

BREVE INTRODUCCIÓN A LA RADIACIÓN DE CHERENKOV

Edición 1.2

ACADEMIA DE ESGRIMA LÁSER

Autor:

Sr. Luis Francisco Roldán Fraile
Graduado en historia del arte
Instructor en la disciplina de la Esgrima Láser
Karui de la Academia de Esgrima Láser

A la luz y con la aprobación de:

D. Marcelino J. Miguel Castro
Maestro en la disciplina de la Esgrima Láser
Kigen de la Academia de Esgrima Láser

Linares, 2024

Queda terminantemente prohibida la copia y reproducción parcial o total del contenido de este volumen, sin consentimiento expreso del Kigen de la Academia de Esgrima Láser.

Si el permiso de difusión o copia de este libro fuese concedido, se habrá de nombrar este volumen como fuente, así como los autores del mismo.

"Academia de Esgrima Láser" es una marca registrada, sujeta a las normas de la propiedad intelectual de España, 2024. Queda prohibido el uso de estos términos para la descripción, publicidad o fines comerciales de entidades terceras, sin permiso expreso del Kigen de la Academia de Esgrima Láser.

ACADEMIA DE ESGRIMA LÁSER - MAESTRO MARCELINO MIGUEL. 2024. ©
(TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS)

NRA: AELMM20241110001

Introducción y justificación

Este escrito nace de la necesidad de contestar a una pregunta en torno al funcionamiento de la herramienta utilizada en la disciplina marcial de la Esgrima Láser, el arma láser, en este caso concreto, el daito. Sin embargo, la respuesta a la pregunta es aplicable a cualquier tipología de arma láser, dado que el comportamiento de las hojas desde el punto de vista figurado en esas distintas tipologías, viene a ser la misma.

Así pues, la pregunta que surgió fue la siguiente: ¿existe la posibilidad de realizar un encordado, teniendo en cuenta la naturaleza figurada de las armas? Evidentemente, es esta una pregunta cuya respuesta parece obvia, dada la importancia clave de la agregación, el encordado o la línea en cruz, por ejemplo, en esta disciplina. Y teniendo en cuenta que la disciplina se ha desarrollado observando el funcionamiento teórico de un arma láser en la realidad, con una explicación científica alejada de la ficcional de su universo de origen, la pregunta estaba respondida: sí, era posible.

Esto me hizo caer en la cuenta de que lo que realmente quería saber no era si era posible, sino por qué era posible, por qué las hojas de un arma láser, en su naturaleza figurada, pueden mantener la agregación sin que haya ningún efecto adicional asociado, como puede ser un trabado de las hojas, o un posible traspaso entre ellas. Ante esta duda, relacionada directamente con una obra en desarrollo por parte del Iniciado Rodrigo Tudela, pregunté al Maestro Marcelino Miguel. Recordaba que en una clase que tuvo lugar hace unos tres años, aproximadamente, el Maestro me había explicado el fundamento científico de la naturaleza figurada del arma. Pero ya no lo recordaba con exactitud. Sí que tenía presente el efecto devastador de una hoja que sublima todo aquello con lo que entra en contacto, y cómo este axioma daba origen a los fenómenos de la oclusión y de Damocles.

El Maestro, amablemente, respondió a mi pregunta. Para ser lo más preciso posible en cuanto al contenido de la conversación, lo ideal es transcribir la misma (una vez se cuenta con el permiso del interlocutor, por supuesto):

- Iniciado Luis Francisco Roldán:

“Buenos días, Maestro. Me ha venido a la cabeza una duda respecto a las líneas en cruz, encordados, redondos y, en fin, cualquier acción u obra con el arma que suponga el tránsito de la hoja agente por la paciente manteniendo en todo momento, o lo máximo posible la agregación.

Y la duda, para la que seguramente tiene respuesta, está relacionada con por qué se pueden hacer, pero no desde el punto de vista geométrico, biomecánico, etc., sino más bien, y puedo equivocarme con esta consideración, desde el punto de vista físico si, y esto es lo importante, tomamos la composición y comportamientos hipotéticos de la hoja según la aplicación de la ciencia (un filamento con materia que cae sobre sí misma, que libera una gran energía cuando entra en contacto con materiales determinados, que sublima al contacto, etc.).

La pregunta es: según esta naturaleza de un arma láser teórica surgida de la ciencia, ¿es posible realizar el tránsito de la hoja agente por la paciente?

¿O la naturaleza de ambas hojas, de alguna manera, lo impediría al haber un encuentro de materia cayendo constantemente sobre sí misma?

Lo que se puede resumir en: ¿por qué se puede realizar el tránsito de la hoja agente por la paciente, o viceversa, manteniendo la agregación, teniendo en cuenta las características teóricas que un arma láser real tendría?”

- Maestro Marcelino Miguel:

“(Aviso importante: Más allá de los aspectos que ya se tienen en cuenta, la naturaleza figurada del arma, desde el punto físico, continúa en desarrollo. Pese a ello, tenemos fijado cómo se comportan dos hojas agregadas.)”

Cuando se genera la agregación, la interacción entre las hojas da lugar a que estas se sientan sólidas, dado que es tan grande la densidad de la masa que conforma la hoja que a efectos prácticos es sólida e impenetrable por otra hoja.

En conclusión:

Las hojas son haces de materia incandescente que es atraída por un filamento infinitesimalmente delgado. Esta materia se agrupa instantáneamente alrededor del filamento, compactándose y calentándose, conformando un cuerpo con el comportamiento de un sólido, permitiendo la agregación de las hojas.”

La respuesta resolvió mi duda, pero consideré oportuno compartirla con los compañeros de la Academia, puesto que, a fin de cuentas, el funcionamiento figurado del arma es un concepto básico para entender el por qué de los mencionados fenómenos de la oclusión y Damocles, al igual que otros aspectos, como el respeto al arma, o el uso del saya, entre otras cuestiones. Ante esta petición de compartir la respuesta, y la pregunta que había originado la misma, el Maestro se ofreció a desarrollar en mayor medida la información ofrecida, con un documento que prestamente me envió, y que yo compartí con los compañeros acompañado del contexto del que el mismo había surgido.

Fue dicho texto el que originó la curiosidad por uno de los conceptos que en el mismo se presentaba y que, a su vez, daba respuesta a otro interrogante que había surgido en algunas charlas con los compañeros, tras las sesiones del Grupo de Estudio Halley: ¿por qué las hojas son de color azul, desde aprendiz a Furasshu? ¿Y por qué los restantes colores que se pueden otorgar, una vez alcanzado el grado de Furasshu, tienen siempre una parte de azul? Extrayendo un breve fragmento del documento elaborado por el Maestro:

*“[...] Parte de la masa, al caer al filamento, tiene lo que se llama “exceso de momento”, que provoca que una parte muy pequeña de ella salga expulsada en forma de fotones, a mayor velocidad de la que el aire es capaz de soportar, generándose con ello una radiación azul en torno al haz. Esto se llama **radiación de Cherenkov**, y es la explicación física figurada de por qué las hojas siempre tienen un matiz azul, pese a ser la portada por un Maestro. [...]” (MIGUEL CASTRO, 2023).*

He aquí el concepto que me ha llamado la atención, y que es el causante de esta pequeña investigación, dirigida únicamente a presentar brevemente este fenómeno, la Radiación de Cherenkov, dentro de las posibilidades de comprensión de este Karui, entonces Iniciado, limitadas por su conocimiento en el campo de la Física. Sin embargo, es precisamente esta limitación de conocimientos lo que hace necesario esta pequeña investigación, ya que una de las metas de la disciplina de la Esgrima Láser es iluminar, no solo a los demás, sino a uno mismo.

Y qué mejor manera de iluminar el autoconocimiento, que indagando en la luz del arma láser, y conociendo los aspectos más básicos de uno de los fenómenos asociados al fulgor de las hojas de las armas láser, en su naturaleza figurada.

Reseña biográfica de Pavel Alexeyevich Cherenkov (1904-1990)

Para poder explicar qué es la radiación de Cherenkov, y su importancia para la disciplina laserina, es necesario saber el por qué del nombre de este fenómeno. Resulta meridianamente claro que Cherenkov va a ser una persona ligada al descubrimiento, o al estudio, de esta radiación. Es así que lo primero que se debe hacer, por agradecimiento con aquel que dio luz al concepto, y por aclarar lo más posible el concepto objeto de estudio, es explicar, brevemente, quién era Pavel Alexeyevich Cherenkov (1904-1990), de aquí en adelante, Cherenkov.

La mejor reseña de la vida de este científico, viene recogida en el obituario publicado por *Physics Today* en 1992, cuyo autor es Alexander E. Chudakov, titulado, simplemente, *Pavel Alexeyevich Cherenkov*. Tanto en este punto, como en el siguiente, se traduce dicho obituario, pues ofrece amplia información sobre la vida de Cherenkov, así como de los usos del fenómeno al que otorgó su nombre. Así pues, Cherenkov nació el 28 de julio de 1904 en la ciudad de Voronezh, al oeste de la actual Rusia y cerca de la frontera con Ucrania. Se formó y graduó en la Universidad de Voronezh, concretamente en el Departamento de Física y Matemáticas, en 1928. Hasta 1930 trabajó de profesor en un instituto, mudándose en el citado año a Leningrado (actual San Petersburgo), enrolándose en el Instituto de Física y matemáticas de la Academia de Ciencias de la URSS, como un estudiante de posgrado.

En 1932 comenzó la investigación, tutelado por Sergei I. Vavilov, en luminiscencia activada por rayos gamma en diferentes líquidos. Poco después, el Departamento de Física del Instituto, del que Vavilov era el jefe, fue transformado en un nuevo instituto (el Instituto de Física P. N. Lebedev), y trasladado a Moscú. A pesar de que por entonces era solo una pequeña institución de investigación, ya había conseguido atraer a varios investigadores de Física brillantes. La actividad investigadora de Cherenkov, y su carrera científica, estuvieron fuertemente conectadas con la historia de este Instituto, al que dedicó el resto de sus 56 años de vida.

Los primeros cinco años de investigación de Cherenkov, bajo la supervisión de Vavilov, tuvieron su culmen con el descubrimiento del fenómeno objeto de este trabajo, y que recibió su nombre, la Radiación de Cherenkov, así como su interpretación por Ilya M. Frank e Igor Y. Tamm (CHUDAKOV, 1992, p. 106). La tutela de Vavilov no se limitaba a una simple guía del trabajo de Cherenkov, sino que fue su asesor doctoral, reflejándose el éxito de dicho asesoramiento, y del llevado a cabo por Cherenkov, con su doctorado en Ciencias Físico-Matemáticas en 1940 (S. A., 12 de agosto de 2024). Posteriormente, en 1946, Cherenkov unió fuerzas con Vladimir I. Veksler para construir aceleradores de electrones, primero el betatron, y luego el sincrotron 250-MeV (CHUDAKOV, 1992, p. 106). Este último se convirtió en la herramienta básica, durante más de una década, del Laboratorio Photo-Meson del Instituto Lebedev, que Cherenkov encabezó desde 1959, hasta su muerte.

El estudio de las interacciones electromagnéticas de las partículas se convirtió en su ocupación principal. En la década de los setenta mejoró las instalaciones del Laboratorio, dirigiendo la construcción de un nuevo sincrotron 1.2-GeV. El laboratorio de Cherenkov colaboró exitosamente con muchos centros de investigación de interacciones electromagnéticas de alta energía, entre los que destacan el Dubna, el Serpukhov, el CERN, o el DESY. En el momento de su fallecimiento, el 6 de enero de 1990, Cherenkov era el jefe del Departamento de Física de Alta Energía del Instituto de Física P. N. Lebedev de la Academia de Ciencias de la URSS. (CHUDAKOV, 1992, p. 107).

Como bien reza el obituario, redactado por Alexander E. Chudakov (en aquel momento, miembro de la Academia Rusia de Ciencias), la carrera científica de Cherenkov podría ser descrita con mayor detalle, pero vale la pena centrarse, de aquí en adelante, en aquello que hizo a Cherenkov, junto con Tamm y Frank, merecedor del Premio Nobel de Física en 1958: el fenómeno de la Radiación de Cherenkov.

Descubrimiento de la Radiación de Cherenkov, e impacto posterior

Es probable que el fenómeno de la radiación de Cherenkov, no hubiera podido ser descubierto antes de la década de 1930, y por otro que no fuera el propio Cherenkov, según la opinión del autor del obituario. Para determinar la naturaleza de la tenue luz azul que se producía en diferentes líquidos, por medio de rayos gamma emitidos desde una fuente radioactiva, parecía requerir a un joven de un área rural, inexperto, pero con una gran paciencia y fuerza de voluntad.

Le llevó un largo tiempo tanto a Cherenkov, como a sus colegas, los brillantes físicos Frank y Tamm, encontrar la explicación correcta al fenómeno. Cherenkov tuvo la suerte de llevar a cabo sus dificultosos experimentos en el Instituto Lebedev, debido a su atmósfera creativa y a la actitud favorable de sus integrantes. Cherenkov fue animado constantemente por Vavilov, quien reconoció que el fenómeno bajo investigación no era simple luminiscencia, sino un nuevo efecto que merecía ser desarrollado mediante un estudio profundo. Frank participó con entusiasmo en algunos experimentos, y aportó bastantes ideas, incluyendo la analogía entre el efecto de Cherenkov y una onda de choque acústica, enfatizando que el electrón se debería mover a través de la materia con una velocidad mayor a la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en la misma materia.

Sin embargo, la mayoría de los compañeros de profesión de Cherenkov no mostraron un interés particular en los resultados de su investigación. Del mismo modo, que nadie se acordaba del cálculo llevado a cabo en 1905 por Arnold Sommerfeld de la pérdida de energía de un electrón cuya velocidad excede la velocidad de la luz, o la gran intuición de Oliver Heaviside, que predijo el efecto de Cherenkov en 1888. Incluso un físico tan distinguido como Leonid I. Mandelstam no mostró demasiado interés en los resultados obtenidos por Cherenkov, estando muy seguro de que un electrón que se mueve a velocidad constante, no podía emitir radiación.

Únicamente el descubrimiento de la asimetría de la radiación por Cherenkov, realizado (en parte por casualidad) en 1936 tras bastantes años de intensa experimentación, les aseguró a él y a sus compañeros de investigación de la realidad del fenómeno, y les dio la clave para entenderlo. El ángulo formado entre la trayectoria del electrón y la luz emitida por el mismo, estaba en concordancia con el principio de Huygens (CHUDAKOV, 1992, p. 107). El principio de Huygens dicta que todo punto de un frente de ondas es a su vez una fuente de ondas esféricas, y las ondas secundarias que surgen de puntos diferentes interfieren constructivamente entre ellas. Es decir, la suma de estas ondas secundarias, se convierte en el nuevo frente de onda (BOSCH, S. F.). Las ondas secundarias se extienden en todas las direcciones con la misma velocidad, frecuencia y longitud de onda que el frente de onda del que proceden, (S. A., 6 de junio de 2023). Finalmente, en 1937 Tamm desarrolló una teoría, basada en electrodinámica clásica, que predijo de manera exacta los datos experimentales en el ángulo e intensidad de la Radiación de Cherenkov (CHUDAKOV, 1992, p. 107).

Pero la aceptación del fenómeno no fue sencilla. A mediados de 1937, el editor de la revista *Nature*, rehusó publicar un artículo de Cherenkov, titulado *Radiación Visible Producida por Electrones Moviéndose en un Medio con Velocidades que Exceden la de la Luz*. Más tarde, en el mismo 1937, *Physical Review* publicó el artículo, y rápidamente, el fenómeno fue confirmado, y aceptado (CHUDAKOV, 1992, p. 107). Cabe destacar que el tutor y maestro de Cherenkov,

Segei Vavilov, se rehusó a aparecer como coautor del artículo mencionado, dejando a Cherenkov como único autor, y siendo por tanto este quien se llevara el reconocimiento (GANFORNINA ANDRADES, 2017, p. 5). Por su parte, Frank y Tamm desarrollaron la fórmula que actualmente lleva sus nombres (IBÍDEM, p. 4).

Aún en el mismo año de 1937, Cherenkov observó la posibilidad del uso de este fenómeno para medir la velocidad de las partículas con cargas relativas. Esta posibilidad fue materializada mucho después, con la mejora de la técnica de registro de los débiles destellos de luz, usando fotomultiplicadores o intensificadores de imagen.

La técnica Cherenkov es una de las principales herramientas para distinguir partículas de diferentes masas en los experimentos con aceleradores. El momentum de la partícula es medido mediante su deflexión magnética y velocidad (CHUDAKOV, 1992, p. 107), (la deflexión es la desviación de la dirección de un fluido o una corriente. S. A., S. F. 1), usando el ángulo o la intensidad de la luz de Cherenkov. La técnica de medición de la radiación de Cherenkov en gases, funciona en energías de más de 100 GeV (CHUDAKOV, 1992, p. 107). Ev es electronvoltio, una unidad de energía que representa la variación de energía que experimenta un electrón, cuando la diferencia de potencial del campo eléctrico es de 1 voltio. (S. A., 30 de mayo de 2024). G, hace referencia a Giga, por lo que se estaría hablando de 100 Gigaelectronvoltios, es decir, un billón de electronvoltios, multiplicados por cien.

Otra aplicación ampliamente usada es el calorímetro de Cherenkov, o el espectrómetro de total absorción. Todo el campo de la astronomía de rayos gamma, e importantes experimentos subterráneos, particularmente aquellos enfocados en la detección de neutrinos de fuentes naturales, se basan en gran medida en esta técnica. Los detectores de Cherenkov son también parte habitual de aparatos satelitales o globos dedicados al estudio de rayos cósmicos primarios. Pero la importancia de la Radiación de Cherenkov no está exclusivamente ligada con sus extensas aplicaciones prácticas en experimentos de Física de alta energía. Es igualmente reseñable por su naturaleza general universal. Ha sido, quizás, el último gran fenómeno básico de la electrodinámica clásica que quedaba por descubrir (tomando como contexto el año de 1992, cuando se escribieron estas palabras). ¿Cómo reaccionó Cherenkov a la tremenda, y tardía resonancia, en la aplicación de su descubrimiento? Siempre modesto, intentaba con la mayor escrupulosidad posible no parecer envuelto en el desarrollo de las aplicaciones anteriormente mencionadas, simplemente por su contribución al descubrimiento del fenómeno. Incluso evitó usar la técnica de Cherenkov en sus propios experimentos.

Cuando el Premio Nobel de Física fue otorgado en 1958 a Cherenkov, Frank, y Tamm, no fue Cherenkov, sino Tamm quien le pidió al autor del obituario que se está traduciendo ahora mismo, Alexander E. Chudakov, para ponerle al corriente de los últimos avances en la técnica de Cherenkov. Limitando su propia contribución a la década de 1930, Cherenkov, al mismo tiempo, enfatizó siempre el rol crucial de su tutor, y maestro, Vavilov, así como de sus compañeros Frank y Tamm, en el descubrimiento.

No en balde, cuando se considera el desarrollo de la técnica de Cherenkov en la física experimental, se puede imaginar a un joven entusiasta, que por muchos años comenzaba su día de trabajo con una hora en una sala en total oscuridad, preparando sus ojos para la observación de luz tenue, y que escrupulosamente repetía las observaciones, una y otra vez, variando los líquidos y la geometría del experimento, tratando de encontrar la clave de la naturaleza de la desconcertante radiación que, ahora, lleva su nombre (CHUDAKOV, 1992, p. 107).

Qué es la Radiación de Cherenkov:

Definición científica

A pesar de haber descrito ampliamente, gracias al obituario redactado en 1992 por Alexander E. Chudakov, la historia del descubrimiento e impacto posterior del fenómeno de la Radiación de Cherenkov, se necesita establecer la relación de dicho fenómeno con la disciplina marcial de la Esgrima Láser. Y aunque ya se ha citado brevemente en la introducción de este escrito, vale la pena desarrollar lo que se podría considerar la “definición científica” del fenómeno, ya que ello mostrará, con total claridad, la relación existente entre el mismo y la Esgrima Láser.

Para ello, se puede recurrir a diversas fuentes. Cada una de ellas presentará las características generales del fenómeno en mayor o menor profundidad, o harán más hincapié en unas características específicas que en otras. Debido a esto, resulta interesante hacer una consulta de algunas fuentes sobre la definición de este fenómeno, buscando que sean de distinta extensión y profundidad, para así abarcar aspectos que se le pueden escapar a este que escribe, y que está comenzando a indagar en la disciplina adyacente de la Física.

Dicho esto, se ha decidido presentar tres definiciones del fenómeno. La primera de una fuente general, es decir, de todos los campos de conocimiento e investigación, como es Wikipedia. La segunda de una institución como la IAEA (*International Atomic Energy Agency*, Organismo Internacional de Energía Atómica), encargada de “*promover la utilización de las tecnologías nucleares con fines pacíficos y en condiciones de seguridad tecnológica y física*” (S. A., S. F. 2). Y la tercera, de una institución especializada en la investigación en el campo de la Física, el Observatorio Pierre Auger de Argentina. Esta última servirá, además, como síntesis de las dos anteriores.

Así pues, según Wikipedia:

“La radiación de Cherenkov [...] es una radiación de tipo electromagnético producida por el paso de partículas cargadas eléctricamente en un determinado medio a velocidades superiores a la velocidad de fase de la luz en ese medio. La velocidad de la luz depende del medio, y alcanza su valor máximo en el vacío. El valor de la velocidad de la luz en el vacío no puede superarse, pero sí en un medio en el que ésta es forzosamente inferior. [...]

La radiación Cherenkov es un tipo de onda de choque que produce el brillo azulado característico de los reactores nucleares. Este es un fenómeno similar al de la generación de una onda de choque cuando se supera la velocidad del sonido. En ese caso los frentes de onda esféricos se superponen y forman uno solo con forma cónica. Debido a que la luz también es una onda, en este caso electromagnética, puede producir los mismos efectos si su velocidad es superada. Y esto, como ya se ha dicho, solo puede ocurrir cuando las partículas cargadas que viajan en un medio distinto del vacío, lo hacen a velocidades superiores a la de los fotones en dicho medio.

La radiación Cherenkov sólo se produce si la partícula que atraviesa el medio está cargada eléctricamente, como por ejemplo, un protón. Para que se produzca radiación Cherenkov el medio debe ser un dieléctrico. Es decir; debe estar formado por átomos o moléculas capaces de verse afectados por un campo eléctrico. Por tanto, un

protón viajando a través de un medio hecho de neutrones, por ejemplo, no emitiría radiación Cherenkov. [...]" (S. A., 16 de marzo de 2024).

Por otra parte, el Organismo Internacional de Energía Atómica (por sus siglas en inglés, IAEA), define la radiación de Cherenkov como:

“Un tipo de energía visible para el ojo humano. Se percibe como un brillo azul que se produce cuando las partículas con carga eléctrica que componen los átomos (electrones y protones) superan la velocidad de la luz en determinados medios. [...]"

Si bien es cierto que no es posible superar la velocidad de la luz en el vacío, en otros medios algunas partículas sí pueden lograrlo. Por ejemplo, en el agua, la luz se desacelera de inmediato y solo alcanza el 75 % de su velocidad habitual, mientras que otras partículas no sufren una ralentización tan pronunciada y terminan superando a la luz. Cuando esto ocurre se produce un brillo azul o violeta. [...]"

Cuando las partículas con carga superan la velocidad de la luz en un medio como el agua, perturban el equilibrio energético de los átomos que se cruzan en su camino. En un intento por estabilizarse, los átomos emiten “fotones” (partículas de luz), lo que crea una onda de choque que percibimos como un brillo azul. Se trata de un fenómeno similar a la onda de choque que escuchamos cuando un objeto supera la velocidad del sonido.

Los diferentes colores que percibe el ojo humano son diferentes tipos de ondas compuestas por fotones. Debido a las intensas energías presentes durante la radiación Cherenkov, los fotones viajan en ondas de alta frecuencia y corta longitud, típicas de los colores violeta y azul. Cuanto más elevada sea la frecuencia y más corta sea la longitud de onda, el color azul o violeta será más intenso para el ojo humano. [...]" (LIU, 5 de octubre de 2022).

Finalmente, el Observatorio Pierre Auger hace una síntesis de las dos definiciones anteriores, llegando a la conclusión de que:

“La Radiación Cherenkoves la luz emitida por un medio transparente cuando partículas cargadas lo cruzan a una velocidad mayor a la de la luz en ese medio. El efecto [...] es análogo a la creación de una explosión de sonido cuando un objeto excede la velocidad del sonido en ese medio. La luz se emite solamente en direcciones con inclinaciones en ciertos ángulos respecto de la dirección del movimiento de la partícula y de su momento (energía). Entonces, simplemente midiendo el ángulo entre la radiación (luz) y la trayectoria de la partícula, se puede determinar la velocidad de la misma. [...]" (S. A., S. F. 3).

Como se puede observar, las tres definiciones mencionan la luz azulada asociada al fenómeno de la Radiación de Cherenkov, cuya importancia en la disciplina de la Esgrima Láser se tratará a continuación, y que ya es mencionada en *El Libro del Furasshu* (MIGUEL CASTRO, 2019).

Cabe mencionar también la curiosidad de que dos de las tres definiciones escogidas utilizan la propagación del sonido como analogía para facilitar la explicación del fenómeno de la

Radiación de Cherenkov, debido a las similitudes existentes entre ambos conceptos. Esta analogía es utilizada también en el siguiente vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=a9fZzOAMLVI>, MONTFERRER, 12 de febrero de 2020), proporcionado por el Iniciado Rodrigo Tudela, que resulta clarificador para aquel que aún tenga dudas en torno a las bases de este fenómeno.

Importancia de la Radiación de Cherenkov en la Esgrima Láser

Quedaba expuesto en el punto anterior que, en *El Libro del Furasshu*, ya se menciona a la Radiación de Cherenkov. Y del mismo modo, se alude a una característica de la Radiación de Cherenkov que, a todos aquellos que practican la disciplina de la Esgrima Láser, les recuerda al arma usada en dicha disciplina: la emisión de una luz azulada, tal como la que presentan las hojas de los Aprendices, Iniciados, Karui, y Furasshu. Cabe señalar que, el uso del azul por el Furasshu, puede deberse tanto a que su Maestro le haya proporcionado, como color personal, una tonalidad concreta de azul, como a que, habiéndosele otorgado uno distinto, decida retornar al mismo como muestra de respeto al encontrarse ante la presencia de un Maestro de la disciplina.

Hecha esta breve aclaración, se presenta a continuación lo que *El Libro del Furasshu* recoge acerca de la Radiación de Cherenkov, y su significación dentro de la disciplina de la Esgrima Láser:

“El arma láser genera un hipotético efecto relativista de masa a lo largo de la extensión distal de la hoja. A esto se une una emisión estimulada de radiación electromagnética de longitudes de onda de entre 400 y 750 nanómetros, o sea, dentro del espectro de la luz visible, para facilitar la localización del haz por parte del portador.

El efecto masa actúa generando un campo gravitacional sobre el que se curva la trayectoria, inicialmente rectilínea, de los fotones emitidos por el emisor. En este proceso se produce el control y la limitación en extensión sobre el haz de luz láser, y con ello se le otorga al portador la posibilidad de esgrimir dicha hoja. Gracias a dicha emisión, y sus efectos sobre el peso del arma, también se crea un centro de masas que dota al conjunto hoja-guarnición, de un equilibrio coherente.

La liberación de los fotones acelerados por el haz, junto a la Radiación de Cherenkov producida por la emisión de luz en el tránsito de estos por el aire, dan como resultado lo que llamamos de forma figurada y literal, fulgor.

El color del fulgor de la hoja viene determinado por la longitud de onda emitida dentro del haz, sumado al tono que adquiera la Radiación de Cherenkov según las partículas dieléctricas contextuales. Es por eso, que las hojas de un Furasshu siempre tienen un matiz azul como base, al menos de forma sutil, siendo las hojas verdes, de Maestro, las que por su calidad constructiva dejan escapar menos fotones acelerados, y con ello evitan el tono azulado que impone la Radiación de Cherenkov” (MIGUEL CASTRO, 2020, P. 15).

Vista la información recogida en *El Libro del Furasshu*, podemos sacar una serie de conclusiones acerca de la misma, en relación con la Radiación de Cherenkov, en distintas vertientes. Pero antes de reflexionar sobre las mismas, se debe comenzar comentando que habrá

que dejar de lado los efectos que una hoja de las características del arma láser pueda ejercer en su usuario, con su simple disposición en el medio. Su elevada temperatura, y el hecho de que emita radiación, no son precisamente aspectos que animen al uso del arma en su naturaleza figurada, algo que a su vez apoya el uso del arma como último recurso, y el estudio de la misma para no tener que hacer uso de ella.

Dicho esto, se puede tratar el tema que, seguramente, más llamará la atención a los integrantes de la Academia de Esgrima Láser, como es el del color de la hoja del arma. Cabe mencionar que en *El Libro del Furasshu*, el Maestro Marcelino Miguel ya hace una exposición sobre el tema, por lo que aquí se va a desarrollar brevemente el por qué del verde de la hoja del Maestro, y el azul de la de los alumnos, incluido el grado de Furasshu.

Como se puede observar en las palabras del Maestro Marcelino Miguel, el color verde de la hoja, figuradamente, resulta de una mejor calidad constructiva del arma. O lo que es lo mismo, de la aplicación de los conocimientos de un diestro laserino que ha logrado el grado de Maestro. Por tanto, resulta igualmente lógico que los alumnos porten el color azul, pues aún no sabrían cómo hacer para matizar la radiación lumínica de su arma.

Además, indagando en los posibles simbolismos de estos colores, resulta evidente que ambos se adaptan bien a aquello que están representando, según el aosematismo cromático y el condicionamiento fisiológico generado en el individuo expuesto a ciertas longitudes de onda.

Por un lado el Maestro, con el color verde, vendría a transmitir calma, serenidad, cierta quietud relacionada con la tranquilidad y el conocimiento. Por su parte, el color azul transmite dinamismo, sensación de movimiento, algo que se encuentra en desarrollo. Haciendo un símil simple, pero que puede ayudar a clarificar esto, el verde del Maestro se puede ver en aquellos elementos de la naturaleza que se mantienen inmóviles, como la vegetación, mientras que el azul puede observarse en el cielo, por el que constantemente hay movimiento de aves o nubes. Incluso podríamos pensar en el mismo agua de los ríos, mares u océanos, en constante movimiento. Es decir, el color verde del Maestro señala su carácter como elemento seguro, sólido y base del crecimiento de los alumnos, mientras que el azul de los alumnos señala el crecimiento y esa necesidad de un apoyo para ayudarse a crecer debido, al dinamismo propio del proceso de aprendizaje y de la aplicación del conocimiento resultante, sin una amplia experiencia que respalde dicho proceso y la aplicación de sus resultados.

Sin embargo, esta breve teorización, por interesante que pueda resultar, se aleja del tema de este escrito, por lo que podría ser conveniente tratarlo aparte. Es por ello que se debe regresar al tema principal, pensando en otros aspectos en los que la Radiación de Cherenkov afecte a la disciplina de la Esgrima Láser. Y teniendo en cuenta su carácter como radiación lumínica, y el contexto en que se suele hacer uso del arma láser para la práctica, la noche, se debe tratar la relación que va a existir entre la Radiación de Cherenkov y el tirador durante el desarrollo del asalto.

Al tirar de noche, sin una luz ambiental que supere la radiación lumínica de las arma, resulta notable la molestia visual que puede llegar a causar la luz azulada de las hojas de las armas láser, molestia que tiene un origen puramente biológico en el tirador. Podemos observar las siguientes palabras del Maestro Marcelino Miguel, en las que se refiere al color rojo, pero en las que, a la vez, desvela claves acerca de la relación del color azul de la hoja con la vista del tirador:

“ [...] La fovea es la parte de la retina donde más se concentran los receptores cromáticos. No obstante, la distribución de estos receptores no es regular, como tampoco lo es la sensibilidad de los mismos. Concretamente los receptores cromáticos propios del color rojo, tienen una sensibilidad menor a captar el movimiento y los

detalles, cualidades propias de los conos destinados al color azul. Sin embargo, cuando una córnea está adaptada a entornos de escasa luminosidad, el color rojo no incide negativamente en dicha adaptación, permitiendo iluminar sin perder visión acentuada con escasa luminosidad. [...] Eso hace que, en entornos de escasa luminosidad ambiental, el tono rojo en la hoja le resulte una ventaja a un opositor que porte una hoja azul. El que tiene una hoja roja, no le estará entorpeciendo al que posea la hoja azul. Sin embargo, el que posea la hoja azul le dificultará la visión al de la hoja roja. [...]".

El Maestro menciona que los conos azules son los que tienen una mayor capacidad para captar el movimiento y los detalles, así como que en un teórico asalto entre dos tiradores, uno con hoja roja, y otro con hoja azul, será el segundo el que le cause cierta molestia visual al primero.

Teniendo esto en cuenta, se puede llegar a la conclusión de por qué el color azul de la hoja resulta molesto al tirador en entornos con luz escasa, como puede ser la noche cerrada, o una iluminación general mínima. Gracias al color azul, la vista del tirador va a poder seguir tanto su propia hoja como la paciente de una forma más eficiente pero, del mismo modo, dicha mejora en la eficiencia del seguimiento produce una saturación debido al fulgor de las hojas de las armas. Dicha saturación visual, que va en aumento conforme más tiempo se expone el tirador a dicho fulgor, pero sin llegar a ocasionarle daños en la visión o impedirle la misma, es lo que acaba causando la molestia en el tirador, creando ghosting y otras molestias especialmente marcada en entornos de completa oscuridad.

GHOSTING. [Ghosting]: Efecto de rastro persistente que se produce en la retina de un tirador, al ser deslumbrada por la trazada de una hoja en un entorno de poca luminosidad ambiental. (MIGUEL CASTRO, 2020, P. 170).

Y si ya resulta visualmente complicado tirar en entornos de oscuridad, se debe añadir ahora un condicionante, como es el de portar máscara, en el caso de llevar a cabo un sparring pesado, o un duelo. Se podría pensar que la rejilla propia de la máscara podría tamizar el fulgor, y hacer este menos molesto al tirador. Sin embargo, la rejilla supone igualmente una dificultad añadida al tirador, ya que a la vez que tamiza la luz, produce un efecto llamado SDE, que empeora hasta cierto punto la capacidad visual. Usando de ejemplo a este que escribe, cuando se porta la máscara llevando gafas (dirigidas a corregir la miopía y el astigmatismo), la sensación que se obtiene es la de volver a presentar leves indicios de miopía, pues la forma de la rejilla distorsiona muy levemente aquello dentro del campo visual.

SDE. [SDE]: Efecto que hace que la rejilla de la máscara aparezca como un elemento opaco al ser iluminada por la luz emitida por las hojas, dificultando la visión del usuario en un entorno de poca iluminación ambiental. (MIGUEL CASTRO, 2020, P. 170).

Si se supone la situación de su sparring pesado, en el que se porta máscara, en un entorno en una oscuridad casi o prácticamente completa, en el que las hojas de las armas son de color azul, el fulgor combinado de las hojas agente y paciente impedirá observar al oponente, que se fundirá con las sombras. Solo se podrá conocer su posición por la hoja de su arma, mientras que su disposición anatómica será conocida en cuanto mayor grado de conocimiento posea cada tirador, de acuerdo a lo que puedan extraer de las obras o acciones que se lleven a cabo. Por supuesto, el contexto espacial en el que se desarrolla el asalto puede permitir vislumbrar al opositor en un momento determinado, pero el desarrollo general de dicho asalto será el anteriormente mencionado.

Ahora, hay que imaginar esa situación usando máscara sin portar gafas que corrijan los problemas de vista, o bien bajo la lluvia, con la dificultad añadida que supondrán las gotas de agua resbalando por la rejilla de la máscara, y refractando la luz a su paso.

Teniendo en cuenta estas cuestiones, cabe preguntarse por qué el Maestro Marcelino Miguel decidió el uso de estos colores para las hojas de las armas láser. Y lo cierto es que las razones para ello están entroncadas con los aspectos fundamentales de la disciplina de la Esgrima Láser.

Por una parte, como ya se ha comentado, el objetivo de la Esgrima Láser es que el usuario obtenga todo el conocimiento posible de la disciplina laserina, y las disciplinas adyacentes, con el fin de que gracias al estudio del arma, dicho arma no tenga que ser usado, ya que mediante la correcta aplicación del conocimiento se pueden evitar conflictos, o bien rebajar en la medida de lo posible aquellos ya existentes.

Por tanto, si el objetivo de la Esgrima Láser es no tener que llegar a usar el arma láser, resulta lógico que, si se llega al uso de la misma, este resulte desagradable, para así ir reduciendo la querencia de uso de la misma. De ahí, probablemente, la elección del color azul, ya que gracias a la molestia que causa en los tiradores, consigue trasladar dicha sensación desagradable del uso del arma, si bien el mismo se limita a la necesaria práctica doméstica, y amistosa, de la Esgrima Láser, con el fin de obtener conocimiento.

Por otra parte, se encuentra la propia técnica esgrimística desarrollada por el Maestro, entendida como el conjunto de elementos teóricos que conforman la disciplina, reflejados en la práctica. Desde las obras o acciones concretas, a conceptos como el medio, o la aplicación de los conocimientos de las disciplinas adyacentes. Es la conjugación de todo ello lo que permite el desarrollo de los asaltos con fluidez, persiguiendo una exposición mínima del agente en su búsqueda del éxito de su obra ejecutiva sobre el paciente. Y esta es la base de la segunda razón, junto a, de nuevo, cierto poso filosófico.

El hecho de que en entornos de oscuridad total, o casi total, no se pueda observar del opositor poco más que la hoja de su arma, especialmente si se está portando máscara, obliga a los tiradores utilizar aquellos recursos que, en dicho contexto, más les facilite el éxito en la obra ejecutiva. Al no conocer la disposición anatómica del opositor, pero sí poder observar su hoja, existe un punto de dicha anatomía que se puede tener localizada con seguridad: la sencillez. Si en el agente la parte más vulnerable es la sencillez, por resultar la parte de la anatomía más cercana al paciente, al contrario ocurre lo mismo. Ahora bien, habría que conseguir el éxito ejecutivo en la sencillez paciente, exponiéndose el agente lo menos posible en el proceso. Y aquí hay que tener en cuenta dos aspectos.

El primero, es el fenómeno de Damocles, emergente del axioma de armas paralelas y del axioma ejecutivo de las armas láser, que quedaría anulado al ser la sencillez el objetivo ejecutivo. Esto se debe a que, si se contara con armas de naturaleza figurada, y la obra ejecutiva tuviera el éxito deseado en dicha sencillez, la capacidad de sublimar del arma láser no solo dañaría la anatomía, sino también la guarnición, inhabilitando el arma paciente, y por tanto acabando con una amenaza postrera que aún podría existir en el caso de haber herido en otra parte de la anatomía del paciente.

El segundo, que emerge del axioma de vulnerabilidad proximal, es tanto la necesidad de protección del agente durante la realización de su obra ejecutiva, como de contar con una guía que conduzca la misma, en el contexto de oscuridad, al objetivo ejecutivo que se ha vuelto la sencillez paciente. Y qué mejor manera de lograr esto que utilizar la propia hoja paciente, ya sea con un encordado, una línea en cruz en cualquiera de sus variantes, o una garatusa ejecutiva, por ejemplo.

Por tanto, se puede resumir la primera parte de esta segunda razón, en que el uso del color azul va a forzar a los tiradores a aplicar la técnica esgrimística desarrollada, centrando los esfuerzos en conseguir el éxito ejecutivo en la sencillez paciente e, idealmente, en el emisor del arma paciente. Y aquí es donde se halla el poso filosófico, pues al forzarse el uso de la técnica esgrimística, se fuerza igualmente el hecho de causar el menor daño posible al opositor. Aunque las dimensiones o posibles consecuencias de un conflicto hayan hecho necesario el uso del arma (en su naturaleza figurada), lo ideal sería que la resolución de dicho conflicto mediante las armas conlleve las menores secuelas posibles para los afectados, tanto físicas como mentales. Y el hecho de tener que suprimir al paciente, ya sea solo inhabilitando el arma, o afectando una parte anatómica no vital, permite que el conocimiento atesorado por dicho paciente no se pierda, y que el agente no cargue con un peso en su conciencia que le dificulte la adquisición de nuevo conocimiento a futuro.

En conclusión, la Radiación de Cherenkov tiene un papel importante en la disciplina de la Esgrima Láser. Pero se podría extrapolar, llegando a decir que el conocimiento de las disciplinas adyacentes permite el uso dirigido de los conceptos que componen las mismas, con el fin de evitar conflictos, o bien reducir sus consecuencias y las secuelas de los implicados en los mismos. Igualmente, la Radiación de Cherenkov es, en cierto modo, un elemento clave en la definición del uso del arma láser y entendimiento de la misma dentro de la Academia de Esgrima Láser. Se puede observar cómo la utilización consciente del concepto lleva a un uso del arma apegado a la técnica esgrimística laserina, y con ello a la resolución del asalto causando el menor daño posible en el paciente. Se cumple así con el objetivo del Furasshu de salvaguardar y expandir el conocimiento, tanto propio como exógeno.

— ————

BIBLIOGRAFÍA

- BOSCH, J. (S. F.). *El principio de Huygens-Fresnel*. Universitat de Valencia. <https://www.uv.es/jbosch/PDF/PrincipioHuygens.pdf>
- CHERENKOV, Pavel Alexeyevich (1934). Visible emission of clean liquids by action of γ radiation. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, N^o2, P. 451.
- CHUDAKOV, Alexander E. (1992). OBITUARIES: Pavel Alexeyevich Cherenkov. *Physics Today*, N^o45 (12), pp. 106-107. <https://pubs.aip.org/physicstoday/article/45/12/106/407096/Pavel-Alexeyevich-Cherenkov>
- GANFORNINA ANDRADES, Antonio (2017). *Aplicaciones de la radiación Cherenkov* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad de Sevilla, Facultad de Física. <https://idus.us.es/handle/11441/63591>
- LIU, Zhu (5 de octubre de 2022). *¿Qué es la Radiación de Cherenkov?* IAEA. Organismo Internacional de Energía Atómica. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-radiacion-cherenkov>
- MIGUEL CASTRO, Marcelino Jesús. *El Libro del Furasshu. Compendio esgrimístico, técnico, filosófico y tipológico de los aspectos particulares de la Esgrima Láser, sus armas y sus practicantes*. Linares: Academia de Esgrima Láser, 2020. Edición 1.0. Depósito legal J 118-2020. NRA: AELMM20220614001. P. 15.
- MIGUEL CASTRO, M. M. (2023). *Brevísimo resumen del comportamiento figurado de las armas láser según la Academia de Esgrima Láser*.
- MONTFERRER, Martí (canal C de Ciencia) (12 de febrero de 2020). *La partícula AZUL más RÁPIDA que la LUZ*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=a9fZzOAMLVI>
- S. A. (6 de junio de 2023). *Principio de Fresnel-Huygens*. Wikipedia. Recuperado el 11 de agosto de 2024. https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Fresnel_-_Huygens
- S. A. (16 de marzo de 2024). *Radiación de Cherenkov*. Wikipedia. Recuperado el 11 de agosto de 2024. https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_de_Cherenkov
- S. A. (30 de mayo de 2024). *Electronvoltio*. Wikipedia. Recuperado el 11 de agosto de 2024. <https://es.wikipedia.org/wiki/Electronvoltio>
- S. A. (12 de agosto de 2024). *Pavel Cherenkov*. Wikipedia. Recuperado el 11 de agosto de 2024. https://en.wikipedia.org/wiki/Pavel_Cherenkov
- S. A. (S. F. 1). *Deflexión*. Real Academia Española, Diccionario de la Lengua Española. <https://dle.rae.es/deflexi%C3%B3n>
- S. A. (S. F. 2). *El OIEA*. IAEA. Organismo Internacional de Energía Atómica. Recuperado el 11 de agosto de 2024. <https://www.iaea.org/es>
- S. A. (S. F. 3). *¿Qué es la Radiación Cherenkov?* Observatorio Pierre Auger. <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/que-es-la-radiacion-cherenkov/>

Agradecimientos:

La realización de este artículo ha sido posible gracias tanto al trabajo del Maestro Marcelino Miguel, escribiendo en su momento *El Libro del Furasshu*, y contestando aquellas dudas que me surgieron y que me llevaron a indagar en torno a la Radiación de Cherenkov, como al Iniciado Rodrigo Tudela, que amablemente me proporcionó la información con la que contaba al respecto del tema de este artículo.