchhoff informó de estas ideas diciendo que *“una llama absorbe los mismos rayos que emite”*. En su carta a Otto Linné Erdmann de 06/08/1860 dice: *“No vemos el espectro de la atmósfera solar por sí mismo sino su imagen negativa. Esta circunstancia permite determinar con igual exactitud la naturaleza de los metales contenidos en esta atmósfera, para lo cual basta tener un conocimiento profundo del espectro solar y de los producidos por cada uno de los diferentes metales”*

En la misma carta describe el instrumento utilizado, ya muy superior al mostrado en la figura 4, y dotado de 4 prismas, con una disposición que permitía comparar en paralelo un espectro de absorción, por ejemplo el solar, con el espectro de emisión de un metal. Este último era obtenido ahora mediante descargas de alto voltaje en un tubo con electrodos de ese metal, de forma que la intensidad y nitidez de las líneas del espectro de emisión fueran suficientes para poder identificar la coincidencia entre el espectro de emisión y absorción para una serie de líneas espectrales, lo cual, concluye, constituye evidencia de la existencia de ese elemento en el espacio que ha atravesado la luz solar desde su origen, la *atmósfera solar*. Acababa de nacer la Astrofísica.

Con este instrumento estudió el espectro del sol y pudo identificar y asociar con el elemento Fe nada menos que 72 líneas del espectro solar, llegando a la conclusión inapelable de que la atmósfera solar contiene hierro. No hay duda de que su aparato era

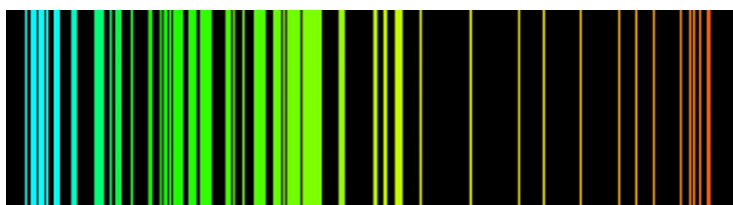


Ilustración 6: Espectro visible de emisión de átomos no ionizados de Fe

muy superior a otros, dado que había quien no observaba más de tres líneas en una chispa de Fe. Los espectros actuales

permiten observar hasta 3000 líneas en el espectro del Fe.

Por otra parte, es interesante el tono y contenido de la carta de Bunsen a Roscoe fechada el 13/11/1859, que dice: *“En este momento estoy ocupado con una investigación con Kirchhoff que no nos deja dormir. Kirchhoff ha realizado un descubrimiento totalmente inesperado, en tanto que ha encontrado la causa de las líneas oscuras en el espectro solar y puede producir estas líneas artificialmente intensificadas tanto en el espectro solar como en el espectro continuo de una llama, siendo su posición idéntica a la de las líneas de Fraunhofer. En consecuencia, se abre el camino a la determinación de la composición química del Sol y de las estrellas fijas con la misma certidumbre con que podemos detectar cloruro de estroncio, etc., con nuestros reactivos habituales. Mediante este método también se pueden detectar y separar elementos existentes en el Sol con el mismo grado de precisión que se hace con los que hay en la Tierra; por ejemplo: se puede demostrar la presencia de litio en 20 gramos de agua del mar. En la*

detección de muchos elementos es preferible este método a todos los procesos conocidos previamente. Un mezcla contiene Li, Ka, Na, Ba, Sr y Ca; todo lo que se necesita es llevar un miligramo de esta mezcla a nuestro aparato para, inmediatamente, con la ayuda de un microscopio, descubrir la presencia de todos estos cuerpos mediante una sola observación. Algunas de estas reacciones tienen un grado de delicadeza maravilloso; así, por ejemplo, se puede detectar 5/1000 partes de un miligramo de litio con la mayor facilidad. Yo mismo he observado la presencia de este cuerpo en casi todos los especímenes de potasio”(Dean, 1960)

3.6.3. Las tres leyes espectroscópicas de Kirchhoff

Esta colaboración de Kirchhoff con Bunsen y la puesta a punto de más refinados espectroscopios, capaces de comparar dos fuentes permitieron a Kirchhoff formular sus tres leyes de la espectroscopía:

- Los cuerpos luminoso sólido, líquidos o gaseosos suficientemente densos emiten luz de todas las longitudes de onda, produciendo un espectro continuo.
- Los gases poco densos muy calientes emiten luz cuyo espectro consiste en series de líneas de emisión que son características de la composición química del gas.
- Los gases poco densos y fríos expuestos a un espectro continuo absorben determinadas longitudes de onda, produciendo líneas oscuras en el mismo. Estas líneas son también características de la composición química del gas y se producen de manera precisa con exactamente las mismas longitudes de onda de las líneas de emisión que ese mismo gas emite cuando es calentado.

3.6.4. Nacimiento del concepto de Cuerpo Negro

No termina aquí las aportaciones trascendentales realizadas por Kirchhoff. A los descubrimientos experimentales que hemos mencionado hay que añadir una fundamental aportación teórica: el concepto de cuerpo negro (Kirchhoff, 1860). De hecho, tal y como señala en su historia de la física cuántica José Manuel Sánchez Ron (Sánchez Ron, 2005), suelen casi siempre omitirse estas aportaciones de Kirchhoff, e iniciar convencionalmente la historia de la mecánica cuántica con Plank y su quantum de acción, relacionándolo con un descontextualizado “cuerpo negro”. Esta pedagogía, ignara de la historia de la ciencia, saca de contexto el nacimiento de ideas tan fundamentales como las aportadas por Plank, que consecuentemente son a menudo inadecuadamente entendidas.

Suele producirse en la enseñanza de la física una cierta separación entre los conceptos de espectros discretos y continuos, cuando en realidad están íntimamente unidos, como demuestran las leyes de Kirchhoff. Los espectros discretos de absorción y emisión presentan líneas bien definidas, asociados a las transiciones electrónicas u otras cuantizadas, y son espectros que se producen normalmente en materias gaseosas poco densas. Por otra parte tenemos los espectros continuos, relacionados con el “cuerpo”

ideal llamado cuerpo negro, que se dan sobre todo en sólidos, líquidos, gases y plasmas densos. El hecho de que ambos espectros habitualmente aparezcan en la práctica superpuestos, por ejemplo en el espectro solar, hace que esta segregación conceptual no permita una buena comprensión de los fenómenos físicos subyacentes.

Fue Kirchhoff y no Plank quien primero abordó estos problemas, y nos dejó sus un tanto relegadas “leyes de la espectroscopia” de Kirchhoff (no confundir con sus más conocidas leyes de circuitos eléctricos, su tesis doctoral). Estas ideas deben además ser entendidas en el contexto de las no desdeñables aportaciones termodinámicas de Kirchhoff, que razona su cálculos de radiación del cuerpo negro en base a un equilibrio termodinámico dentro del cuerpo negro, y también entre el cuerpo y la radiación emitida y absorbida por el mismo. La denominando a la radiación térmica, él la llamaba “rayos de calor”, pues no olvidemos que en esos años no estaba completamente establecida la naturaleza electromagnética de la luz. Concluye que la relación entre la radiación absorbida y emitida para un tipo elemental de rayo de calor (una longitud de onda) es constante para todos los cuerpos, y depende, además del tipo de rayo que sea, solo de la temperatura, y, sorprendentemente, nunca de la composición química del cuerpo. Esto se cumple tanto en los espectros discretos como continuos. Como corolario, el espectro continuo debe ser de mayor temperatura que el gas absorbente, para que al atravesar un gas ligero de determinada composición, de un espectro de absorción característico de su composición.

Queda claro pues que quizá tan importante como el nacimiento de la astrofísica y de la espectroscopia aplicada a la química es la aportación de Kirchhoff del concepto de cuerpo negro el que prepara el camino para que su discípulo Max Plank elaborara su postulado del quantum de acción.

4. DESDE KIRCHHOFF HASTA PLANK EINSTEIN Y BOHR

Los últimos años del siglo XIX y los primeros del XX presenciaron numerosos descubrimientos y avances teóricos cuya descripción incluso somera llenaría muchas páginas. No podemos sin embargo entrar en aplicaciones astrofísicas sin mencionar descubrimientos y avances teóricos de gran trascendencia.

4.1. Radiación del cuerpo negro

Es fundamental al hablar de espectros hablar del cuerpo negro. Aunque se tiende a pensar en espectroscopía como asociada a los espectros discretos, los espectros continuos también son muy importantes, y muy en particular el espectro continuo térmico de los cuerpos densos, asimilable teóricamente a la radiación del cuerpo negro, cuerpo que no deja de ser un ideal inalcanzable. Ya hemos visto que fue Kirchhoff el que concibió el cuerpo negro e hizo las primeras consideraciones teóricas sobre el tipo de radiación continua esperable.

4.1.1. Ley de Stefan-Boltzmann

En los años posteriores se estudió experimentalmente la dependencia exclusiva de la temperatura prevista por Kirchhoff, así como la forma y posición del espectro dentro del espectro.

Así pues, Josef Stefan, en 1879, basándose en mediciones experimentales anteriores, dedujo una relación entre la energía emitida por unidad de superficie y tiempo por un cuerpo negro y la temperatura absoluta del mismo:

$$F = \sigma T^4$$

Donde $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/m² . Aportaciones realizadas por su discípulo Ludwig Boltzman hacen que esta importante y práctica ley se conozca como la ley de Stefan-Boltzmann.

4.1.2. Ley de desplazamiento de Wien

Algo más tarde, en 1893, Wilhelm Wien, en base a consideraciones teóricas relativas al calor y al electromagnetismo, dedujo la conocida ley del desplazamiento de Wien, que afirma que la longitud de onda máxima del espectro de la radiación del cuerpo negro es inversamente proporcional a la temperatura absoluta,

$$\lambda = \frac{2.9 \text{ mm}}{T}$$

También realizó una aproximación al espectro de la radiación del cuerpo negro, aplicando la distribución de Maxwell-Boltzmann, aproximación que se ajusta bastante bien a los espectros experimentales en particular a bajas longitudes de onda.

Por su parte Lord Rayleigh propuso, en base a consideraciones teóricas clásicas, que el espectro de la energía radiada por el cuerpo negro era proporcional a λ^{-4} . Esta ley se ajusta bien para longitudes de onda largas, miles de nanómetros, pero muy mal para las radiaciones habituales infrarrojas, visibles y mucho menos ultravioletas. Este hecho fue denominado catástrofe ultravioleta. y de ser éste el comportamiento de la materia, cualquier objeto emitiría tanta energía térmica en forma de radiación de ultravioleta que no podría dejar de enfriarse hasta alcanzar el cero absoluto, cosa que obviamente no ocurre.

Es bien conocido como se resolvió esta cuestión en 1900, cuando Max Plank dedujo una

base

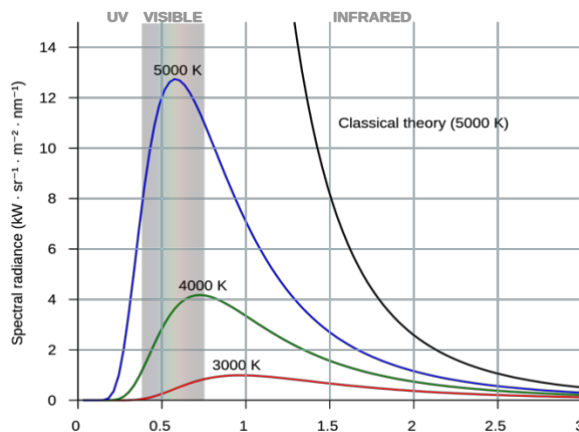


Ilustración 7: espectros de radiación de cuerpo negro para varias temperaturas y comparación con espectro teórico de Rayleigh

distribución espectral que se ajustaba a la experimental en a los mismos planteamientos teóricos clásicos, pero proponiendo un postulado totalmente inesperado y sorprendente: que los osciladores que tenemos en el cuerpo negro no pueden absorber o emitir cualquier cantidad de energía, de forma continua, sino en forma de paquetes, llamados quanta,

cuya energía depende de la longitud de onda

$$E = h \frac{c}{\lambda} = h\nu$$

Donde $h = 6.62607015 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ llamada en su honor constante de Plank

Este hecho limita las posibilidades de emisión de los osciladores clásicos que emiten energía en el cuerpo negro, tanto más cuanto más alta es su frecuencia, dado que el valor del quantum aumenta al acortarse la longitud de onda y por tanto la emisión de quedan cada vez más restringida. De esta forma inesperada se resuelve la catástrofe ultravioleta y permite también explicar las leyes de Wien y de Stefan-Boltzman, que son fácilmente deducibles de las ecuaciones obtenidas por Plank. Veremos en la parte de astronomía la enorme utilidad que el conocimiento del comportamiento de la radiación térmica ha tenido en el desarrollo de la astrofísica.

4.2. De los espectros de emisión al átomo de Bohr

Antes de pasar a la astrofísica, tenemos que volver a los espectros discretos del elemento químico que de forma abrumadoramente mayoritaria constituye el 75% de los átomos del universo: El hidrógeno.



Ilustración 8: Serie de Balmer o Espectro visible de emisión del átomo de hidrógeno

En 1862 Anders Jonas Ångström, espectroscopista sueco, quien pudo observar líneas correspondientes al hidrógeno, serie que luego se llamaría de Balmer, en el espectro de absorción de la atmósfera solar, concluyendo que el hidrogeno está presente en esta atmósfera. En 1885 el matemático suizo Johann Balmer descubrió una formula

empírica, basada en las observaciones de Ångström del espectro visible del hidrógeno, que se ajustaba a los resultados experimentales,

$$\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4}$$

Donde $B = 3.6456 \times 10^{-7} \text{ m}$, $n=3, 4, 5, 6$

Estos valores de B , y n ajustan con gran precisión las longitudes de onda observadas para las líneas del espectro de emisión del hidrógeno atómico, $H\alpha=656.3 \text{ nm}$ (rojo), $H\beta=486.1 \text{ nm}$ (azul), $H\gamma=434.1 \text{ nm}$ (violeta), y 410.2 nm , las cuatro únicas líneas visibles del espectro atómico del hidrógeno.

Apenas tres años más tarde, en 1888, el físico sueco Johannes Rydberg, que trabajaba con espectros de metales alcalinos, cayó en la cuenta que las relaciones matemáticas entre las posiciones de las líneas de los espectros se simplificaban expresando las líneas del espectro en función del número de onda, $\tilde{\nu}$, en lugar de la longitud de onda. Si reordenamos la formula de Balmer expresándola con números de onda tenemos,

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{B} \left(1 - \frac{4}{n^2}\right) = \frac{4}{B} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2}\right) \text{ si sustituimos } \frac{1}{4} \text{ por } \frac{1}{n'^2} \text{ obtenemos,}$$

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = K_H \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{4}{n^2}\right)$$

El valor de la nueva constante K_H , o constante de Rydberg, es también empírica y obtenida para cada átomo. En el caso del hidrógeno la constante de Rydberg vale,

$$K_H = 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Valor muy próximo al de la constante deducida de la formula de Balmer, pero siendo esta mucho mas general, dado que predice todas las series del hidrógeno, no solo la de Balmer, y además puede también aplicarse a otros átomos modificando la K

A pesar de todos estos descubrimientos y las eficaces fórmulas empíricas, durante estas ultimas décadas del XIX y la primera década del XX, se desconocía la naturaleza de los fenómenos físicos responsables de las líneas espectrales. Las aportaciones de Maxwell sentaron las bases de la naturaleza electromagnética de la luz pero no se sabía por qué la luz interactuaba con la materia y cómo. Lo que se fue produciendo durante aquellos años fue una acumulación de descubrimientos, estrechamente ligados a la invención de nuevas técnicas experimentales. Así por ejemplo, la invención de las técnicas fotográficas tiene un papel importante, pues permiten no solo fijar los espectros sino ampliar la ventana de frecuencias fuera del visible para entrar tanto en el infrarrojo como en el ultravioleta. En concreto la luz ultravioleta, radiación electromagnética con

longitud de onda entre 380 y 10 nm. Desde 1801 se conocía en sus longitudes onda de 380 a 200 nm, lo que hoy conocemos como UV

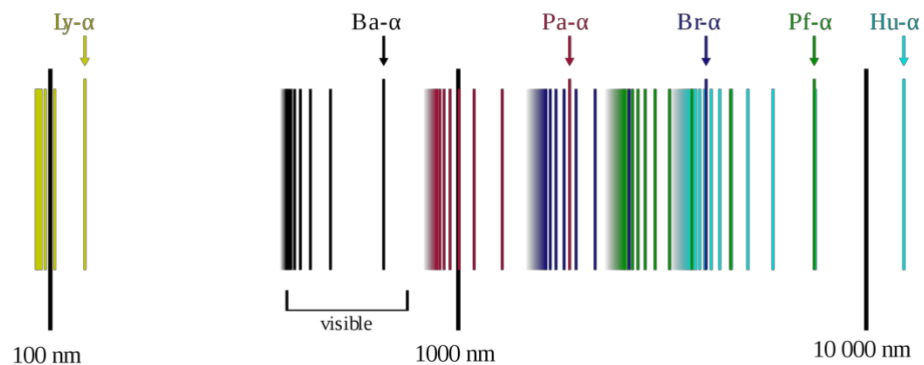


Ilustración 9: Series espectrales para el átomo de Hidrógeno

próximo, porque ennegrecía el cloruro de plata. En 1893 se amplió por debajo de los 200 nm, UV lejano, con los descubrimientos de Victor Schumann. Este último descubrimiento, unido a la invención del tubo de descarga por parte de John Sealy Townsend en 1897 permitieron ampliar la ventana en la que se podía observar al hidrógeno, y posibilitaron el descubrimiento por parte de físico norteamericano Theodore Lyman entre 1906-1014 de la serie del mismo nombre para el espectro de emisión del hidrogeno, correspondiente toda ella al espectro ultravioleta.

Por su parte, la radiación infrarroja, amplia gama de longitudes de onda entre el visible y las ondas milimétricas, era conocida desde 1800, descubierta por el astrónomo William Herschel cuando observó los intensos efectos térmicos de algunos objetos

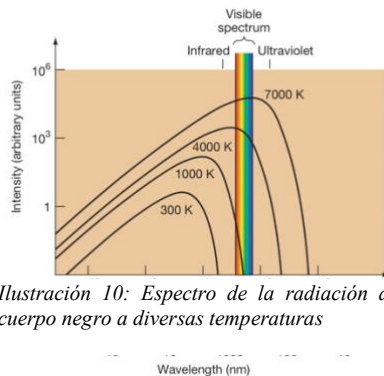


Ilustración 10: Espectro de la radiación del cuerpo negro a diversas temperaturas

astronómicos, que calentaban un termómetro mucho más que la luz visible. Como se puede observar (Ilustración 10), a temperaturas inferiores a 4000-7000K una gran parte de la energía del espectro de emisión del cuerpo negro corresponde a radiación infrarroja. De hecho una parte importante de la energía que recibimos del sol nos llega a través de radiación infrarroja. No obstante, no fue hasta 1908

que Friedrich Paschen descubrió, utilizando tubos de descarga, la serie espectral del hidrógeno atómico que lleva su nombre. Todas las líneas de esta serie están en la banda del infrarrojo (entre 800 y 1875 nm).

4.3. Efecto fotoeléctrico y el modelo atómico de Bohr

Nos encontramos con que en 1900, cuando Plank formula su hipótesis de la cuantización de la emisión del cuerpo negro, esta cuantización solo parece aplicarse a los osciladores que producen la radiación térmica. Si embargo, la luz la podemos seguir considerando como una onda no cuantizada. Será Einstein con su explicación del efecto fotoeléctrico el que cambiará radicalmente el paradigma. Ya hacía tiempo se había

comprobado experimentalmente que haciendo incidir luz de sobre un electrodo en un tubo de descarga, se producía un incremento de la corriente, es decir, una arranque de electrones del metal. Einstein propone que los electrones absorben también la energía en forma de cuantos al ser expuestos a la luz, con unos valores de cuanto iguales a los que había propuesto Plank para la emisión del cuerpo negro. Esto equivale a decir, es trascendental y revolucionario, que *la energía lumínica se genera y se consume en cuantos discretos*, podemos decir que la luz puede considerarse como una serie de cuantos de energía, a los que desde entonces empezamos a llamar fotones. Esta es una aportación de Einstein trascendental para la comprensión de los espectros de emisión. Será finalmente Niels Bohr el que, a la luz de toda la evidencia experimental de los espectros y las aportaciones teóricas de Plank y Einstein, formulará, juntamente con Ernest Rutherford y en 1913, un modelo que explica teóricamente todos los espectros conocidos del átomo de hidrógeno. Este modelo se basa en sus bien conocidos tres postulados:

1. El electrón solo puede orbitar a una serie de orbitas estacionarias, sin emitir energía, y a distancias determinadas y discretas del núcleo.
2. Las distancias a las que el electrón puede orbitar estacionario son aquellas en las que el momento angular del electrón es múltiplo entero de la constante de Plank dividida entre 2π ,

$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi}$$

3. Los electrones pueden saltar entre las orbitas estacionarias permitidas mediante la absorción o emisión de radiación electromagnética de frecuencia tal que la diferencia de energía del electrón entre las dos las órbitas estacionarias de origen y destino se corresponda con el cuanto de Plank,

$$\Delta E = h\nu$$

Parece ser que Bohr no consideraba que la luz estuviera cuantizada, simplemente pensaba que el hidrógeno solo podía emitir o absorber estos cuantos de energía debido a las restricciones de la cuantización del las órbitas, pero que por su parte la luz podía seguir siendo una onda electromagnética clásica continua.

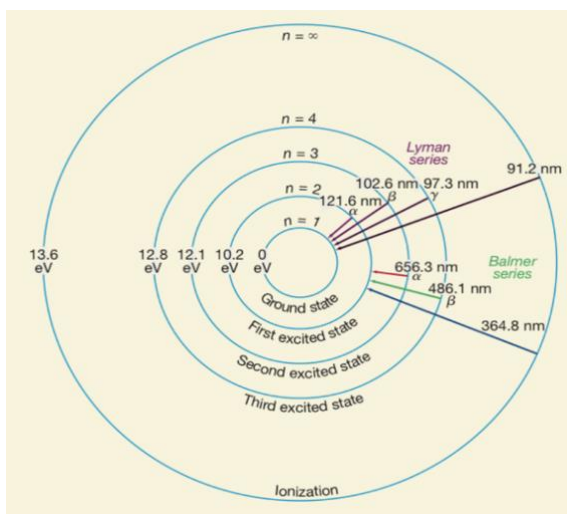


Ilustración 11: el modelo de Bohr como explicación de las series de Balmer y Lyman

En la Ilustración 11 se muestra como el modelo de Bohr explica satisfactoriamente las series espectrales de Balmer y Lyman, al igual que se ajusta a la serie infrarroja de Paschen, y otras que se descubrieron con posterioridad. Estos valores se ajustan

perfectamente con las ecuaciones de Balmer y Rydberg vistas anteriormente, y Bohr consigue calcular la constante de Rydberg de forma teórica en base a constantes fundamentales

Finalmente, hay que precisar que el hecho de que las orbitas estén cuantizadas no impide que los cuerpos densos den espectros continuos en determinadas circunstancias. Así, la Ilustración 12 muestra cómo se pueden producir espectros continuos cuando la energía está cuantizada en los niveles electrónicos de los átomos. Vemos que los niveles

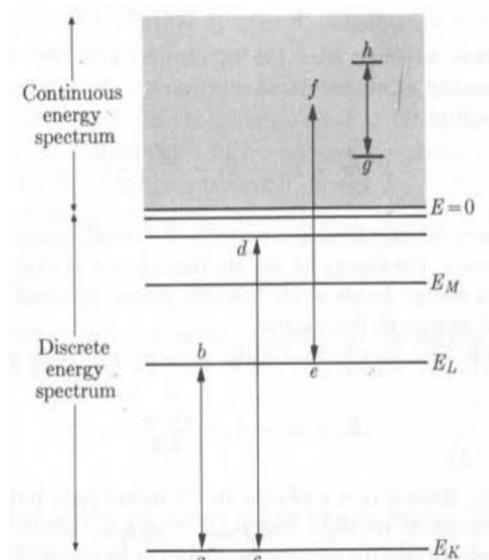


Ilustración 12: Posibilidad de espectros continuos para átomos con órbitas estacionarias de Bohr

energéticos están cada vez mas juntos a medida que aumenta el valor de n y por tanto el radio de la orbita. En el límite de radios muy grandes, los niveles están infinitamente próximos, y por tanto un electrón en el infinito es libre de adoptar cualquier energía. Si uno de los estados, inicial o final de la transición electrónica, no están cuantizado podrá emitir un cuanto de cualquier frecuencia cuando cae en una orbita. Esto de hecho se da también en los cuerpos densos con estructura atómica y molecular compleja, sólidos, líquidos etc., para los que las transiciones pueden estar

asociadas a rotura de enlaces o cambios en la velocidad de las moléculas, que no están cuantizadas, pudiendo emitirse o absorberse cuantos de cualquier energía, y por tanto generar el espectro térmico de equilibrio correspondiente al cuerpo negro.

4.4. Cuantización de los grados de libertad vibracionales y rotacionales

Llegados a Bohr, se da por terminada esta historia temprana de la espectroscopía. Sin embargo, una clara comprensión de las transiciones electrónicas exige recordar hechos descubiertos mucho después. En efecto, la cuantización no solo se aplica a los niveles orbitales electrónicos, sino a cualquier energía de las moléculas, que también estarán cuantizadas. Por ejemplo, las energías correspondientes a los modos de vibración moleculares, cuyas diferencias energéticas entre niveles permitidos dan fotones en el infrarrojo, desdobl原因 las líneas espectrales ensanchándolas considerablemente las líneas espectrales a baja resolución, y presentando espectros complejos en el infrarrojo con una estructura que solo se visualiza con resoluciones muy altas. Por su proximidad con los espectros debidos a transiciones electrónicas, en el infrarrojo y a veces entrando en la zona roja del visible, y la resultantes transiciones electrónicas entre niveles que combinan las energías del electrón en su órbita y la de la vibración del enlace, explican fenómenos tan relevantes como la fluorescencia o la fosforescencia.

Por otra parte, la energía térmica asociada a los grados de libertad rotacional de las moléculas, con transiciones en longitudes de onda del infrarrojo lejano y microondas, son de una extraordinaria riqueza y complejidad, combinándose además sobre las transiciones electrónicas y vibracionales.

Todo esto, unido al efecto doppler del movimiento traslacional térmico, que ensancha las líneas espectrales, el ensachamiento por la indeterminación de Heisenberg y muchos otros fenómenos, hacen que la espectroscopía sea una ciencia de una extraordinaria riqueza y variedad.

Puede así empezar a entenderse como en los cuerpos densos, sólidos, líquidos, gases o plasmas muy densos, todos estos fenómenos se combinan de forma que se comportan de forma muy próxima a un cuerpo negro, con capacidad para emitir y absorber a cualquier frecuencia, y por tanto, si están a una temperatura y en equilibrio, su radiación térmica adopta, independientemente de la composición del cuerpo, el espectro continuo de la radiación del cuerpo negro, como hemos visto anteriormente.

5. ESPECTROSCOPIA Y ASTROFISICA(CHAISSEON & MACMILLAN, 2014)

Desde el mismo nacimiento de la espectroscopia, ésta ha estado muy relacionada con el estudio del universo. Ya hemos visto como el primer instinto de Kirchhoff fue el estudio de la composición de los astros. Es indudable que la variedad de tipos de radiaciones electromagnéticas, desde la radio pasando por las microondas, las diferentes bandas infrarrojas, el visible, el ultravioleta y los rayos X y gamma constituyen un abanico tan amplia que no se puede ni siquiera mencionar aquí en toda su extensión. Los tipos diferentes de técnicas espectroscópicas se cuentan por docenas.

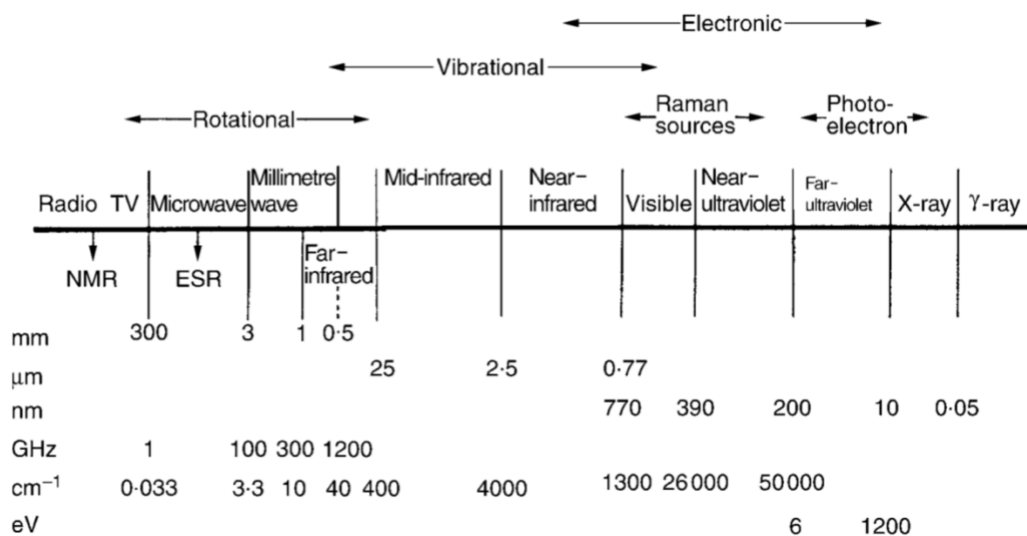


Ilustración 13: El espectro electromagnético completo expresado en las diversas magnitudes asociadas a su frecuencia, y a las transiciones energéticas moleculares

Por tanto, el presente escrito va a centrarse en dos o tres de las aplicaciones importantes

de las técnicas espectroscópicas en el nacimiento y desarrollo de la astrofísica. En la Ilustración 13 se muestra el espectro electromagnético completo y su correspondencia con las energías de las correspondientes a transiciones electrónicas, vibracionales o rotacionales.

5.1. Las ventanas electromagnéticas de la atmósfera

Cotidianamente consideramos que la atmósfera que nos rodea es transparente, porque miramos al cielo y, si no hay nubes, vemos el sol, la luna, los planetas, estrellas, incluso a simple vista alguna galaxia y nebulosa. Sin embargo, la atmósfera terrestre es lo

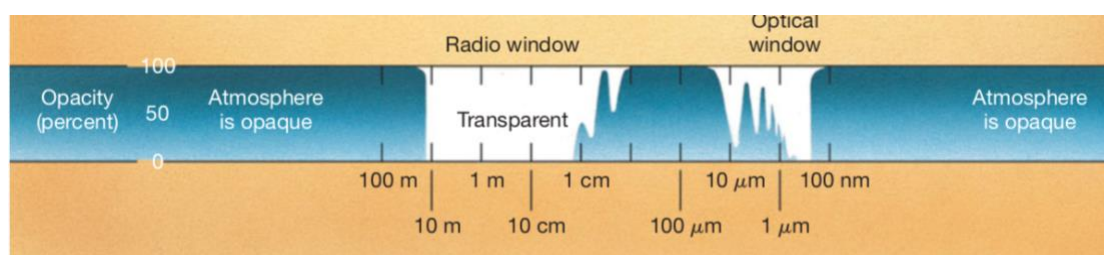


Ilustración 14: La atmósfera terrestre, ventanas en el visible/infrarrojo y en radiofrecuencia

suficientemente densa y químicamente compleja como para constituir un muro infranqueable para muchas de las bandas del amplio espectro electromagnético.

En la Ilustración 14 se muestran las dos relativamente estrechas ventanas electromagnéticas para las que la atmósfera es transparente. Hasta el advenimiento de la astronáutica y el lanzamiento de telescopios fuera de la atmósfera, nuestro conocimiento del universo se limitaba a lo que podíamos percibir a través de estas dos estrechas ventanas.

La ventana mas obvia para el ser humano es la visible/infrarroja. En el visible la atmósfera es muy transparente, transparencia solo perturbada por las turbulencias térmicas y por la dispersión debida a pequeñas concentraciones de partículas sólidas en suspensión o a la dispersión de las moléculas gaseosas, como por ejemplo la dispersión de Rayleigh, responsable del color del cielo. Pero que en cualquier caso estas dispersiones tienen secciones eficaces muy pequeñas y no impiden la transparencia del cielo.

Por el lado del ultravioleta y no digamos los rayos X y gamma, los átomos y moléculas que forman la atmósfera, el oxígeno el primero, rápidamente presentan transiciones electrónicas que la hacen completamente opaca. Por encima del ultravioleta los rayos X y gamma son tan energéticos que interactúan fuertemente con las moléculas, electrones y núcleos atómicos, siendo la atmósfera opaca a los mismos.

En cuanto al infrarrojo, la transparencia es solo parcial, las absorciones vibracionales de las moléculas con efecto invernadero, es decir, todas las que tengan algún tipo de polaridad molecular, presentan abundantes e intensos picos de absorción infrarroja.. Afortunadamente las moléculas mayoritarias, el O₂ y el N₂, y los gases nobles no son vibracionalmente activos . Sin embargo otros los son mucho, tales como el H₂O, que es

de hecho el principal gas con efecto invernadero, y también los bien conocidos culpables de nuestro trauma con el efecto invernadero, el CO_2 , CH_4 , y todos los óxidos de nitrógeno. No obstante estas absorciones solo afectan a algunas zonas del espectro infrarrojo, quedando ventanas parciales a través de las cuales se puede observar el universo.

La segunda ventana atmosférica, de gran importancia en astronomía, es la de radio. Abarca una amplia gama de ondas entre las microondas hasta radio de onda larga de longitud de onda de unos 10 metros. Ondas más largas o pueden atravesar la ionosfera, que se encuentra fuertemente ionizada por la radiación cósmica y el viento solar, impidiendo el paso a muchas ondas de radio de larga longitud de onda.

5.2. Espectro Solar

Una de las primeras aplicaciones de la espectroscopía en astrofísica es el estudio de la naturaleza y composición de las estrellas, y el sol es con diferencia la que mejor

podemos estudiar y la mas importante para nosotros. Puede decirse que gran parte de lo que sabemos sobre la física de las estrellas se lo debemos a la espectroscopía.

Sol es una gigantesca bola mayoritariamente formada por hidrógeno y algo de helio, a

El El

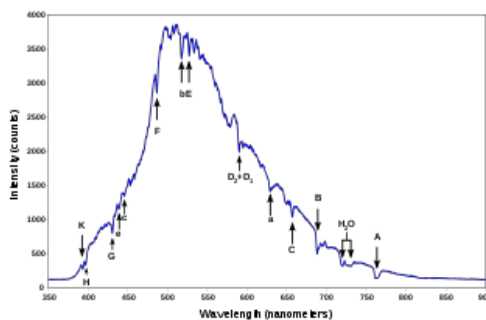


Ilustración 15: Espectro visible ultravioleta del sol

elevadísimas presiones y temperaturas de muchos millones de grados. Por tanto estas masas de hidrógeno, en gran parte en estado de plasma, se comportan como un sólido emitiendo un espectro continuo. La superficie que vemos brillando se denomina fotosfera.

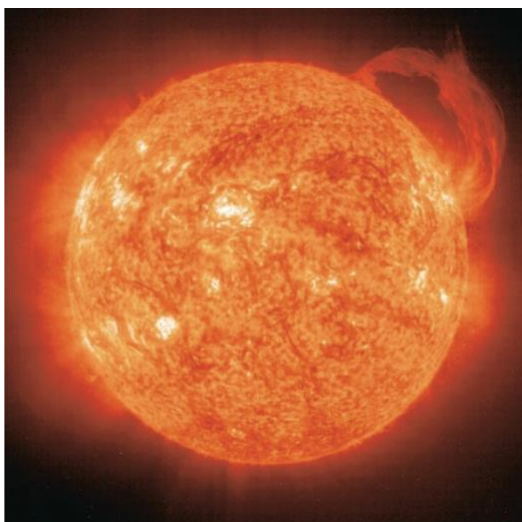


Ilustración 16: Imagen ultravioleta del sol obtenida desde el espacio, misión SOHO 2002

Si medimos su espectro visible obtenemos el espectro de la Ilustración 15. Basta con comparar este espectro con el del cuerpo negro (Ilustración 7) para comprobar su enorme parecido. De hecho el espectro continuo del sol corresponde con bastante aproximación al espectro de un cuerpo negro a 5800 K. Esta temperatura no debe ser confundida con la temperatura en el núcleo del sol, donde se produce la fusión del hidrogeno generando su energía, núcleo

que se encuentra a unos 14 millones de K.

Por otra parte, el espectro de la Ilustración 15 presenta una serie de picos hacia abajo, que corresponden a zonas de menor luminosidad. Estos picos son líneas de absorción, son las líneas de Fraunhofer. Son muchos miles de líneas de absorción las que pueden observarse en el espectro del sol. Uno puede preguntarse por qué son tantas. Para responder a esta pregunta observemos la Ilustración 17.

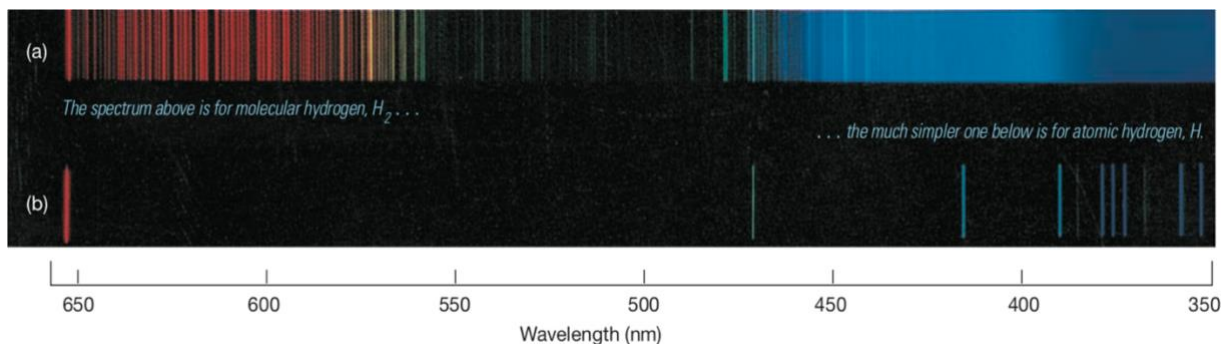


Ilustración 17: espectro visible/ultravioleta de la molécula de hidrógeno y del átomo de hidrógeno

Comprobamos de nuevo que el espectro del hidrógeno atómico, el estudiado por Ångström, Balmer, Rydbergh, Lyman, Paschen etc. y explicado por Bohr, con sus apenas 4 o 5 líneas en el visible, muy dominante la roja y que junto con la azul y las mas tenues violetas da una tonalidad rojo rosáceo. Encima de este familiar espectro tenemos el de una especie completamente diferente, el hidrógeno molecular H_2 . Podemos comprobar que la molécula tiene un espectro totalmente diferente, con cientos de líneas y zonas que parecen continuas. En este espectro tenemos 2 electrones y muchos más niveles y transiciones posibles en la molécula, los niveles están a diferente energía y se pueden considerar moleculares y no atómicos. Además, con dos electrones existe la posibilidad de formar iones. Un ion tiene niveles energéticos diferentes al de la molécula neutra, y sus líneas también aparecerán en el espectro molecular complicándolo. Por otra parte, la molécula de hidrógeno tiene grados de libertad rotacionales y esto va a ensanchar las líneas con una microestructura rotacional. En conjunto un espectro diferente.

Ahora imaginemos que en lugar de tener una molécula sencilla como el hidrógeno tenemos la atmósfera solar con presencia probable de gran parte de la tabla periódica. El resultado, simplificado, lo tenemos en la ilustración 16. En la misma se han marcado algunas de las líneas de absorción (líneas de Fraunhofer) más características. Se identifican claramente las cuatro líneas de la serie de Balmer, H alpha, H beta, H gamma, Hdelta; se identifica el He, elemento químico que se observó por primera vez espectralmente en el sol años antes de encontrarlo en la tierra. También se observan las intensas líneas del Na, Ca, K y Fe, de las que ya hemos hablado.

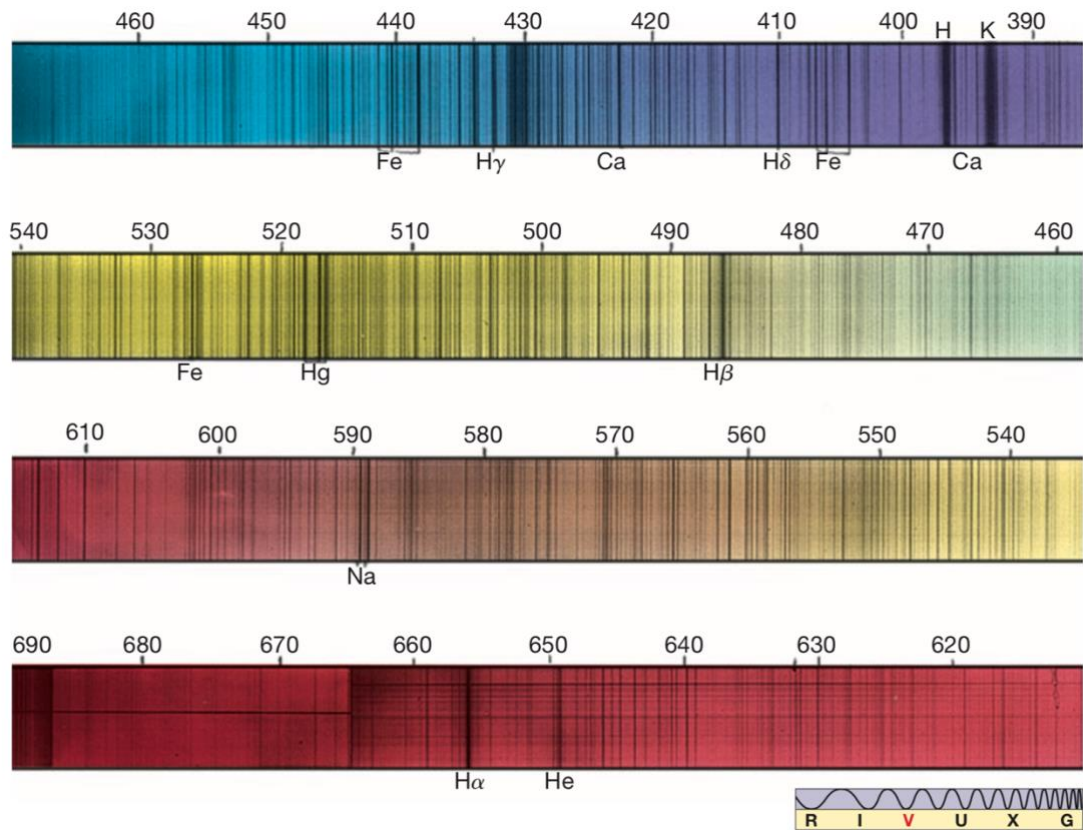


Ilustración 18: Espectro visible del sol con indicación de algunas de las líneas de absorción que identifican la presencia de átomos en la cromosfera solar. (Palomar Observatory/Caltech)

En base al estudio de estos detallados espectros de absorción del sol hemos podido determinar con detalle la composición de la atmósfera solar. Aunque no podemos mirar dentro del sol, en base a modelos de como funciona el sol y de como se ha formado a partir de nubes de gas interestelares, nos han permitido estimar la composición del sol, que es la siguiente:

Elemento	Porcentaje del numero total de átomos
Hidrógeno	91.2
Helio	8.7
Oxígeno	0.078
Carbono	0.043
Nitrógeno	0.008
Silicio	0.0045
Magnesio	0.0038
Neon	0.0035
Hierro	0.0030
Azufre	0.0015

Estas cifras nos hacen conscientes de la enorme divergencia que hay entre la composición de las estrellas y las de la tierra o los seres vivos. Estudios basados en espectroscopía pueden extrapolar datos para la frecuencia de los átomos en el universo, donde se estima que el 75% es hidrógeno, el 24% Helio y todos los demás constituyen el 1%, siendo el oxígeno con gran diferencia el mayoritario.

Si hubiéramos de expresar de que están formados los planetas no gaseosos como la tierra con un solo elemento, este sería el oxígeno. En el caso de los seres vivos, hemos “atrapado” además en nuestra biomasa el elemento más vulgar del universo, y estamos formados de la molécula más común entre las que combinan elementos químicos diferentes: El agua. Estamos constituidos de hidrógeno y oxígeno, dos de los elementos más abundantes del universo. Somos materia muy vulgar.

6. CONSIDERACIONES DIDACTICAS

El estudio de la historia de la espectroscopía supone abordar conceptos fundamentales sobre la naturaleza de la luz, del átomo y de como interactúan que habitualmente no se trata en su contexto decimonónico en el que no había certezas sobre la auténtica naturaleza de la materia y la luz, pero una férrea voluntad científica y una inquebrantable fe en el empirismo y la fuerza de los hechos experimentales les guió con timón seguro a las teorías físicas del siglo XX, tan alejadas de la realidad intuitiva humana.

Habitualmente se aborda el estudio de la física de forma deductiva, estableciendo como caídos del cielo postulados como el de Plank o el modelo de Bohr. Estos avances teóricos no se pueden entender sin explicar el tipo de problemas a los que se enfrentaban los científicos del XIX en su intento de entender la realidad física. Al hacerlo, un sentimiento de honestidad y humildad nos embarga, y previene el considerar a los grandes científicos como héroes inalcanzables, iluminados, que descubren sus audaces y certeras teorías en una torre de marfil.

En el estudio de la espectroscopia confluyen elementos del curriculum muy importantes, abordados desde otra perspectiva que reforzará la comprensión de los conceptos y sobre todo la auténtica naturaleza y mecanismo mediante el cual avanza la ciencia.

7. BIBLIOGRAFIA

- Chaisson, E., & MacMillan, S. (2014). *Astronomy Today*. San Francisco, CA: Pearson Education Inc.
- Dean, J. A. (1960). *Flame photometry*. (p. 354 p.). p. 354 p. Retrieved from file://catalog.hathitrust.org/Record/001021722
- Kirchhoff, G. (1860). On the Relation between the Radiating and Absorbing Powers of different Bodies for Light and Heat. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, XX(CXXX), 1–20.
- Kirchhoff, G., & Bunsen, R. (1860). Chemical Analysis by Spectrum-observations. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, XX(CXXXI), 89–110.
- Sánchez Ron, J. M. (2005). *Historia de la física cuántica*. Barcelona: Crítica SL.

9.5. Anexo E. Construcción de un espectroscopio escolar



CONSTRUCCION DE UN ESPECTROSCOPIO PARA USO ESCOLAR

Universidad Pública de Navarra, Pamplona

Master Universitario de Profesorado Educación Secundaria

Asignatura: Introducción a la investigación en didáctica de la física y la química

Profesor: Antonio Vela

27/02/2020

Autor: Ignacio María López Corral

17/02/2020

INDICE DE CONTENIDOS

1. Abstract & Keywords.....	3
2. Objetivos en el marco del curriculum de secundaria.....	3
2.1. Educación Secundaria Obligatoria (ESO)	3
2.2. Bachillerato	3
3. Introducción.....	4
4. Materiales.....	5
4.1. Para la introducción y medición de la D de la red de difracción	5
4.2. Para construir el espectroscopio	5
4.3. Fuentes lumínicas	6
5. Dispositivo experimental.....	6
5.1. Introducción.....	6
5.2. Construcción del espectroscopio	6
5.3. Calibración con luz proveniente de una bombilla fluorescente	8
5.4. Observación del espectro del hidrógeno.....	8
5.5. Observación del espectro de una lámpara incandescente	8
5.6. Observación de la línea Fraunhofer D del sodio.	8
6. Resultados y análisis.....	8
6.1. Resultados de la medición de la distancia de la red de difracción procedente de un DVD	8
6.2. Espectros observados	9
6.2.1. Lámpara fluorescente	9
6.2.2. Tubo de descarga de hidrógeno	9
6.2.3. Lámpara incandescente.	9
7. Conclusiones	10
8. Bibliografía	10

1. ABSTRACT & KEYWORDS

This paper presents a series of pedagogical experiments intended to teach some of the properties of visible light to an audience of secondary education students. The construction and use of a simple spectrometer will allow to visualize emission spectra from various sources: emission spectrum of hydrogen, emission spectrum of incandescent and fluorescent lamps, emission spectrum of flame tests for metals.

Este trabajo presenta una serie de experimentos pedagógicos destinados a la enseñanza de algunas propiedades de la luz visible a una audiencia de estudiantes de educación secundaria. La construcción y uso de un espectrómetro sencillo permitirá visualizar espectros de emisión de variados tipos: emisión del hidrogeno, emisión de lámparas incandescentes y fluorescentes, emisión de ensayos a al llama de metales.

Keywords: spectrometer, high school, construction emission spectra, diffraction grating.

2. OBJETIVOS EN EL MARCO DEL CURRÍCULUM DE SECUNDARIA

A continuación se enumeran objetivos del currículo oficial de la ESO y Bachillerato que están directamente relacionados con esta práctica.

2.1. Educación Secundaria Obligatoria (ESO)

ESO2, ESO3, Bloque 1: La actividad científica

- Conocer los procedimientos científicos para determinar magnitudes
- Ilustrar los modelos atómicos, en particular el modelo atómico de Bohr y subsiguientes, demostrando uno de los experimentos fundamentales que han permitido validarlos.
- Identificar la importancia de instrumentos básicos [como los espectroscopios] en el trabajo científico y en el diseño de trabajos de investigación.
- Desarrollo de trabajos de investigación aplicando el método científico.

ESO4, Bloque 2: La materia

- Comparar los diferentes modelos atómicos propuestos a lo largo de la historia para interpretar la naturaleza íntima de la materia, interpretando las evidencias que hicieron necesaria la evolución de estos.

2.2. Bachillerato

Bachillerato 1, materia Física y Química

- Descripción de aplicaciones de la espectroscopia en la identificación de elementos y compuestos

Bachillerato 2 materia Física

Todo el bloque 4 “Ondas”, y en particular

- Interpretación de los fenómenos de interferencia y difracción utilizando el principio de Huygens.
- Reconocimiento de efectos cotidianos como ejemplos de difracción.
- Clasificación de casos concretos de ondas electromagnéticas presentes en la vida cotidiana en función de su longitud de onda y su energía
- Análisis de los efectos de difracción e interferencia sencillos
- Establecimiento de la naturaleza y características de una onda electromagnética dada y su situación en el espectro
- Reconocimiento de aplicaciones tecnológicas de los diferentes tipos de radiación, principalmente infrarroja, ultravioleta y microondas.

Algunos objetivos en el bloque 6 “Física del siglo XX”

- Explica las limitaciones de la física clásica al enfrentarse a determinados hechos físicos, como la radiación del cuerpo negro o los espectros atómicos.
- Relación de la longitud de onda o frecuencia de la radiación absorbida o emitida por un átomo con la energía de los niveles atómicos involucrados.
- Interpretación de espectros sencillos, relacionándolos con la composición de la materia.

Bachillerato 2, materia Química

Bloque 2 Origen y evolución de los componentes del universo

- Explica las limitaciones de los distintos modelos atómicos relacionándolo con los distintos hechos experimentales que llevan asociados.
- Calcula el valor energético correspondiente a una transición electrónica entre dos niveles dados relacionándolo con la interpretación de los espectros atómicos.

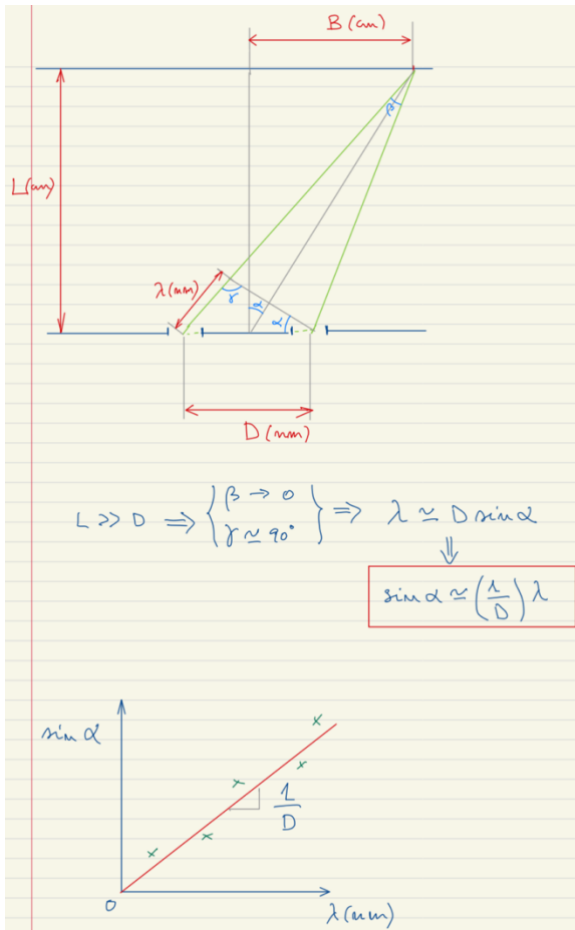
Sorprende un tanto la escasa importancia que el currículo de la ESO otorga a la luz, su naturaleza y propiedades, no se le dedica un solo objetivo específico en toda la ESO. Un cero pelotero al legislador.

Al parecer en Física de segundo de bachillerato de repente se cae del guindo nuestro avisado legislador y le dedica bloques enteros del currículo. Solo el que estudia física en segundo de bachillerato precisa de nociones claras sobre la naturaleza del fenómeno más conspicuo de la realidad que nos rodea.

Este proyecto de construcción de un espectroscopio pretende suplir esta carencia del currículo, amparándose para la ESO en el bloque de la actividad científica.

3. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la naturaleza ondulatoria de la luz, la gama de ondas en función de su longitud de onda y el impacto que estos hechos tienen sobre una infinidad de interacciones luz-materia son de una gran importancia en las ciencias físicas y químicas, y en casi todas las demás. En concreto en estos experimentos nos concentraremos sobre su influencia sobre nuestra comprensión de la estructura del átomo.



En esta serie de experimentos se va a demostrar como la luz visible se difracta al atravesar una red de difracción, con diferente ángulo en función de su longitud de onda, y cómo esto produce un espectro. Se demostrarán algunas aplicaciones de este utilísimo fenómeno.

Se calculará la distancia entre líneas de la red de difracción mediante un sencillo experimento en el que se miden los ángulos de difracción de cada uno de los colores al ser observado con una red de difracción colocada a pocos milímetros frente al ojo, con las líneas de la red verticales.

A continuación se mostrará lo fácil que es construir un espectroscopio capaz de analizar espectros de luz visible e infrarrojo y ultravioleta próximos. Se calibrará usando una lámpara fluorescente de luz blanca

convencional.

Finalmente usaremos este espectroscopio para ilustrar:

- El átomo de Bohr, observando las líneas alfa y beta del espectro del hidrógeno.
- El espectro de la radiación del cuerpo negro, observando el espectro de una lámpara incandescente
- Es espectro de emisión del sodio, analizando la luz de un ensayo a la llama de cloruro sódico.

4. MATERIALES

4.1. Para la introducción y medición de la D de la red de difracción

Una Fuente de luz con lente que haga los rayos paralelos, provisto de una rendija

Un prisma

Un DVD de una sola capa (4.7 GB) preferentemente virgen.

Una pizarra y rotuladores

Una cinta métrica

4.2. Para construir el espectroscopio

Un trozo del DVD delaminado.

Un teléfono móvil conectado a la red wifi. Alternativamente se puede utilizar cualquier webcam. Algunos modelos de webcam permiten, desmontando el objetivo,

retirar el filtro IR que suelen llevar, cosa interesante si queremos estudiar espectros en el infrarrojo.

Un tubo de cartón de unos 50 cm de largo y unos 8 cm de diámetro.

Cartulina negra

Cola para papel

Regla y tijeras

Cinta adhesiva, gomas elásticas

Un ordenador portátil conectado a la wifi

Software "Theremino Spectrometer V2.8" (theremino.com, 2014b) obtenido gratuitamente en <https://www.theremino.com/en/downloads/automation>

Software gratuito Droidcam para conectar teléfono Android como webcam a través de wifi. Disponible en Google Play [Droidcam](#)

4.3. Fuentes lumínicas

Una lámpara de bajo consumo de tipo tubo fluorescente de luz fría.

Un tubo de descarga de hidrógeno

Una bombilla incandescente de las antiguas.

Una luz led (sirve el flash de un móvil)

Un mechero bunsen

Sal común

5. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

5.1. Introducción

Se destruye un DVD y demuestra como se saca de él una red de difracción

Se hace una introducción usando una Fuente de un set de óptica que permite obtener rayos paralelos. Se demostrará como el prisma separa la luz en sus diferentes longitudes de onda. Inmediatamente después se mostrará como la red de difracción separa más eficazmente las diferentes longitudes de onda, mayor diferencia de ángulos.

A continuación, con una fuente puntual y la participación de un alumno, se realizará la medición de los ángulos de difracción de los diferentes colores, marcando en la pizarra la dirección desde la que el observador percibe vienen los rayos de cada color. Se introducen los datos en una tabla Excel previamente preparada, que rápidamente determina la D.

5.2. Construcción del espectroscopio

El espectroscopio (Dreher, 1991; Gatkine, Zimmerman, & Warner, 2018) consta de un tubo de cartón forrado interiormente con cartulina negra. Tal como se observa en las fotos, la cartulina negra lleva adosadas una serie de coronas circulares cuyo propósito es bloquear los reflejos que se producen en el interior del tubo, de forma que la única

luz que llegue a la cámara sea la que proviene directamente de la rendija que hemos colocado en el otro extremo. El ancho de la rendija es regulable, de forma muy sencilla colocando convenientemente un rectángulo de cartulina dejando la rendija deseada. Para el estudio de la luz solar debería pensarse en realizar una rendija muy estrecha con dos cuchillas de cúter paralelas.



Sobre el teléfono móvil, en concreto sobre el objetivo de su cámara, se coloca sin más un trocito de la red de difracción de modo que cubra todo el objetivo. Se sujeta con un trozo de cinta adhesiva.



Hay que cuidar que las líneas de la red de difracción sean paralelas a la dimensión corta del teléfono. Es recomendable que sea un teléfono con la cámara en el centro, en lugar de en

una esquina.

Se introduce el teléfono parcialmente en el extremo del tubo opuesto a la rendija, formando el plano del teléfono un ángulo de unos 30 grados con respecto al eje del tubo. Hay que cuidar que la red de difracción sea paralela a la dirección de la rendija.

Se diseña algún tipo de sujeción que fije la geometría, para que podamos manipular el espectroscopio sin que el teléfono se mueva.

Ahora arrancamos el programa Theremino spectrometer (theremino.com, 2014a) en el ordenador y Droidcam en el móvil. Una vez conectados el ordenador y el móvil y actuando el móvil como cámara web, podremos visualizar el espectro en la aplicación Theremino spectrometer.

5.3. Calibración con luz proveniente de una bombilla fluorescente

Colocando una bombilla de bajo consumo fluorescente frente a la rendija obtendremos en el ordenador su espectro. Ajustaremos los picos característicos, el verde 546 nm y el azul 436. Ya tenemos el espectrógrafo calibrado.

5.4. Observación del espectro del hidrógeno

Antes de mostrar el espectro, se presentará el modelo de simulación siguiente

[Neon Lights & Other Discharge Lamps](#) con el que se puede visualizar muy bien como se origina el espectro del hidrogeno a causa de los niveles orbitales cuantizadas del átomo de Bohr.

5.5. Observación del espectro de una lámpara incandescente

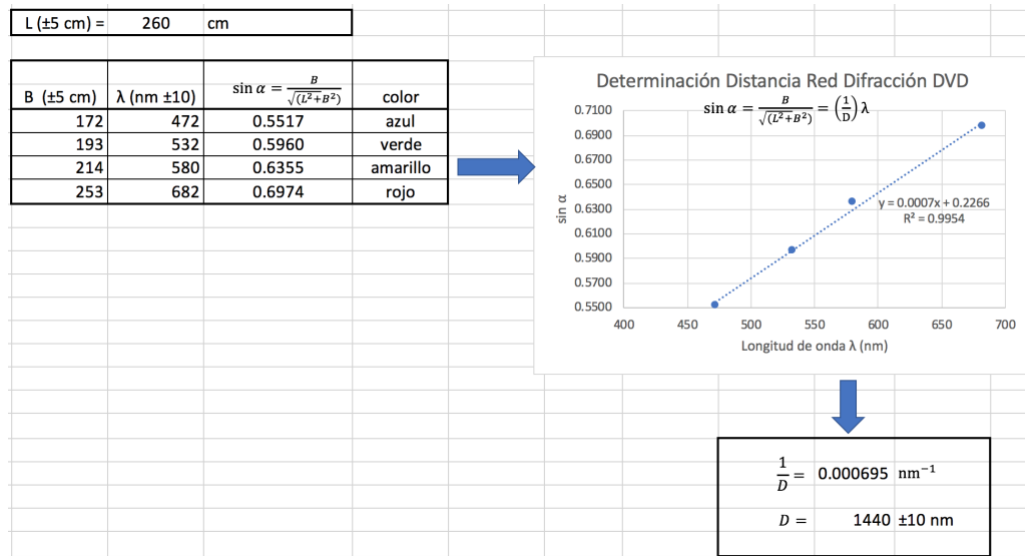
Se coloca frente a la rendija una lámpara incandescente y se observa el espectro. Este espectro se parece mucho al de radiación del cuerpo negro. No obstante, parece que el espectro no muestra mucha radiación en el infrarrojo, lo cual puede deberse a que las cámaras suelen venir equipadas de un filtro infrarrojo. Existen webcams en las que es posible extraer este filtro para poder analizar también espectros IR.

5.6. Observación de la línea Fraunhofer D del sodio.

Realizando un ensayo a la llama frente a la rendija (cuidado de no quemar la cartulina o el tubo, se puede observar la línea amarilla del sodio

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

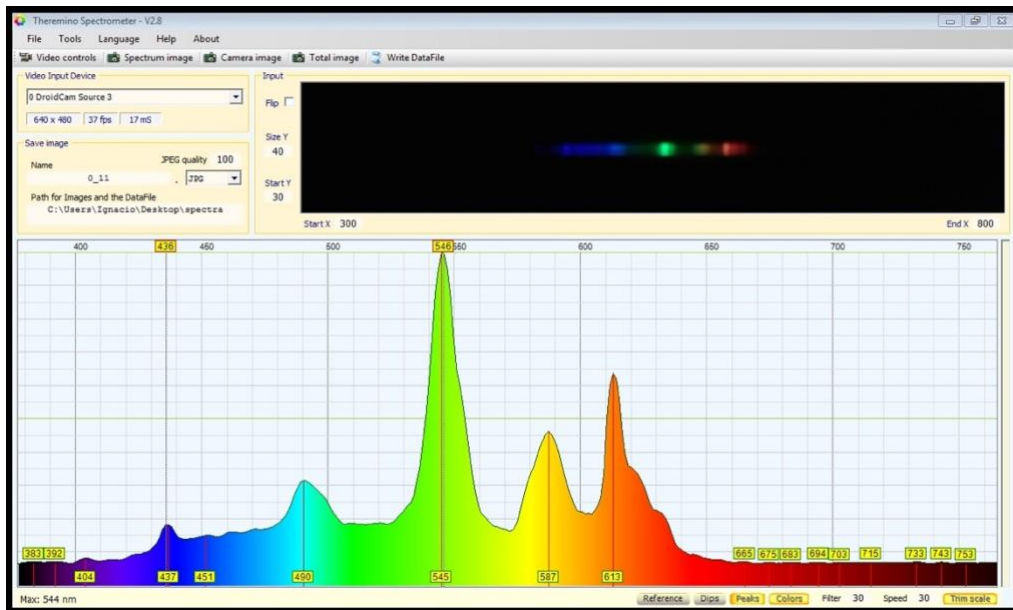
6.1. Resultados de la medición de la distancia de la red de difracción procedente de un DVD



El error en la medida es difícil de calcular porque la apreciación de la posición de cada color en la pizarra es algo subjetiva. Considerando las anchuras de cada banda de color se ha considerado un error estimado de diez nanómetros en las percepciones de dónde está cada color visualmente. Se retiene el mismo error en el resultado final. El error en el cálculo del seno es inferior, pues medimos distancias de varios metros con precisión centimétrica, y por tanto se desprecia su contribución .

6.2. Espectros observados

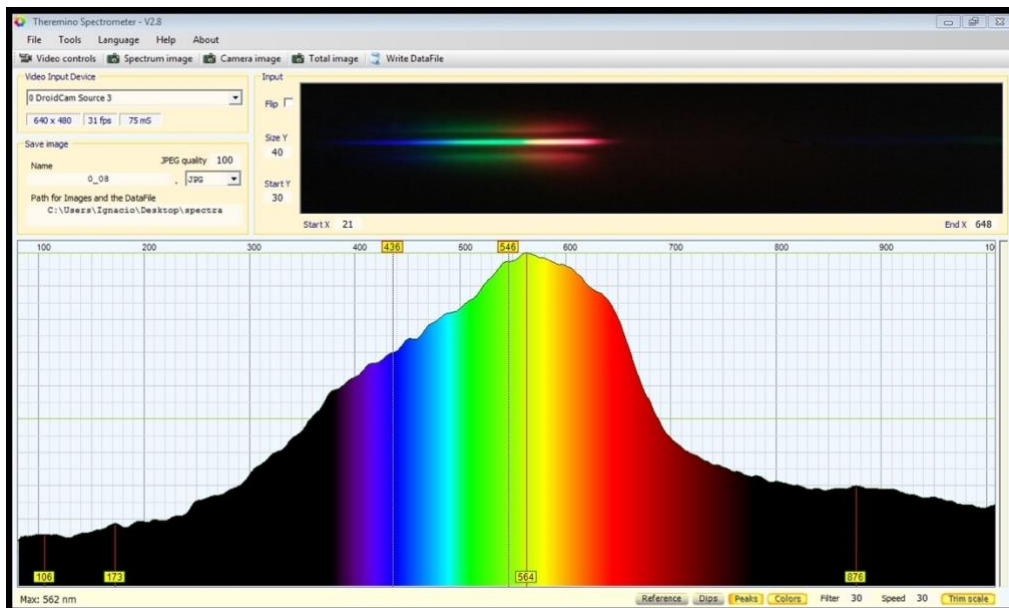
6.2.1. Lámpara fluorescente



6.2.2. Tubo de descarga de hidrógeno

No se dispone de imagen. Los picos alfa y beta del hidrógeno se visualizan tenues pero con picos muy claros y agudos en el espectro.

6.2.3. Lámpara incandescente.



7. CONCLUSIONES

La construcción de este sencillo espectroscopio abre un mundo de posibilidades didácticas. Posibles aplicaciones y proyectos que pueden surgir de estos experimentos:

- Preparación de un catálogo de espectros comentado de diferentes tipos de fuentes lumínicas.
- Proyecto de construcción de espectroscopio con una mejor de la sensibilidad y resolución que el propuesto.
- Análisis cualitativo de muestras problema (compuestos de alcalinos o alcalinotérreos en base a espectros de emisión ensayo a la llama).
- Estimación de la temperatura de objetos en base a su espectro de radiación de emisión de cuerpo negro.
- Diseño de un sistema de determinación de concentraciones de soluciones acuosas coloreadas por medición de absorbancia.
- Experiencias demostrativas del fenómeno de la fluorescencia.
- Posibilidades de mejorar la construcción del espectroscopio utilizando diseño e impresión 3D.

8. BIBLIOGRAFÍA

Dreher, G. B. (1991). Atomic Spectroscopy. *Journal of Environmental Quality*, 20(4), 879–879. <https://doi.org/10.2134/jeq1991.00472425002000040033x>

Gatkine, P. R., Zimerman, G., & Warner, E. (2018). *A do-it-yourself spectrograph kit for educational outreach in optics and photonics*. 27. <https://doi.org/10.1117/12.2321640>

theremino.com. (2014a). Theremino Spectrometer Instructions. Retrieved from <https://www.theremino.com/en/downloads/automation>

theremino.com. (2014b). Theremino Spectrometer Technology. Retrieved from https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Technology_ENG.pdf

<https://publiclab.org/notes/warren/09-01-2016/calibrating-your-spectrometer-in-spectral-workbench>

9.6. Anexo F. Materiales necesarios

Los materiales deberán ser de fácil disposición, con preferencia por materiales reciclados o materiales que deben poderse encontrar en casa.

9.6.1. Para la introducción y medición de la D de la red de difracción

Un DVD de una sola capa (4.7 GB) o CD preferentemente virgen.

La luz led del flash del móvil como fuente puntual de luz

Una pizarra y rotuladores

Una cinta métrica

Pizarra y rotuladores.

9.6.2. Para construir el espectroscopio

Un trozo del DVD delaminado obtenido en el epígrafe anterior.

Un teléfono móvil conectado a la red wifi. Alternativamente se puede utilizar cualquier webcam. Algunos modelos de webcam permiten, desmontando el objetivo, retirar el filtro IR que suelen llevar, cosa interesante si queremos estudiar espectros en el infrarrojo.

Un tubo de cartón de unos 50 cm de largo y unos 8 cm de diámetro o cualquier otro tubo o prisma que con rigidez suficiente para mantener la forma y opacidad a la luz.

Cartulina negra

Cola para papel

Regla y tijeras

Cinta adhesiva, gomas elásticas

Un ordenador portátil conectado a la wifi

Software “Theremino Spectrometer V2.8” (theremino.com, 2014b) obtenido gratuitamente en <https://www.theremino.com/en/downloads/automation>

Software gratuito Droidcam para conectar teléfono Android como webcam a través de wifi. Disponible en Google Play [Droidcam](#)

Cliente DroidCam para Windows

9.6.3. Fuentes lumínicas

Una lámpara de bajo consumo de tipo tubo fluorescente de luz fría.

Un tubo de descarga de hidrógeno

Una bombilla incandescente de las antiguas.

Una luz led (sirve el flash de un móvil)

Un mechero bunsen

Sal común

9.7. Anexo G. Ejemplo de informe final de un alumno

Informe espectroscopio

Índice:

1. Objetivo
2. Introducción
3. Materiales
4. Procedimiento
5. Resultados y análisis: Estudio de uno o varios espectros obtenidos con el espectroscopio. Explicación general breve del espectro observado y del fenómeno físico que lo produce.
6. Conclusiones
7. Bibliografía

1-Objetivo

El objetivo de esta práctica es construir un espectroscopio con materiales reciclados y utilizarlo para estudiar el comportamiento de las ondas de la luz con su ayuda, junto con una serie de programas informáticos y una cámara conectados entre sí mediante internet.

2-Introducción

En esta práctica se va a poner de manifiesto la difracción de la luz visible a través de una red de difracción y la variación del ángulo dependiendo de su longitud de onda.

También se mostrará lo fácil que ha resultado construir un espectroscopio que puede analizar espectros de luz visible e infrarrojo y ultravioleta próximos.

El primer paso de la práctica consiste en construir un espectroscopio con materiales reciclados, proceso que se explicará a fondo más adelante. A continuación, con ayuda de un dispositivo móvil y un ordenador con acceso a internet, estudiaremos el comportamiento de la luz ayudándonos de los programas DroidCam y Theremino Spectrometer. Una vez completados estos pasos, ya seremos capaces de obtener conclusiones sobre el comportamiento de las diferentes luces que están presentes en nuestros hogares.

3-Materiales

3.1- Materiales para construir la red de difracción y medir la D

- La linterna del móvil
- Un CD

- Cinta adhesiva
- Una cinta métrica

3.2-Materiales para la construcción del espectroscopio

- Una lámina de cartón de tamaño suficiente para construir un tubo de 60cm de largo y diámetro de 7cm.
- El CD delaminado obtenido con los materiales del apartado 3.1
- Cinta adhesiva
- Cinta métrica
- Tijeras
- Un teléfono móvil con cámara y acceso a internet
- Un ordenador portátil con acceso a internet
- Software "Theremino Spectrometer V2.8" (theremino.com, 2014b) obtenido gratuitamente en <https://www.theremino.com/en/downloads/automation>
- Software gratuito Droidcam para conectar teléfono Android como webcam a través de wifi. Disponible en Google Play Droidcam

4-Procedimiento

Vamos a dividir este apartado de acuerdo con las diferentes tareas necesarias:

4.1- Construcción de la red de difracción

Este apartado ya fue explicado en el anterior informe, pero conviene explicarlo al haber sido esencial en esta práctica.

Este puede que sea el proceso más sencillo: consiste en retirar la película que presenta el CD adherida a una de sus caras con ayuda de una cinta métrica, a base de pegar y despegar. Así obtenemos la red de difracción que formará parte de nuestro futuro espectroscopio.

4.2- Construcción del espectroscopio

Se trata del proceso de mayor trabajo. Con los materiales mencionados en el apartado anterior, hemos de construir un tubo de cartón, en mi caso de 60 cm de largo y 7 de diámetro. En un extremo debe de estar abierto para poder introducir el teléfono móvil, y en otro debe tener una pequeña rendija rectangular por la que entrará la luz. Es importante que se mantenga opaco, es decir, sin agujeros por los que la luz pueda entrar y perturbar nuestras observaciones.



A continuación se debe descargar el software necesario: Droidcam tanto en móvil como en ordenador, y Theremino Spectrometer en ordenador. Una vez instalados, se deben conectar ambos dispositivos utilizando la dirección IP. En ese momento, el ordenador ya puede analizar lo que está viendo la cámara de nuestro móvil, al que hemos adherido un trozo de la red de difracción.



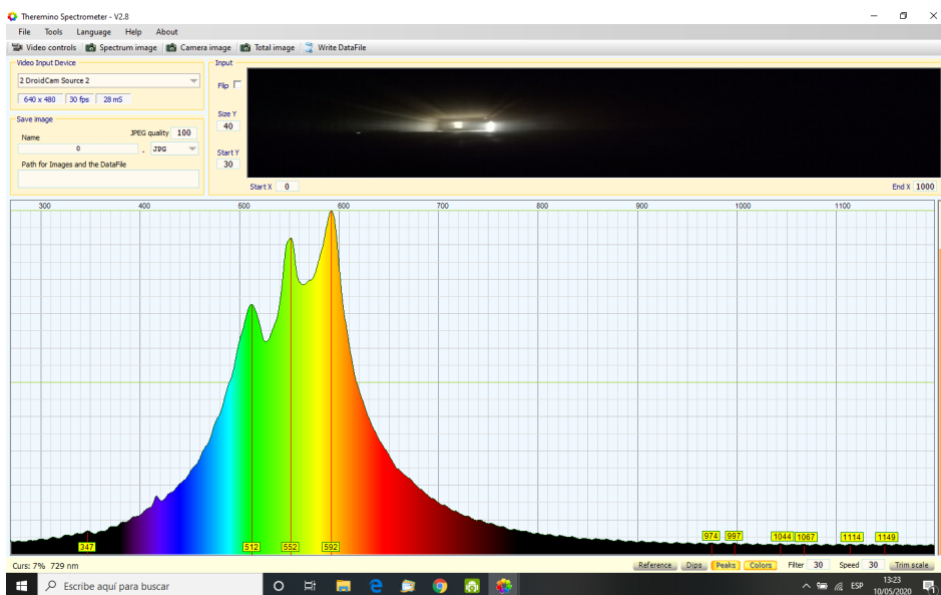
Una vez esté el móvil conectado al ordenador, se debe insertar en la rendija grande del tubo del espectroscopio, como podemos ver en la imagen superior.

4.3-Calibración de la red de difracción

Es importante que la red de difracción sea adherida al móvil de manera que los espectros se muestren justo hacia arriba y hacia abajo, de forma vertical. Para ello, se debe apuntar a una luz con la cámara abierta e ir girando la red de difracción hasta conseguir la posición deseada. Es recomendable que este proceso se realice con el móvil fuera del tubo del espectroscopio.

Una vez calibrado y construido todo lo necesario, ya disponemos de un espectroscopio capaz de estudiar el comportamiento de la luz.

5. Resultados y análisis: Estudio de uno o varios espectros obtenidos con el espectroscopio. Explicación general breve del espectro observado y del fenómeno físico que lo produce.

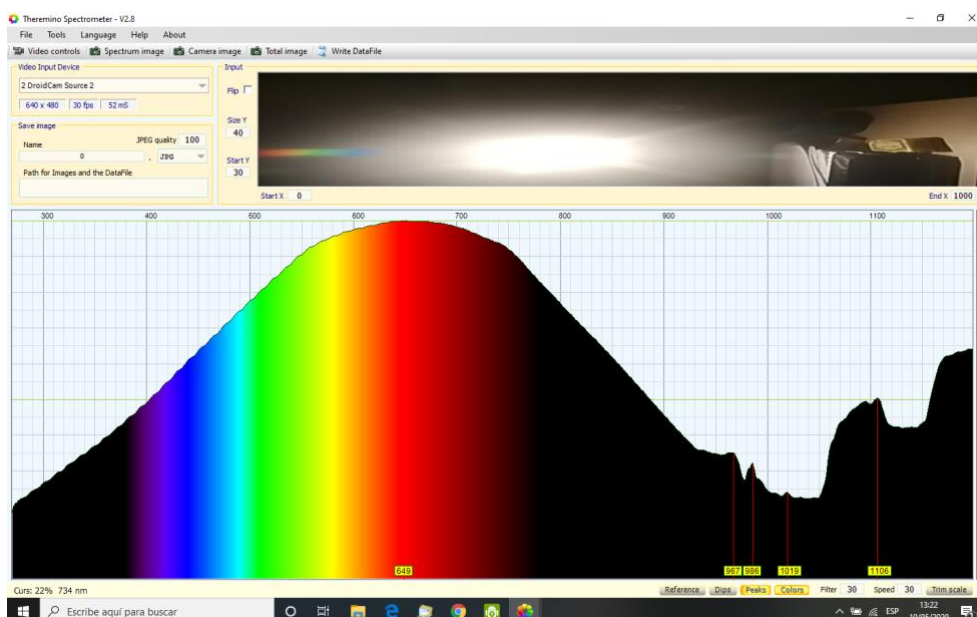


Estos son los espectros analizados a partir de dos luces led distintas:

Los colores que se ven en la grafica no significan nada si los picos no estan calibrados. Este triple pico no es más que el resultado de los tres puntos blancos de la imagen de la camara, en la que no se ve ningún espectro. En la imagen anterior, el gran pico redondeado no es mas que la gran fuente de luz blanca central, lo que habria que analizar con theremino es el pequeño espectro coloreado que se en el borde izquierdo de la imagen

Como podemos observar, se aprecia una longitud distinta para cada color, poniendo de manifiesto que cada color va a mostrar un comportamiento distinto debido a que presenta una longitud de onda distinta. Está más clara la segunda imagen.

El problema es que las imágenes obtenidas de esta ranura incluyen muchas luces blancas parásitas además de la imagen del espectro difractado, lo cual falsea en gran medida las curvas de espectro obtenidas. Muy acertada observación



6-Conclusiones

Se ha conseguido el objetivo de la práctica : se consigue hacer funcionar correctamente todos los elementos hard y soft del sistema y realizar análisis preliminares de imágenes correspondientes a la ranura del espectrómetro.

De la realización de este proyecto podemos obtener varias conclusiones:

-No resulta complicado construir algo que parece tan difícil como un espectroscopio con materiales de casa. Es más, ha resultado bastante llevadero, gracias a las indicaciones recibidas.

-Quizás si que resulte más complicado el análisis de las imágenes obtenidas, al carecer de los conocimientos necesarios sobre el comportamiento de la luz.

-Sería adecuado realizar trabajos de mejora adicionales en el interior del tubo para reducir reflexiones, en el posicionamiento del móvil para centrar las imágenes difractadas y descartar la imagen directa de la ranura, y en el calibrado del programa theremino para que tenga en cuenta únicamente las luces correspondientes al espectro coloreado.

7-Bibliografía

Me he ayudado del informe modelo que el profesor nos compartió. En cuanto a las imágenes, han sido tomadas por mí con mi móvil.

Software:

theremino.com. (2014a). Theremino Spectrometer Instructions. Retrieved from <https://www.theremino.com/en/downloads/automation>

theremino.com. (2014b). Theremino Spectrometer Technology. Retrieved from https://www.theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Technology_ENG.pdf