



LABORATORIO DE ÓPTICA

Trabajo Fin de Máster

MÁSTER EN PROFESOR DE EDUCACIÓN SECUNDARIA
OBLIGATORIA Y BACHILLERATO, FORMACIÓN
PROFESIONAL Y ENSEÑANZAS DE IDIOMAS

ELENA MARÍA MANCEBO SÁNCHEZ
01/07/2013

Tutores:

MUÑOZ MUÑOZ, JOSE MARIA
GIGOSOS PEREZ, MARCO ANTONIO
TORRES CABRERA, CARLOS

ÍNDICE

Introducción.....	3
Resumen.....	3
Contextualización.....	4
¿Por qué un laboratorio?.....	4
¿Por qué de óptica?	5
Fundamento teórico de los experimentos.	6
Nacimiento de una ciencia: Breve historia del desarrollo de la óptica.....	6
Velocidad de propagación de la luz.....	7
Reflexión de la luz.....	10
Refracción de la luz.....	11
Dispersión de la luz	13
Interferencias de ondas luminosas	14
Reflexión y refracción de la luz: ¿cómo ve el pez al pescador?.....	17
Material	18
Procedimiento.....	18
Dispersión de la luz blanca en colores	20
Material	21
Procedimiento	21
Construcción de un prisma	22

Fenómenos de interferencia y difracción.	23
Material.	23
Interferencia de dos rendijas.	23
Difracción por una rendija.	27
Determinación del grosor de un pelo.....	28
Análisis de gastos.....	30
Medidas de seguridad.....	31
Objetivos que se pretenden lograr en el alumnado.....	32
Evaluación.....	33
Conclusiones.....	35
Bibliografía	36

INTRODUCCIÓN

El Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, indica que todas las enseñanzas oficiales de grado concluirán con la elaboración y defensa pública de un Trabajo Fin de Máster, que ha de formar parte del plan de estudios.

Este documento presenta en la elaboración del trabajo Fin de Máster de Formación del Profesorado de Educación Secundaria, Bachillerato, Formación profesional y Enseñanza de Idiomas en la especialidad de Física y Química.

RESUMEN

Se plantea la elaboración de una serie de experiencias de laboratorio de bajo coste, con elementos sencillos y de fácil adquisición dentro del temario de Óptica de 2º Bachillerato. El objetivo es el de facilitar y completar la adquisición de los contenidos del currículum, dando a conocer simultáneamente algunos métodos habituales en la actividad e investigación científica. Se busca la completa comprensión de los fenómenos estudiados así como de las características del montaje experimental. Se persigue lograr que el alumno sea un mejor observador y generar en este un espíritu indagador.

ABSTRACT

We propose the development of a series of low cost laboratory experiments, by using simple and easy to acquire elements, within the agenda of Optics 2nd Baccalaureate. The goal is to facilitate and complete the achievement of the curriculum content, revealing some usual methods in the scientific research activity simultaneously. Look for the complete understanding of the phenomena studied and the characteristics of the experimental setup. The aim is to train student a better observer and encourage an enquiring spirit.

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA FÍSICA

La física es una ciencia que estudia sistemáticamente los fenómenos naturales, tratando de encontrar las leyes básicas que los rigen.

La palabra física se deriva del vocablo griego *physos*, que significa naturaleza. Como todas las ciencias, ésta era inicialmente parte de la filosofía, es decir, formaba parte de la investigación dirigida a entender el mundo. La parte de esta disciplina que explora la condición humana se llama aún filosofía, pero aquella dedicada al estudio de la naturaleza, se bifurcó en varias ramas. Una de ellas es la física.

Las leyes físicas establecen relaciones matemáticas entre los elementos de un sistema físico y su carácter de verdad científica tiene rangos de validez que son determinados por la experiencia.

¿Por qué realizar un laboratorio?

Hay múltiples razones por las que se ha elegido la elaboración de un laboratorio como proyecto Fin de Master:

- En un primer lugar es extremadamente importante que el alumno entienda que la física no es una ciencia exacta, sus ideas no permanecen inalterables, sino que ofrece una explicación a los fenómenos de la naturaleza de la forma más sencilla y precisa posible, verificando sus conclusiones mediante diversos experimentos y buscando que estos puedan realizar predicciones futuras. Por tanto, es fundamental comprender que la experimentación es una parte primordial del estudio de la Física.
- Según Gisela Hernandez M. y Pilar Montagut B.*, los matriculados en las carreras del área científica han ido en constante disminución, observando en todos los niveles anteriores un fracaso escolar en la enseñanza de las tres asignaturas básicas de ciencias: Física, Química y Matemáticas. Existe un rechazo preocupante por parte del alumnado en estas materias. Es lógico considerar que uno de los factores que inciden en esta falta de interés es la forma de abordar el estudio de estas ciencias, sobrecargadas con material teórico y dando una importancia primordial a la resolución de problemas numéricos dejando en un último plano la observación de los fenómenos que es justamente la base del edificio de la Física.

- Personalmente considero que es imposible que se logren completamente los objetivos que persigue la enseñanza de las ciencias en general y de la Física en particular si no hay un acercamiento del alumno a la esencia de las ciencias: El fenómeno.
- Impone la necesidad de trabajo grupal, dando lugar a un aprendizaje cooperativo en el que se fomentan el desarrollo de habilidades comunicativas y sociales. Se refuerzan los ámbitos actitudinales del alumno.
- Por el entusiasmo y la satisfacción personal que puede provenir de entender y aprender acerca de la naturaleza.

¿Por qué elegir óptica?

Los fenómenos luminosos son tan familiares que desde la más remota antigüedad han preocupado al hombre. ¿Qué es la luz? ¿Cómo llega desde el sol hasta nosotros? ¿Cómo pasa por un medio transparente a otro? ¿Cómo es detectada por el ojo? ¿Por qué se produce el arco iris?... La ciencia ha ido a lo largo de siglos, elaborando teorías sobre la naturaleza de la luz que permitiera contestar estas preguntas, beneficiándose en este proceso otros campos científicos (Astronomía, Física Atómica, Biología...)

Por esta razón, pensamos que es interesante que los alumnos experimenten sencillos experimentos sobre la luz, que les permitirán comprender mejor los fenómenos luminosos que se estudian en la asignatura de Física de 2º Bachillerato

FUNDAMENTO TEÓRICO

Según el DECRETO 42/2008, de 5 de junio, por el que se establece el currículo de bachillerato en la Comunidad de Castilla y León, los contenidos dentro del apartado de óptica para el curso de 2º Bachillerato son:

- Controversia histórica sobre la naturaleza de la luz: modelos corpuscular y ondulatorio. Dependencia de la velocidad de la luz con el medio. Propagación de la luz: reflexión y refracción. Conceptos de absorción, difracción, interferencia y dispersión de la luz. Espectro visible.
- Óptica geométrica. Comprensión de la visión y formación de imágenes en espejos y lentes delgadas: estudio cualitativo. Pequeñas experiencias. Construcción de algún instrumento óptico (telescopio sencillo...).
- Aplicaciones médicas y tecnológicas.

Las prácticas que se plantean en este proyecto Fin de Máster contribuyen a la adquisición de los contenidos del primer punto.

Nacimiento de una ciencia: Breve historia del desarrollo de la óptica

Definimos la luz como el agente físico que nos permite la visión siendo la óptica la rama de la física que analiza las características y las propiedades de la luz, estudiando cómo se comporta y se manifiesta.

La luz ha intrigado a la humanidad durante siglos. Los filósofos naturales de la antigua Grecia propusieron algunas teorías ópticas en las que se confundía la luz con el fenómeno de la visión. Según decían los pitagóricos, la visión es causada por la proyección de imágenes lanzadas mediante pequeñísimas partículas (corpúsculos) desde los objetos hacia el ojo. En cambio, Euclides y los platónicos sostenían que la sensación visual se produce cuando los "haces oculares" enviados desde los ojos chocan con los objetos.

Newton fue uno de los grandes defensores de esta teoría corpuscular con la que explicó la reflexión y la refracción de la luz. En 1670 un contemporáneo suyo, el científico holandés Christian Huygens, consiguió explicar muchas de las propiedades de la luz al proponer que esta tenía características de ondas, aunque debido a la gran reputación y

autoridad de Newton, que rechazaba la naturaleza ondulatoria de la luz principalmente porque no podía explicar su observada propagación rectilínea, la teoría ondulatoria de la luz cayó en el olvido hasta que, en 1801 Thomas Young la rescató al demostrar que los haces de luz pueden interferir unos con otros.

En 1865 Maxwell publicó su teoría matemática del electromagnetismo que unificó la electricidad, el magnetismo y la óptica. En esta afirmaba que las ondas electromagnéticas se propagan con la rapidez de la luz sugiriendo, acertadamente, que este resultado no era accidental, sino que indicaba que la luz es una onda electromagnética. Para entonces, la teoría ondulatoria parecía estar asentada sobre bases muy firmes.

Sin embargo, a principios del siglo XX, Max Planck introdujo la idea de la cuantización de la radiación electromagnética, y Albert Einstein volvió a la teoría corpuscular de la luz a fin de explicar la radiación que emiten los objetos calientes y los electrones que emite un metal expuesto a la luz (el efecto fotoeléctrico).

Por tanto, la luz (y el resto de las ondas electromagnéticas) se comporta como una onda en todo lo referente a su propagación; sin embargo, lo hace como un haz de partículas (fotones) cuando interacciona con la materia.

Le cabe a Luis de Broglie la gloria de haber aunado ambas teorías al establecer, en 1924, que todo corpúsculo en movimiento lleva asociado una onda y que la intensidad de una onda en un punto, en un cierto instante, es la probabilidad de que el corpúsculo asociado esté en ese punto en el instante considerado, estableciendo así las bases de la mecánica cuántica desarrollada posteriormente.

Velocidad de propagación de la luz

Hasta finales del siglo XVII se aceptaba que la velocidad de propagación de la luz era infinita. El primer intento por medir la velocidad de la luz fue realizado por Galileo, pero el primer resultado satisfactorio lo obtuvo el astrónomo O.Romer en 1676. Mediante un método astronómico, observó que el tiempo transcurrido entre dos eclipses

consecutivos de uno de los satélites de Júpiter dependía de la posición en que se encontraban la Tierra y Júpiter (Figura 1).

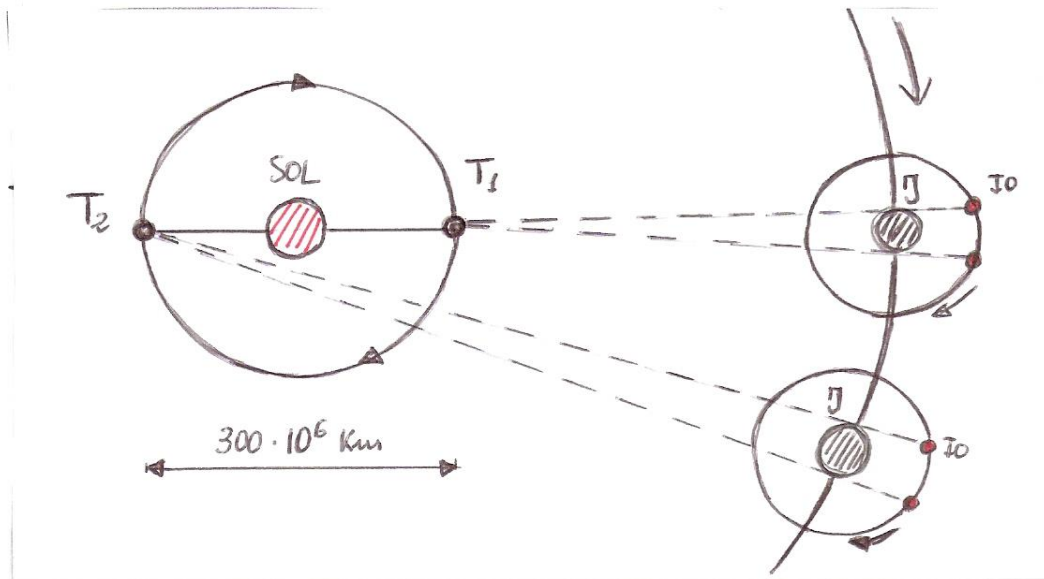


Figura 1: Fundamento del experimento de O.Romer.

El tiempo transcurrido entre estos dos eclipses consecutivos era aproximadamente 1300 segundos mayor cuando la tierra se encontraba en T₂ que cuando estaba en T₁ y sabiendo que el diámetro de la órbita de la Tierra es aproximadamente 300 millones de kilómetros, tenemos:

$$c = \frac{300000000 \text{ km}}{1300 \text{ s}} = 231\,000 \text{ Km/s}$$

No obtuvo un valor muy preciso debido a los instrumentos de medición de su época, pero descartó la idea errónea de que la velocidad de la luz era infinita.

Actualmente el valor aceptado para la velocidad de la luz en el vacío es:

$$c = 2,99792456 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Foucault determinó la velocidad de la luz a través de varios líquidos, entre ellos el agua, y averiguó que era bastante inferior a la que lleva en el aire, en concordancia con la teoría ondulatoria de Huygens sobre la naturaleza de la luz.

La velocidad de la luz depende del medio en el que se propague y es máxima en el vacío

Se define el índice de refracción absoluto (n) de un medio material a la relación entre la velocidad de la luz en el vacío, c , y la que tiene en dicho medio:

$$n = \frac{c}{v}$$

Como se cumple que $c > v$, los índices de refracción absolutos son siempre mayores que la unidad.

En el vacío la velocidad de la luz es la misma para todas las longitudes de onda, pero no ocurre lo mismo en los medios materiales transparentes. En efecto, en cualquier medio material la velocidad de la luz depende de la longitud de onda.

Teniendo en cuenta que la frecuencia de una luz determinada es la misma en cualquier medio (pues depende únicamente de la fuente), como $\lambda = v/f$, si cambia la velocidad es porque lo hace la longitud de onda.

Para comparar la velocidad de la luz en dos medios distintos, cuyos índices de refracción absolutos son n_1 y n_2 , se emplea el índice de refracción relativo del medio 2 respecto al 1, que se define como:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c/v_2}{c/v_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

De acuerdo con esta ecuación, los índices de refracción y las velocidades de la luz en dos medios distintos son inversamente proporcionales.

Se dice que un medio es más refringente que otro cuando su índice de refracción es mayor y, por consiguiente, la luz se propaga en ese medio a menor velocidad.

Reflexión de la luz

La reflexión de la luz es el cambio de dirección dentro del mismo medio que experimentan los rayos de luz al incidir sobre una superficie de separación de dos medios.

Experimentalmente se comprueban las leyes de Snell para la reflexión (Figura 2):

- El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran en el mismo plano.
- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

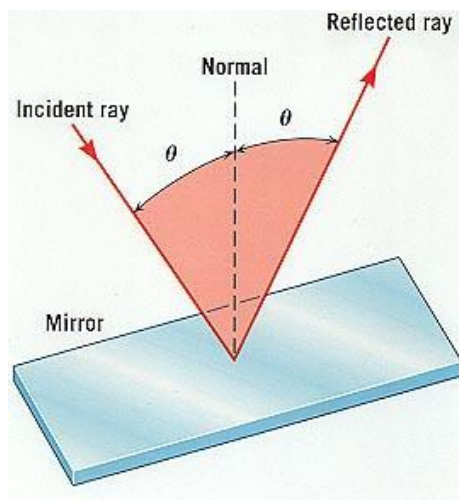


Figura 2: Reflexión de un rayo de luz.

La reflexión es dirigida (figura 3a) cuando los rayos paralelos que inciden en una superficie plana son también paralelos después de la reflexión. Se da cuando las rugosidades de la superficie reflectante son mucho menores que la longitud de onda. Un ejemplo de este tipo de reflexión es la que obtiene en un espejo.

La reflexión es difusa (figura 3b) cuando los rayos reflejados se dispersan en todas las direcciones. En las superficies mates, por ejemplo en el papel, al encontrar los rayos rugosidades (en ocasiones, imperceptibles para nosotros) son reflejados en todas las direcciones.

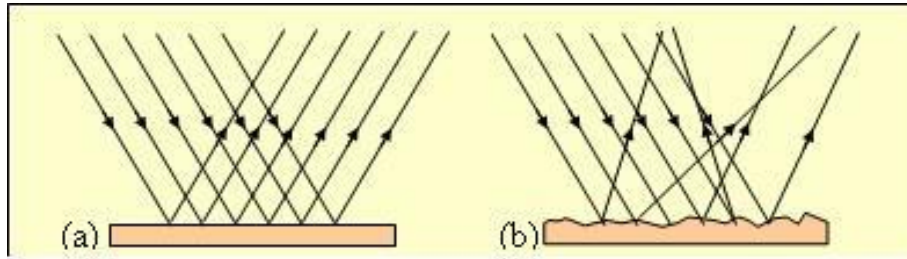


Figura 3: Reflexión dirigida (a) y difusa (b)

Refracción de la luz

La refracción es el cambio de velocidad que experimenta la luz al pasar de un medio a otro. Este cambio de velocidad se manifiesta por una variación en la dirección de propagación (figura 4), en todos los casos, excepto cuando el rayo incidente es normal a la superficie de separación de los medios. Este cambio depende del cociente entre las celeridades de los medios.

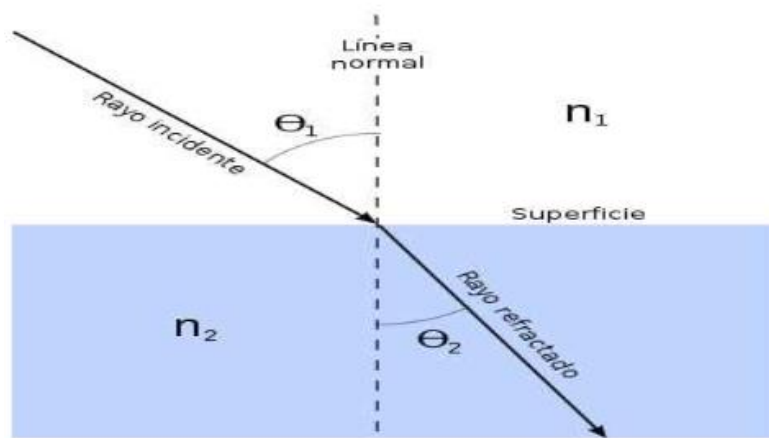


Figura 4: Refracción de la luz.

Experimentalmente se comprueban las leyes de Snell para la reflexión:

- El rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en el mismo plano.
- La relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es una constante característica de los dos medios.

$$\frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Cuando la luz pasa de un medio a otro con mayor índice de refracción, el rayo refractado se acercará a la normal. En el caso contrario (figura 5), cuando la luz pasa a un medio menos refrigente, el rayo refractado se aleja de la normal. En este último caso, habrá un ángulo de incidencia tal que le corresponda de un ángulo de refracción de 90° , al que llamaremos ángulo límite.

Para ángulos de incidencia mayores que el ángulo límite no se produce refracción sino que toda la luz se refleja. A este fenómeno se denomina reflexión total.

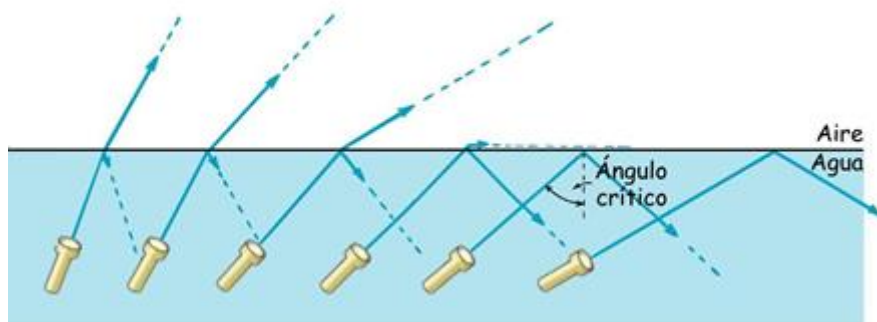


Figura 5: Ilustración del ángulo límite

Dispersión de la luz

Newton, en 1666, observó (figura 6) que cuando un rayo de luz natural (luz blanca) pasa a través de un prisma óptico se descompone en otros colores más simples; es decir, el prisma dispersa o separa los colores simples (o luces monocromáticas) que componen la luz blanca o cualquier otra luz compleja (policromática).



Figura 6: Descomposición de la luz blanca en colores.

La dispersión de la luz consiste en la separación de la luz en sus colores componentes debido a que las distintas radiaciones que componen una luz compleja se propagan con distintas velocidades en los distintos medios transparentes, y en consecuencia, experimentan un ángulo de refracción diferente.

Así, las distintas radiaciones que componen la luz blanca emergen separadas del prisma formando una sucesión continua de colores que denominamos espectro de la luz blanca.

Si realizáramos otra vez con el prisma el mismo proceso, pero a la inversa, es decir, haciendo pasar simultáneamente todos los haces de colores obtenido por la descomposición de la luz hacia atrás, al mezclarse de nuevo formarían otra vez un rayo de luz blanca.

Una superficie de un color determinado absorbe todas las frecuencias de aquella parte del espectro de luz blanca que no se corresponden con su color. Sin embargo, una superficie blanca la refleja toda, mientras que una negra las absorbe en su totalidad.

Interferencias de ondas luminosas

El término interferencia se refiere a toda situación en la que dos o más ondas se solapan en el espacio. Cuando esto ocurre, la onda total en cualquier punto y en todo momento está gobernada por el principio de superposición que dice: Cuando se traslapan dos o más ondas, el desplazamiento resultante en cualquier punto se halla sumando los desplazamientos instantáneos que producirían en el punto las ondas individuales si cada una estuviera presente sola. Se formará un patrón de interferencia consistente en una sucesión de franjas brillantes y oscuras debido, respectivamente, a la interacción de las ondas de manera constructiva y destructiva.

Las interferencias se presentan en todo tipo de ondas, sin embargo, son las ondas coherentes (aquellas cuya diferencia de fase es constante) las que presentan patrones de interferencia estables que permiten su estudio de forma simple.

Supongamos la superposición de dos ondas coherentes provenientes de los focos emisores F_1 y F_2 (figura 7) cuyas funciones de onda son respectivamente:

$$F_1 \rightarrow y_1(x, t)$$

$$F_2 \rightarrow y_2(x, t)$$

Sea el punto P donde se desea analizar el tipo de interferencia de estas dos ondas, según el principio de superposición, la onda que tiene lugar en P viene dado por la ecuación:

$$y = y_1(x_1, t) + y_2(x_2, t)$$

Donde x_1 y x_2 son, respectivamente, las distancias de los focos emisores F_1 y F_2 al punto considerado.

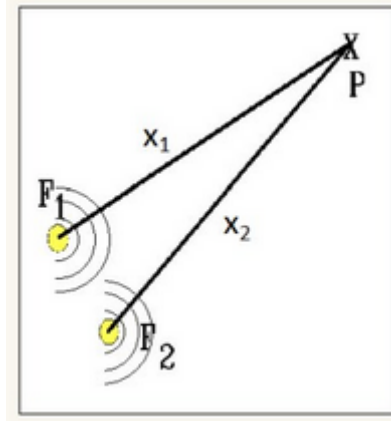


Figura 7

Las ecuaciones de las ondas emitidas por cada uno de los focos en el punto P son respectivamente:

$$y_1(x_1, t) = A \cdot \text{sen}(\omega t - kx_1)$$

$$y_2(x_2, t) = A \cdot \text{sen}(\omega t - kx_2)$$

Obsérvese que se han supuesto ondas de la misma amplitud, frecuencia y longitud de onda.

La onda resultante en el punto P viene dada por la expresión:

$$y = y_1(x_1, t) + y_2(x_2, t) = A[\text{sen}(\omega t - kx_1) + \text{sen}(\omega t - kx_2)]$$

Teniendo en cuenta la relación $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$,

obtenemos:

$$y = 2A \cdot \text{sen} \left(\omega t - k \frac{x_1 + x_2}{2} \right) \cos k \frac{x_2 - x_1}{2}$$

$$y = A_r \text{sen} \left(\omega t - k \frac{x_1 + x_2}{2} \right)$$

Siendo

$$A_r = 2A \cos k \frac{x_2 - x_1}{2}$$

La amplitud resultante de la nueva onda en el punto P.

La onda resultante parece provenir de una distancia d , semisuma de las distancias a ambos focos y cuya amplitud no es constante sino que va a variar según el punto del plano y las relaciones entre las distancias a los focos.

La interferencia será constructiva en los puntos del medio donde la amplitud resultante sea máxima, es decir:

$$\cos k \frac{x_2 - x_1}{2} = 1$$

$$k \frac{x_2 - x_1}{2} = \pi \left(\frac{x_2}{\lambda} - \frac{x_1}{\lambda} \right) = n\pi$$

Siendo $n = 0, 1, 2, \dots$

$$x_2 - x_1 = n\lambda$$

Resulta que para puntos separados una distancia igual a un número entero de longitudes de onda la interferencia es constructiva.

Haciendo un desarrollo análogo, tendremos interferencias destructivas en los puntos del medio donde la amplitud resultante sea mínima, es decir, donde:

$$\cos k \frac{x_2 - x_1}{2} = 0$$

$$k \frac{x_2 - x_1}{2} = \pi \left(\frac{x_2}{\lambda} - \frac{x_1}{\lambda} \right) = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$$

$$x_2 - x_1 = \left(n + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

Por tanto, si la distancia entre los puntos es un número entero de longitudes de onda, dado que la función seno es periódica (repitiéndose cuando avanza espacialmente λ), ambas ondas se encuentran exactamente igual y se produce una interacción constructiva. En cambio, si ha avanzado cierto número de λ más la mitad de una λ resulta que las ondas se encuentran en contra-fase, o bien que una es justo la opuesta de la otra y por tanto ambas se anulan simultáneamente.

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE LA LUZ: ¿CÓMO VE EL PEZ AL PESCADOR?

La propagación rectilínea de la luz era ya conocida por los griegos 300 años a. de C., quienes formularon teorías sobre las sombras y sobre la reflexión en los espejos y clasificaron los cuerpos en transparentes, translúcidos y opacos. Se le atribuye a Euclides observaciones geométricas tan importantes como la igualdad de los ángulos de incidencia y reflexión. También el fenómeno de la refracción llamó la atención de los griegos. Una contribución importante a su estudio se la debemos al astrónomo Claudio Tolomeo, quien en su *Libro quinto de óptica* informa de la construcción de un aparato para medir con exactitud los ángulos de incidencia y de refracción, si bien, no logró formular la ley de la refracción, que todavía Kepler, en el siglo XVII, buscaría en vano. Finalmente fue establecida por Snell hacia 1620 y publicada por Descartes en su *Discurso del Método* en 1637.

En este experimento se trabajarán estos conceptos de reflexión y refracción mediante un novedoso experimento: buscando el punto de vista del pez (figura 8). Se pretende observar lo que ve este, teniendo en cuenta que en su caso, los rayos de luz pasan de un medio a otro (del agua al aire) con menor índice de refracción, de modo que los rayos refractados se irán alejando de la normal hasta un ángulo de incidencia igual al ángulo límite a partir del cual solo se observará reflexión total.

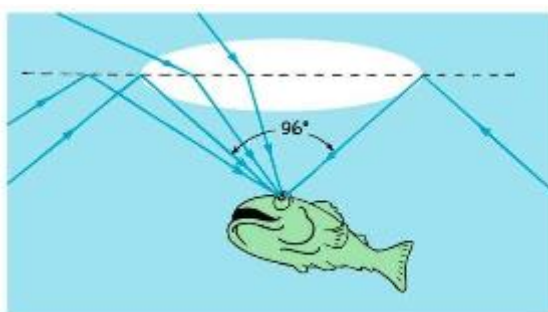


Figura 8

Para poder realizarlo correctamente, no podemos contar con una pecera y mirar desde debajo, es preciso “estar dentro del agua” pues si no, antes del cambio de medio agua-aire tendríamos otro de aire (nuestros ojos) – Agua (pecera) de forma que los rayos luminosos se desviarían dos veces.

Para solventar este problema se ha optado por realizar el siguiente montaje (figura 9):



Figura 9: Pecera modificada

Como observamos en la imagen superior, contamos con un recipiente de plástico en cuyo centro hemos colocado una semiesfera también de plástico de forma que, en este caso, al situar la cámara en el centro de esta, todos los rayos serán perpendiculares al dioptrio esférico y por tanto no serán desviados (el ángulo de incidencia es cero).

Material

- Pecera modificada como se ha explicado anteriormente.
- Cámara web o fotográfica
- Ordenador

Procedimiento

Se tratará de un experimento cualitativo en el que solo buscamos observar el fenómeno de la reflexión total, no buscamos la obtención de datos. Cada grupo de alumnos deberá colocar debajo de la pecera uno o varios folios dibujados con colores brillantes (para mejorar la visualización). Finalmente bastará con colocar la cámara web en el centro del dioptrio y realizar un video (o varias fotos) mostrando todos los ángulos posibles.

El resultado será el siguiente:

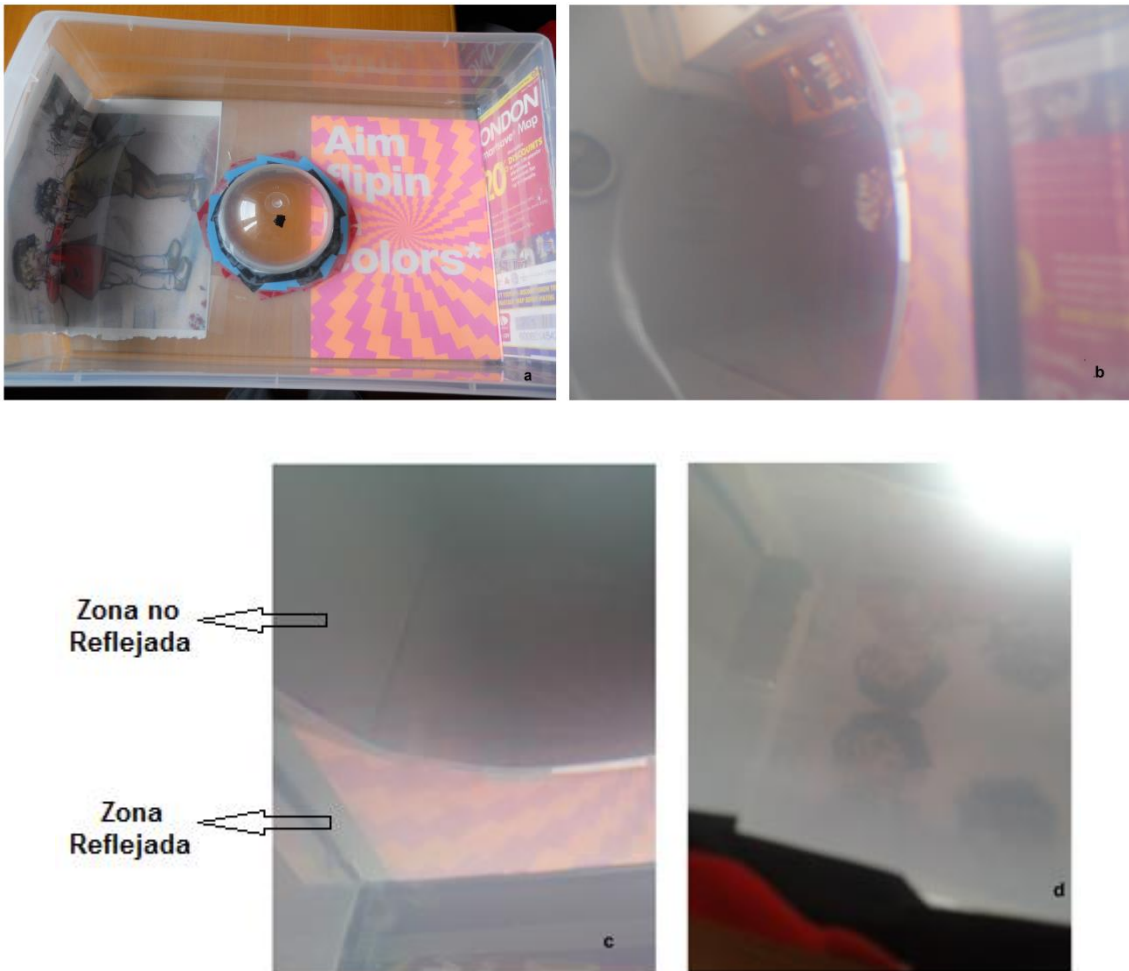


Figura 10: Experimento de reflexión total

En la imagen 10.a tenemos una imagen de la pecera aún sin agua a la que se le han colocado debajo y en los laterales distintos folios con dibujos para poder observar los fenómenos con mayor claridad.

En las imágenes 10.b, 10.c y 10.d se muestran ya los resultados al colocar la cámara bajo la semiesfera, es decir, la visión del pez. Se puede observar con claridad en las fotos 10.b y 10.c un fragmento de circunferencia que delimitan la zona en la que comienza la reflexión total. Finalmente en la figura 10.b podemos ver cómo están duplicadas las cabezas de los niños, debido al fenómeno de la reflexión.

DISPERSIÓN DE LA LUZ BLANCA EN COLORES

La dispersión de la luz blanca en colores ha tenido una considerable importancia en el desarrollo de la Física.

En este experimento se observará como la luz del sol al incidir sobre un prisma de vidrio y atravesarlo se dispersa en los diferentes colores del Arco Iris (figura 11). Newton ya interpretó este famoso hecho atribuyendo un índice de refracción distinto a cada color, por lo que al atravesar el prisma los colores se dispersan en direcciones diferentes. Ahora bien, el fenómeno tenía aún otras implicaciones, ya que si la luz blanca se dispersaba era porque estaba compuesta por un cierto número de colores puros, los 7 colores del Arco Iris a los que Newton denominó su espectro. Llevando este mismo razonamiento más allá, llegó a la conclusión de que si reunía de nuevo los colores dispersados por el prisma debía obtener luz blanca.

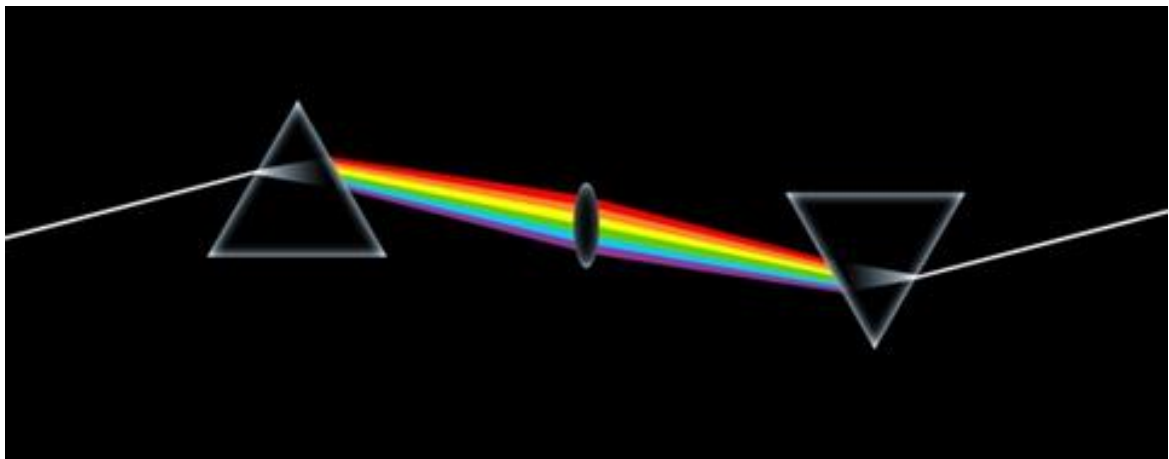


Figura 11: Descomposición y composición de la luz

Si bien este experimento, lejos de ser novedoso, ha sido uno de los más conocidos a lo largo de la historia de la óptica, resulta muy interesante de realizar, buscando que el alumno adquiera esta forma de actuar de Newton: experimentando, reflexionando sobre los resultados, elaborando teorías a partir de ellos, diseñando nuevos experimentos para verificarlas y discutiendo, a la luz de los resultados, la veracidad de las mismas. El propio Newton declara al principio de su libro *Óptica* (1704):

“En este libro no pretendo explicar mediante hipótesis las propiedades de la luz, sino representarlas y probarlas mediante la razón y los experimentos”

Material

- Prisma de vidrio
- Lupa
- Luz del sol o lámpara de protección

Procedimiento

Utilizamos como fuente de luz el sol si las condiciones meteorológicas lo permiten o una lámpara de proyección y como medio dispersor un prisma de vidrio lleno de agua.

Colocaremos el prisma de manera que los rayos del sol incidan sobre una de sus caras. A la entrada de este, todos los rayos del sol de los diferentes colores que componen la luz blanca tienen la misma dirección, pero a la salida, el ángulo será distinto para cada color, debido a que tienen distintos índices de refracción. Se consigue de este modo la descomposición de la luz blanca.

Para la segunda parte del experimento, la recomposición de la luz blanca a partir de la combinación de los colores de su espectro, utilizamos una lupa, que colocaremos a la salida del prisma, observando que para una determinada posición, la luz que llega a la pantalla es blanca. En ese lugar, la lente hace que todos los colores incidan sobre la pantalla en el mismo punto, o lo que es lo mismo, ha realizado la mezcla de los colores.

Construcción del prisma

Para la construcción de un prisma partimos de 3 placas de fotografía como las que se muestran en la figura 12. Estas se colocaron en forma de prisma ayudándonos de una goma elástica para su sujeción. Una vez dispuestas se unieron con pegamento térmico.

Finalmente las tres caras se adhieren a otra placa mayor que actúa como base (figura 13).



Figura 12: Placas para la construcción del prisma

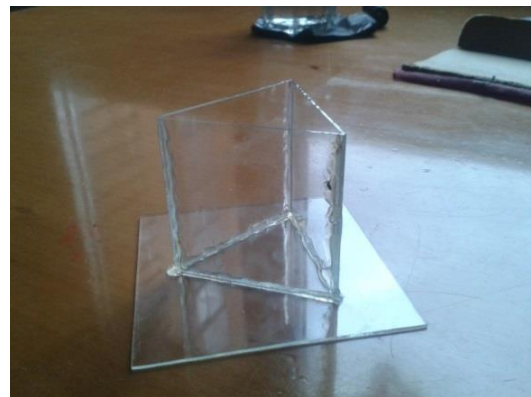


Figura 13: Prisma obtenido en el laboratorio

DIFRACCIÓN E INTERFERENCIA DE LA LUZ

Los fenómenos de difracción e interferencia han jugado un papel fundamental en el desarrollo de la física. Por una parte han estado en el centro de la discusión onda-partícula y por otra, han permitido determinar la talla de obstáculos de dimensión atómica, lo que ha conducido al conocimiento profundo de la estructura de la materia.

Esta experiencia consta de tres partes, en un primer lugar el alumno repetirá el famoso experimento de Young en el que observará un patrón de interferencia producido por la luz de un láser al pasar por dos pequeñas rendijas creadas a partir de hojas de afeitar. Posteriormente, se estudiará el espectro producido cuando la luz pasa por una única rendija (difracción de Fraunhofer) analizando las diferencias con el caso anterior y finalmente podrá contemplar como se produce el mismo patrón de interferencia cuando tenemos una rendija y cuando situamos un objeto delgado en el camino de la luz, calculando en este último caso, el grosor de un pelo a partir de los conocimientos sobre interferencias.

Material

- Dos hojas de cúter.
- Celofán
- Láser
- Pelo
- Cinta métrica
- Portaobjetos de microscopio
- Mechero

Interferencia de dos rendijas (Experimento de Young)

Thomas Young confirmó el modelo ondulatorio de la luz mediante un experimento para lograr interferencias luminosas en 1801.

El experimento consiste en una fuente de luz monocromática F que ilumina una pantalla A que contiene dos rendijas R_1 y R_2 (figura 14). Las rendijas actúan como focos emisores y las ondas producidas que emergen de éstas son coherentes, ya que proceden de la misma fuente luminosa.

Las ondas interfieren produciendo un patrón de interferencia en la pantalla B donde se aprecian una serie de franjas brillantes y oscuras paralelas.

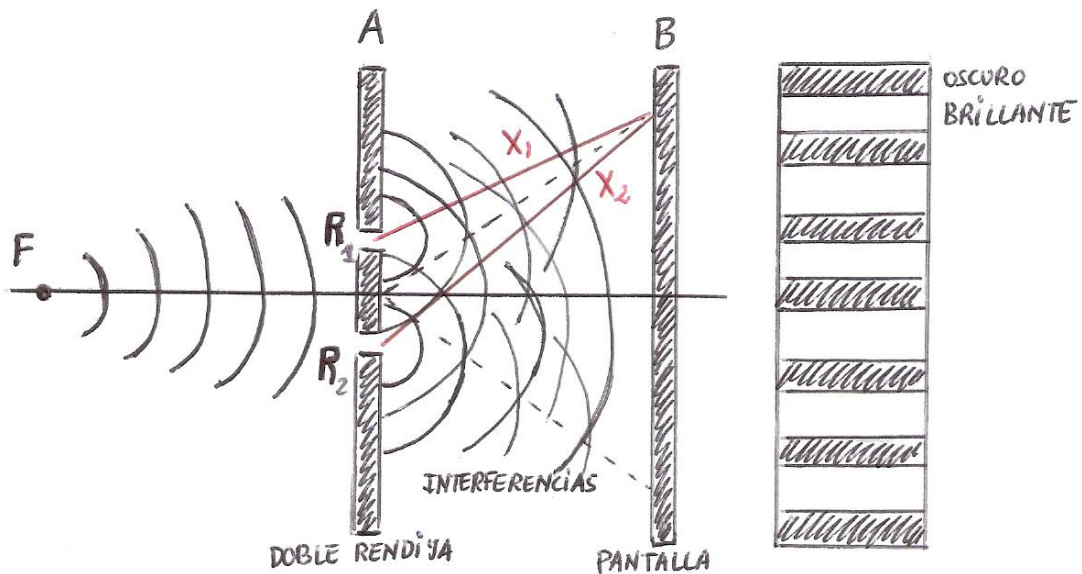


Figura 14: Experimento de la doble rendija

Las franjas brillantes se deben a la interferencia constructiva de las ondas por haber alcanzado la pantalla B en fase. En este caso, se cumple:

$$x_2 - x_1 = n \lambda \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Las franjas oscuras se deben a la interferencia destructiva de las ondas que alcanzan la pantalla B en oposición de fase. En este caso, se cumple:

$$x_2 - x_1 = (2n + 1) \lambda / 2 \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Si se observan las franjas de interferencia en una pantalla situada a una distancia mucho mayor que la de la separación de sus rendijas, podemos comprobar, a partir de la figura 15, la siguiente relación:

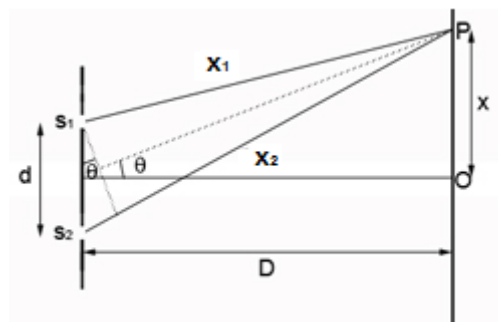


Figura 15: Interferencia de las ondas \$X_1\$ y \$X_2\$ en el punto P

$$x_2 - x_1 = d \operatorname{sen} \theta$$

$$D \gg d \longrightarrow \operatorname{sen} \theta \approx \operatorname{tg} \theta = \frac{x}{D}$$

Obteniendo interferencias constructivas cuando:

$$\frac{d \cdot x}{D} = n \lambda$$

Con lo que conociendo la longitud de onda de la luz aplicada, podemos calcular la distancia d entre las rendijas

Las interferencias destructivas se darán en los casos en los que:

$$\frac{d \cdot x}{D} = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Procedimiento

Cada grupo de alumnos construirá en un primer momento la doble rendija a partir de un portaobjetos de microscopio sobre el que se depositará hollín (basta para ello con “quemar” el portaobjetos hasta que adquiera color negro). A partir de dos hojas de cúter (figura 16.a) se realizarán dos líneas paralelas haciéndolas incidir sobre el portaobjetos (figura 16.b/16.c)

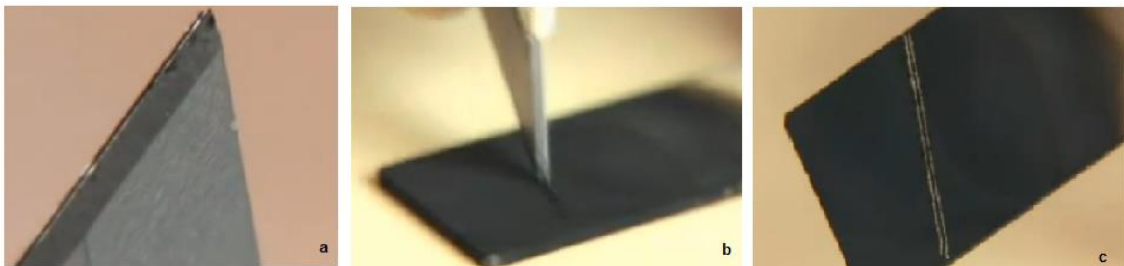


Figura 16

Una vez construida la doble rendija se hace incidir sobre esta luz láser observando en una pantalla blanca (una pared) la figura de interferencia formada. Es importante que la sala se encuentre lo más oscura posible y que las dos ranuras se encuentren a una gran distancia de la pantalla (alrededor de 4 metros)

Se estudiará la relación que existe entre x y D (figura17) construyendo una gráfica y calculando a partir de la pendiente de esta la separación d que se realizó con las dos cuchillas.

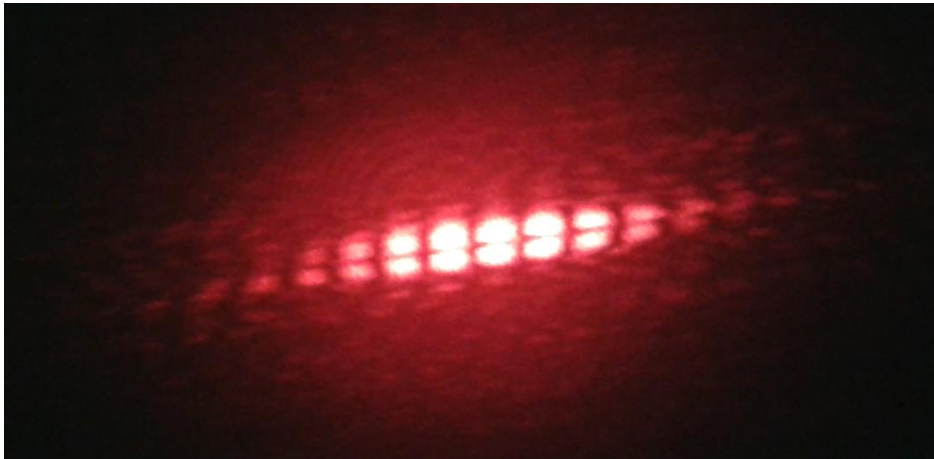
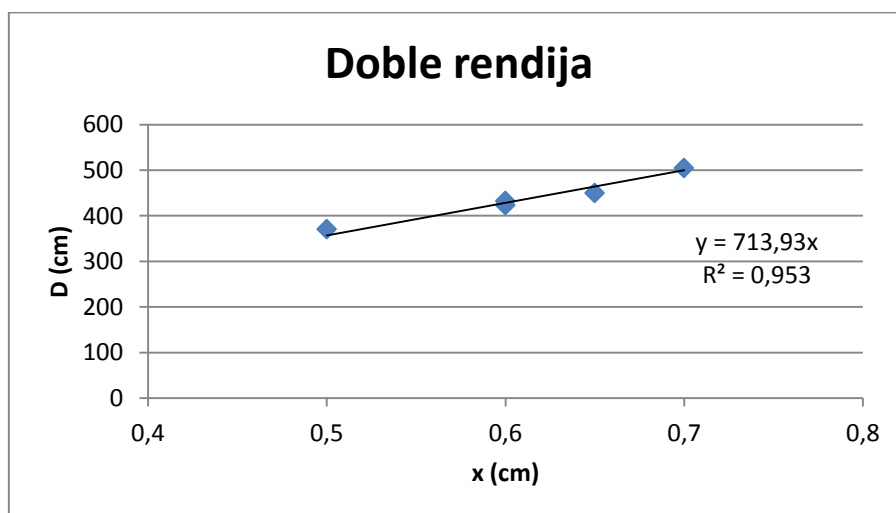


Figura 17: Resultado de la interferencia de luz láser sobre una doble rendija.

Los resultados que se obtuvieron en el laboratorio se muestran a continuación:

x (cm)	D(cm)
0,5	370,5
0,6	423,1
0,6	432,1
0,65	450,15
0,7	504,3



Obteniendo una separación entre las rendijas realizadas de 0.46mm , teniendo en cuenta que se ha usado una luz láser cuya longitud de onda es de 650nm .

Difracción por una rendija (Difracción de Fraunhofer)

La difracción es el fenómeno que se produce cuando cualquier onda alcanza un obstáculo o abertura de dimensiones comparables a su longitud de onda que se manifiesta en forma de perturbaciones en la propagación de la onda. Supone una contradicción a la idea preconcebida de que la luz se propaga en línea recta.

De acuerdo con la óptica geométrica al hacer incidir una radiación de luz láser (monocromática) sobre una rendija se observará en la pantalla una zona de la misma dimensión y forma que la rendija. Sin embargo, lo que se observa es un patrón de difracción (figura 18). Esto se fundamenta en el principio físico de Huygens que dice que todo punto alcanzado por una onda se comporta como emisor de ondas secundarias. Es decir, cada uno de los puntos de la rendija va a actuar como un emisor secundario y el patrón de difracción observado no es más que la superposición de las ondas provenientes de todas esas fuentes secundarias.

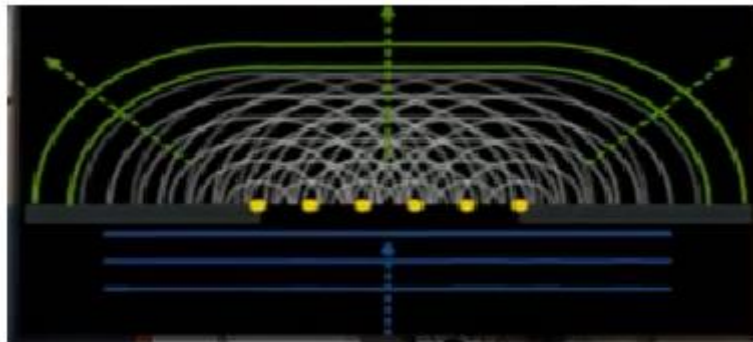


Figura 18: Fenómeno de difracción

Procedimiento

Cada grupo de alumnos hará incidir luz láser sobre una rendija. Como rendija usaremos el mismo procedimiento que antes utilizando, lógicamente, una única hoja.

Si hacemos incidir luz láser sobre la rendija observaremos un espectro de difracción que estará constituido por una franja luminosa central, rodeada a derecha e izquierda de máximos y mínimos de intensidad. Cuanto más estrecha es la rendija mayor es la separación entre máximos y mínimos.

El resultado que se obtuvo en el laboratorio siguiendo el proceso indicado fue el siguiente:

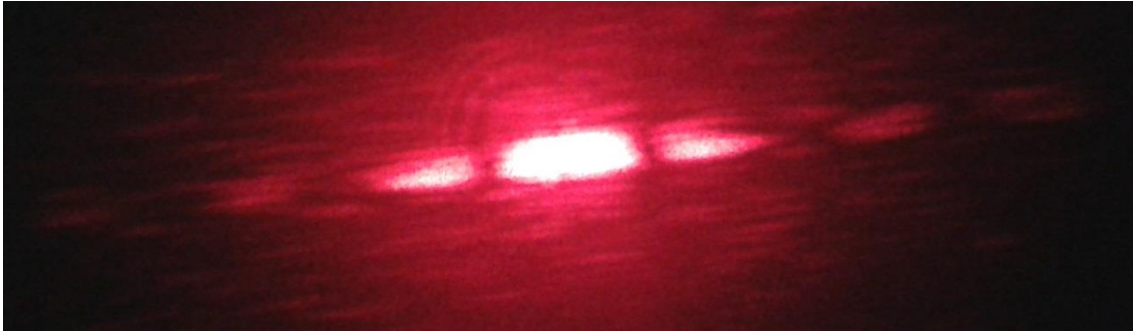


Figura 19: Interferencia a través de una rendija.

Determinación del grosor de un pelo

Ya hemos dicho que cuando un haz de luz monocromática incide en una ranura estrecha, se obtiene un patrón de interferencia de luz, proyectado sobre una pantalla situada a una distancia de la rendija.

Pues bien, al situar un objeto delgado en el camino del haz de luz, se va a producir el mismo patrón de difracción que el de la rendija. Por tanto, para calcular el grosor del pelo tan sólo tenemos que utilizar la ya conocida ecuación:

$$d = \frac{n \cdot \lambda \cdot D}{x}$$

Donde recordemos que:

- d es el grosor del obstáculo, en nuestro caso el cabello.
- λ es la longitud de onda del láser (indicado en el propio láser). Los punteros láser rojos tienen 650nm y los verdes 532nm.
- D es la distancia entre el pelo y la pantalla donde observas el patrón (ponlo a algo alejado, como 2 metros. Ojo, depende del tipo de láser empleado)
- x es la distancia entre el primer máximo y el centro de la franja luminosa central de nuestro patrón de interferencia.
- n es el orden de los máximos, en nuestro caso tomamos $n=1$.

Procedimiento

Se colocará un pelo en el camino del haz de la luz láser calculando su grosor a partir de su espectro de difracción.

Los resultados obtenidos en el laboratorio han sido:



Figura 20: Difracción de un pelo.

Sustituyendo en la ecuación anterior los siguientes datos:

- $D = 454.4 \text{ cm}$
- $x = 2.7 \text{ cm}$
- $n = 1$
- $\lambda = 650 \text{ nm}$

Obtenemos un valor para el grosor de un pelo de:

$$d = 3.68 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0.0369 \text{ mm}$$

Comentario general de la difracción

Resulta importante resaltar a los alumnos que utilizando unidades de distancia de la escala humana accedemos a determinar distancias mucho menores gracias a la difracción. Con la luz podemos determinar distancias del orden de la micra; con la difracción de electrones distancias del orden de 50 nm; con la difracción de rayos X distancias interatómicas...

ANÁLISIS DE GASTOS

Práctica 1: Reflexión y refracción de la luz	Gastos por grupo	Gastos n grupos
Pecera modificada		
Taper	2,00 €	2,00·n €
Semiesfera de plástico	1,00 €	1,00·n €
Silicona	0,75 €	0,75·n €
Cinta adhesiva	1,00 €	1,00·n €
*Cámara	-	-
*Ordenador	-	-
Total	6,00 €	6,00 ·n €
Práctica 2: Dispersión de la luz blanca en colores		
Construcción del prisma		
Láminas de cristal (caja 100 unidades)	3,00 €	3,00 €
Pegamento térmico	2,00 €	2,00 €
Lupa	0,75 €	0,75·n €
**Lámpara de proyección	12,37 €	12,37 €
Total	18,12 €	17,37+0,75·n €
Práctica 3: Fenómenos de interferencia		
Láser	2,05 €	2,05·n €
Portaobjetos (caja de 100 unidades)	3,98 €	3,98 €
Hojas de cúter (6 unidades)	1,50 €	1,50·3 €
Vela (10 unidades)	1,00 €	1,00 €
Mechero	1,00 €	1,00 €
Cinta métrica	1,00 €	1,00·n €
Total	9,03 €	10,98+3.05·n €
Presupuesto total	33,15 €	28,35+9.8·n €

*No contabilizamos los gastos del ordenador y la cámara, puesto que cualquier colegio cuenta con ordenadores como material de trabajo y cualquier tipo de cámara web es suficiente y si el colegio no contara ya con ellas valdría con la de cualquier móvil.

**Se trata de un gasto prescindible, la luz solar a través de una pequeña abertura produciría mejores resultados, pero necesitaríamos un día soleado.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Todos los alumnos conocerán las normas de seguridad y de comportamiento que se exigen para la correcta realización de las prácticas. Estas son:

- Está terminantemente prohibido fumar o consumir alimentos o bebidas en el laboratorio.
- Usar solo el equipo asignado, el estudiante será responsable del mismo. Operar de manera correcta el equipo del laboratorio para evitar poner en riesgo la seguridad propia o la de terceros.
- No debe mirar nunca directamente el haz que sale de los láseres de este laboratorio porque le producirán un daño irreversible en la retina.
- Por la misma razón no coloque nada en el camino del láser que pueda producir un reflejo especular que dirija el haz láser hacia su ojo o el de un compañero. Atención a las puntas de los bolígrafos y portaminas, anillos y relojes.*
- Las fuentes de luz suelen ser fuentes de calor. No las toque por riesgo de quemadura.
- Nunca toque las superficies útiles de los instrumentos ópticos, lentes, espejos, prismas, etc. Por superficie útil se entiende aquella por la que pasa la luz. Al tocarlas depositamos inevitablemente sobre ellas partículas y grasa que pueden hacer que pierdan sus propiedades.
- El laboratorio es un área para el aprendizaje y conocimiento, por tanto el alumno debe permanecer en el lugar asignado y utilizar un tono de voz moderado.
- No correr, jugar o lanzar objetos dentro del laboratorio.
- No colocar ningún tipo de objeto sobre los equipos.
- Dejar el área asignada en orden y limpia.
- No conectar ningún equipo si los conocimientos técnicos no están claros. Preguntar antes al profesor.
- El ordenador será utilizado únicamente con los fines planteados en las prácticas.
- En caso de cualquier accidente, avisar inmediatamente al profesor.

OBJETIVOS QUE SE PRETENDEN LOGRAR EN EL ALUMNADO

Con la realización de estas prácticas se pretende que los estudiantes alcancen los objetivos generales siguientes:

- Valoración del proceso histórico que llevó a la determinación de la naturaleza de la luz como ejemplo del método científico.
- Conocer las teorías más destacadas que históricamente se han ido formulando sobre la naturaleza de la luz.
- Apreciación de la necesidad de otorgar una doble naturaleza a la luz debido a que en unos aspectos se comporta como onda y, en otros, como partícula.
- Explicar las propiedades de la luz utilizando los diversos modelos e interpretar correctamente los fenómenos relacionados con la interacción de la luz y la materia.
- Comprender los conceptos de reflexión, refracción, índice de refracción, ángulo límite y reflexión total.
- Reconocer los efectos de la difracción producida por una rendija y sus resultados.
- Reconocer los efectos de las interferencias, el experimento de Young para observarlas y sus resultados.
- Utilizar correctamente las unidades, así como los procedimientos apropiados para la resolución de problemas.
- Familiarizarse con el diseño y realización de experimentos físicos, utilizando el instrumental básico de laboratorio, de acuerdo con las normas de seguridad de las instalaciones.
- Desarrollar en los alumnos las habilidades de pensamiento prácticas y manipuladoras propias del método científico, de modo que les capaciten para llevar a cabo un trabajo investigador.
- Experimentar curiosidad. Generar un consciente indagador.
- Entender la ciencia como proceso.
- Adquirir habilidades tecnológicas.
- Reconocimiento de la utilidad de las leyes de la física para interpretar los fenómenos de nuestro entorno.

EVALUACIÓN

Se plantea una evaluación del alumnado regida por el principio formativo, donde lo fundamental no es sólo valorar el nivel de adquisición de conceptos por los alumnos sino también su desarrollo intelectual, valorando su trabajo personal, su actitud, creatividad, capacidad para resolver problemas nuevas, capacidad de trabajo en equipo, iniciativa, capacidad de búsqueda de información por distintos medios, etc.

Por este motivo se propone que la evaluación competa los siguientes puntos:

1. Presentación de los informes de prácticas

Cada alumno deberá de entregar al finalizar las prácticas un informe de laboratorio en el que especifique todo lo realizado en la ejecución de las prácticas y las diversas cuestiones que plantee el profesor. Se valorará teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Indica y explica todos los objetivos de la práctica de laboratorio.
- b. Describe e ilustra los conceptos teóricos en que se basa la práctica de laboratorio.
- c. Los procedimientos a seguir en la práctica de laboratorio son descritos y enumerados en forma clara y precisa.
- d. Describe todos los equipos e instrumentos y materiales utilizados en la práctica de laboratorio con claridad y precisión.
- e. Presenta los datos obtenidos en forma ordenada (tablas numeradas y utilización correcta de las unidades en el SI). Todos los datos obtenidos tienen alguna indicación y observación.
- f. Presenta las ecuaciones utilizadas, gráficas y resultados del modelo físico obtenido.
- g. Describe en forma concreta y precisa todas las observaciones obtenidas en la práctica de laboratorio.
- h. Utiliza correctamente el lenguaje científico.

2. Análisis de las actividades experimentales.

Se tendrá en cuenta el manejo correcto de los aparatos utilizados, rigor en las observaciones, utilización eficaz del tiempo disponible, limpieza, orden y seguridad en su área de trabajo.

Así mismo se valorará mediante preguntas cortas durante la realización de la práctica el conocimiento de los alumnos.

3. Comportamiento

Se analizará durante las prácticas el interés mostrado por los alumnos, su grado de participación, la capacidad de trabajar en grupo (coordinación entre sus miembros, reparto de roles y tareas, comunicación entre los compañeros, colaboración...) así como la actitud del alumno ante la materia, el profesor y el grupo de iguales.

CONCLUSIONES

En este documento se ha visto la creación de una serie de prácticas de laboratorio de óptica a partir del uso de materiales cotidianos enfocados a alumnos de 2º Bachillerato. A continuación se exponen las conclusiones que he obtenido durante la realización de este trabajo Fin de Máster.

- Se pueden hacer prácticas muy interesantes con materiales tan mínimamente costosos que cualquier tipo de colegio puede permitírselo. No sería necesario si quiera tener una sala de laboratorio, cabría la posibilidad de realizar todo lo planteado en este trabajo en el aula, aunque lógicamente con ciertas modificaciones.
- Considero que la realización de prácticas de laboratorio es fundamental para la comprensión de las materias de ámbito científico, pues es la experimentación la base de estas. Permitirá a su vez, la interiorización del método científico.
- Como ya adelantamos antes, la física no es una ciencia exacta, sino que sus leyes están condicionadas por la veracidad de sus resultados al aplicarlos en la naturaleza. Cualquier teoría es descartada sino se ajusta a las pruebas experimentales.
- La visualización de los contenidos teóricos vistos en clase ayudará a la mejor comprensión de estos por parte del alumnado.
- Se incrementará el interés del alumno en la asignatura.
- Debemos tener en cuenta que la realización de prácticas no es un sustitutivo completo para la enseñanza, ni un nuevo método de aprendizaje, sino una herramienta que puede y debe combinarse con las distintas clases del curso.
- Siempre pensé que el planteamiento de un laboratorio exigía un trabajo menor, sin embargo, me he dado cuenta de lo costoso que puede resultar. He consultado numerosos libros en los que se planteaba prácticas de distintos tipos que aunque tenían un planteamiento teórico correcto, no son sencillas de comprobar experimentalmente en contradicción con lo que los autores escribían.

BIBLIOGRAFÍA

- Jesus Lahera Claramonte *Aprendiendo Física Básica en el laboratorio*. Editorial CCS. ISBN:978-84-9842-112-5
- Sears.Zemansky Young.Freedman *Física Universitaria Volumen 2*. ISBN:970-26-0512-1
- Paul A.Tipler *Física preuniversitaria. Volumen 2*. Editorial: REVERTÉ, S.A
- Manuel Yuste Llandres. Carmen Carreras Béjar. *Experimentos caseros para un curso de Física General Cuadernos de la UNED*. ISBN:84-362-2994-0
- Ángel Peña. Jose Antonio García *Física 2º. Bachillerato*. Editorial: Mc Graw Hill. ISBN: 84-481-2194-5
- Páginas web:
 - www.iesfrancescgil.org/fisicaiquimica/fisica.bachillerato/Tema3.doc
 - <http://www.macmillan.es/>
 - <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/OptGeometrica/historia/Historia.htm>
 - <http://ocw.usal.es/humanidades/historia-de-la-ciencia/contenidos/H. C. T. IV 3 parte.pdf>
 - http://multiblog.educacion.navarra.es/lcordonm/files/2013/04/T4-%C3%93ptica_1.pdf
 - <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/optica/lt4/data/ordenamiento/NormasSeguridadMantenimiento.pdf>
 - <http://www.esritoscientificos.es/apunfisi/inicio.htm>
 - <http://metodos.fam.cie.uva.es/~imartin/noticias/libros/fisica/node17.html>