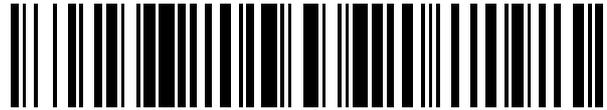


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 597 982**

21 Número de solicitud: 201530010

51 Int. Cl.:

G01J 1/04 (2006.01)

G01J 1/42 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

05.01.2015

43 Fecha de publicación de la solicitud:

24.01.2017

71 Solicitantes:

ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES, S.A.

(100.0%)

Calle Energía Solar nº 1

41014 Sevilla ES

72 Inventor/es:

ESPINOSA RUEDA, Guillermo;

MARTINEZ SANZ, Noelia;

HERAS VILA, Carlos;

SALINAS ARIZ, Iñigo;

ALONSO ESTEBAN, Rafael;

IZQUIERDO NUÑEZ, David;

OSTA LOMBARDO, Marta y

PEÑA LAPUENTE, Adrian

74 Agente/Representante:

TEMIÑO CENICEROS, Ignacio

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO DE MEDIDA DE LA IRRADIANCIA ASOCIADA A UNA FUENTE DE RADIACIÓN LUMÍNICA Y DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA DE DICHA RADIACIÓN**

57 Resumen:

Sistema y método de medida de la irradiancia asociada a una fuente de radiación lumínica, y del ángulo de incidencia de dicha radiación.

La presente invención se refiere a un sistema y a un método de medición óptica basados en el uso de una guía de luz de caras perpendiculares a su eje y un módulo de medida de radiación lumínica que comprende un equipo de detección de la radiación lumínica de salida en un plano de detección. La invención permite realizar, para una o varias fuentes de radiación lumínica incidente, medidas del ángulo de incidencia de dicha radiación lumínica, medidas de la irradiancia asociada a dichas fuentes, y el cálculo de su irradiancia en incidencia normal, todo ello en tiempo real y en un sistema fijo, sin necesidad de partes móviles ni de componentes de seguimiento de la fuente de radiación incidente.

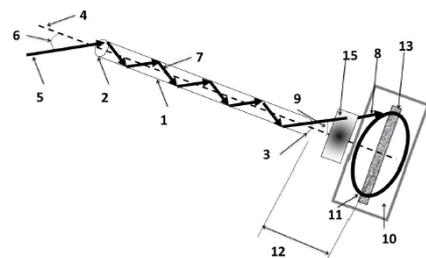


Fig. 1

DESCRIPCIÓN

SISTEMA Y MÉTODO DE MEDIDA DE LA IRRADIANCIA ASOCIADA A UNA FUENTE DE RADIACIÓN LUMÍNICA Y DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA DE DICHA RADIACIÓN

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se enmarca dentro del campo técnico correspondiente a sistemas o instrumentos ópticos de medida. Más concretamente, la invención se refiere a un sistema y a un método para medir, en tiempo real, el ángulo de incidencia asociado a una o más fuentes de radiación lumínica, el valor de su irradiancia directa para dicho ángulo y el valor de su irradiancia normal.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los instrumentos radiométricos conocidos para la medida de la radiación lumínica o solar registran, con carácter general, el valor de la irradiancia (potencia incidente por unidad de superficie, W/m^2) asociada a las fuentes de dicha radiación. Estos instrumentos incluyen, de forma inherente a la propia medida, una dependencia coseno debida al ángulo sólido que subtiende la fuente de radiación, así como la superficie de captación de la radiación. De este modo, la irradiancia medida es máxima cuando la fuente luminosa se ubica en la normal de la superficie de medida, y disminuye según la relación coseno del ángulo que forma la radiación incidente con dicha normal a la superficie de incidencia. Tradicionalmente, se considera el "error coseno" de un instrumento de medida como la desviación entre la respuesta angular real del equipo y la respuesta angular ideal dada por la relación coseno, habiéndose hecho numerosos esfuerzos en este campo técnico para conseguir una dependencia angular ideal en diferentes tecnologías de radiómetros.

Así, los piranómetros son ejemplos de dispositivos fijos que miden la irradiancia global sobre un plano de superficie, con una respuesta ideal coseno. Estos sistemas, sin embargo, no son capaces de determinar el ángulo de incidencia de la radiación, y miden la radiación incidente en cualquier ángulo, pesada con el coseno de dicho ángulo de incidencia. Además, no son capaces de diferenciar entre radiación incidente directa (aquella que no ha sufrido desviación en su trayectoria desde la fuente lumínica) y radiación difusa (radiación dispersada en su camino y que no llega por tanto con una trayectoria directa desde la fuente).

- Por su parte, los dispositivos conocidos como pirheliómetros realizan la medida de haces directos de irradiancia. Llevan a cabo, por tanto, una medida en incidencia normal y, en consecuencia no están diseñados para medir radiación incidente en ángulos diferentes al ángulo normal. Estos sistemas son válidos, pues, únicamente para medir una fuente de radiación que se encuentra en la dirección de apuntamiento del equipo. De esta forma, en el caso de medidas de la radiación lumínica del sol, los equipos de pirheliómetros han de verse complementados por sistemas de seguimiento/apuntamiento solar, de manera que la incidencia de la radiación sea siempre en la dirección normal a la superficie del detector.
- 5
- 10 Ninguno de los sistemas anteriores cumplen, por tanto, los requisitos necesarios para determinar el ángulo de incidencia de la radiación, el valor de irradiancia y el valor de la irradiancia correspondiente en incidencia normal, para una o más fuentes de radiación y en tiempo real, sin el uso de sistemas móviles de seguimiento de las fuentes de radiación.
- 15 Adicionalmente a los equipos mencionados, son también conocidos otros sistemas para medir la irradiancia normal (eliminando el efecto coseno) de luz incidente en un arco de $\pm 90^\circ$, basados en guías de onda ópticas equipadas con puntas de detección, configuradas para recibir dicha luz incidente y transportarla hasta un detector de luz (un ejemplo de estos sistemas es el aparato descrito en la patente estadounidense US 4,703,173). No obstante, es muy complicado conseguir una independencia completa del factor coseno y al mismo tiempo una medida precisa del valor absoluto de la irradiancia. Además, estos sistemas no proporcionan información alguna sobre el ángulo de incidencia de la radiación. Ello hace que, en la práctica, no sea posible la eventual aplicación de los citados sistemas a la medición de la irradiancia angular y normal de fuentes de radiación incidente, según el objeto de la presente invención.
- 20
- 25

De este modo, la presente invención propone una solución a los problemas técnicos antes citados, a través de un novedoso sistema óptico de medida y de un método asociado al mismo, que permiten superar las limitaciones de los sistemas conocidos del estado de la técnica.

30

DESCRIPCIÓN BREVE DE LA INVENCIÓN

Un objeto de la presente invención es, pues, un sistema de medida de la irradiancia asociada a una fuente de radiación lumínica, y del ángulo de incidencia de dicha radiación, que comprende, preferentemente:

35

- una guía de luz que, en sus extremos longitudinales, dispone de una cara de entrada de radiación y de una cara de salida de dicha radiación; siendo dichas caras plano-paralelas y preferentemente perpendiculares al eje de la guía, y definiendo un espacio a través del cual la radiación lumínica de entrada es guiada tras sufrir una pluralidad de reflexiones internas en la guía, hasta atravesar la cara de salida de la guía con un ángulo de salida idéntico al ángulo de incidencia de la radiación en la cara de entrada; y

- un módulo de medida de la radiación lumínica que comprende un equipo de detección de la radiación lumínica de salida en un plano de detección.

10 Se consigue con ello un sistema que permite medir eficazmente la radiación de fuentes lumínicas para cualquier ángulo de incidencia en un arco frontal de $\pm 90^\circ$, es decir, el sistema cuenta con un ángulo de aceptación de 90° , determinando en dicho arco la irradiancia asociada a las citadas fuentes. Preferentemente, la respuesta angular del módulo de medida de la invención es tal que, en el plano de detección, se subtiende un ángulo máximo de salida de radiación de al menos 30° . Más preferentemente, el ángulo de salida máximo del haz de radiación subtendido por el plano de detección es de al menos 70° .

20 En una realización preferente de la invención, la guía de luz consiste en una varilla que posee simetría cilíndrica con relación a un eje longitudinal, o una sección transversal poligonal.

25 En otra realización preferente de la invención, la guía de luz consiste en una varilla de cuarzo y/o vidrio. Asimismo y opcionalmente, la guía de luz puede consistir en una o un haz de fibras ópticas.

30 En otra realización preferente de la invención, el módulo de medida del sistema comprende una CCD lineal, una matriz CCD y/o una distribución lineal de fotodiodos para la detección de la radiación lumínica de salida en el plano de detección. Dichos elementos permiten una medida adecuada de la intensidad en el plano de detección de la radiación. Más preferentemente, la CCD o la disposición de fotodiodos comprende una relación variable de ganancias (por ejemplo, en tiempos de exposición para la matriz CCD o en los valores de ganancia de los fotodiodos). Con ello se consigue obtener una medida con alto rango dinámico, que permita cubrir las diferentes situaciones de intensidad incidente.

35 En una realización opcional de la invención, el sistema de medida comprende un filtro óptico de absorción variable espacialmente, dispuesto entre la cara de salida de la guía y el plano

de detección. La presencia y adecuada configuración de dicho filtro permite compensar posibles diferencias de atenuación de la luz en la guía de luz en función del ángulo de incidencia.

5 En una realización preferente adicional de la invención, el módulo de medida del sistema comprende un subsistema electrónico de adquisición de datos de medida, y/o un subsistema de tratamiento electrónico de dichos datos y de control del sistema de medida. Se consigue con ello disponer de medios eficaces para el adecuado registro de los datos de medida y para la operación del sistema descrito.

10

Otro aspecto de la invención se refiere a un método de medida de la irradiancia asociada a una fuente de radiación lumínica, y del ángulo de incidencia de dicha radiación, que comprende el uso de un sistema según cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento. Dicho método permite registrar, mediante el módulo de medida del sistema, la irradiancia de la radiación lumínica de salida y su ángulo de salida, derivando de éstos el ángulo de entrada y la radiación lumínica de entrada.

15

En una realización preferente del método de la invención, el módulo de medida se dispone a una distancia de la guía tal que, en el plano de detección, el haz de salida de radiación lumínica forma un anillo de luz, cuyo diámetro viene determinado por dicha distancia al plano de detección y por el ángulo de salida del haz, y donde el grosor del anillo viene determinado por el diámetro de la guía. La regulación de dicha distancia permite modificar la sensibilidad angular de la medida, consiguiendo con ello un método versátil para diferentes aplicaciones técnicas de la invención, adaptadas a diversos rangos angulares.

20

25

De forma complementaria, se puede realizar una calibración del sistema de medida, mediante la cual se relaciona el ángulo de incidencia de la radiación lumínica con el diámetro del anillo sobre el plano de detección. Más preferentemente, la calibración comprende determinar la relación entre la intensidad medida en el plano de detección y la intensidad de la radiación a la entrada del dispositivo, en su ángulo correspondiente.

30

Por medio del método de la invención es posible, pues, estimar a partir de la medición de la irradiancia de la radiación lumínica de salida en cada ángulo de incidencia, el ángulo de incidencia de la radiación lumínica de entrada, la irradiancia de la radiación lumínica de entrada, y la irradiancia normal de dicha radiación a partir de una relación proporcional al coseno del ángulo de incidencia.

35

Tal y como se ha descrito anteriormente, la ventaja principal de la invención propuesta es que permite obtener, para una fuente de radiación lumínica orientada en un ángulo cualquiera de incidencia, la medida de su irradiancia y la medida de su ángulo de incidencia, así como calcular la irradiancia que le correspondería en incidencia normal, esto es, descontando la dependencia con la relación coseno debida al ángulo sólido que subtienden la fuente de radiación y la superficie detectora. Además, el sistema y el método de la invención permiten realizar estas medidas en tiempo real para una o más fuentes de radiación orientadas en diferentes ángulos de incidencia, mejorando así las soluciones técnicas de los sistemas ópticos de medida conocidos.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 muestra un esquema con los elementos principales del sistema de medida de la invención, según una realización preferente de la misma.

La Figura 2 muestra, para una realización preferente de la invención, el plano de detección y el anillo de luz formado sobre dicho plano, cuando el sistema de medición se encuentra en funcionamiento y recibe luz de una fuente luminosa incidente.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Tal y como se ha descrito en párrafos precedentes, un objeto de la presente invención se refiere a un sistema de medida para determinar simultáneamente el ángulo de incidencia, el valor de la irradiancia y la irradiancia en incidencia normal de fuentes externas de radiación lumínica. De este modo, el sistema permite obtener, para una fuente de radiación lumínica orientada en un ángulo cualquiera de incidencia α con respecto a la normal, la medida de su irradiancia (I) y la medida de su ángulo de incidencia, y es capaz de calcular la irradiancia que le correspondería descontando la dependencia con la relación coseno, debida al ángulo sólido que subtienden la fuente de radiación y la superficie detectora. De esta manera, la irradiancia I será igual a $I_{\text{medida}}/k(\alpha)$, donde I_{medida} es la irradiancia medida a la salida de la guía y $k(\alpha)$ el coeficiente de atenuación de la guía de luz para un ángulo α . La irradiancia normal I_{normal} será entonces igual a $I/\cos(\alpha)$. Además, el sistema puede realizar estas medidas en tiempo real, para una o más fuentes de radiación orientadas en diferentes ángulos de incidencia.

Para conseguir el fin propuesto, el sistema de medida de la invención consta, preferentemente, de una guía de luz (1) y de un módulo de medida, cuyos elementos principales se representan en la Figura 1 del presente documento. La guía de luz (1) comprende, preferentemente, una varilla, por ejemplo, de simetría cilíndrica con propiedades ópticas adecuadas para guiar la luz en el espacio comprendido entre su cara de entrada (2) y su cara de salida (3), a través del cilindro que define un eje longitudinal (4). El guiado de la luz es tal que, dado un haz de luz incidente (5) que incide con un ángulo de incidencia (6) definido en la entrada de la guía, el haz de luz a la salida (8) de la guía mantiene un ángulo de salida (9) igual que el ángulo de incidencia (6), con simetría de revolución respecto al eje longitudinal de la guía (4). La luz es guiada, de este modo, tras sufrir una pluralidad de reflexiones internas (7) en la varilla, hasta atravesar la cara de salida (3) de la varilla, dando así lugar a un haz de luz de salida (8). Esta condición de guiado se tiene para cualquier ángulo de incidencia (6), incluso para varios haces de luz incidiendo al mismo tiempo y en ángulos de incidencia (6) diferentes. La guía de luz (1) puede ser, por ejemplo, una varilla de cuarzo o de vidrio, con las paredes laterales y las caras de entrada (2) y salida (3) plano-paralelas, preferentemente perpendiculares al eje longitudinal (4) de la varilla y terminadas, opcionalmente, en pulido óptico.

El módulo de medida de la invención comprende un detector (13) que mide la distribución espacial de la luz a la salida de la guía de luz, para determinar el ángulo de salida (9) de la luz y su intensidad. El plano de detección (10) del detector (13) queda, preferentemente, separado por una distancia (12) conveniente de la guía de luz (1), perpendicular al eje longitudinal (4) de dicha guía (1) y alineado con la misma. En el plano de detección (10), el haz de salida (8) para un ángulo de incidencia fijado, forma un anillo de luz (11). El diámetro de este anillo de luz viene determinado por la distancia (12) del plano de detección (10) y el ángulo de salida del haz (9), y el grosor del anillo viene determinado por el diámetro de la guía de luz (1). En la Figura 1 del presente documento se muestra un detalle del plano de detección (10) y del anillo (11) formado. En el caso de que la radiación incidente provenga de una o varias fuentes luminosas e incida sobre el dispositivo en una gran variedad de ángulos de incidencia, el resultado de la imagen obtenida en el detector es un círculo (14) representado en la Figura 2 (unión de tantos anillos como ángulos de incidencia).

En una realización preferente de la invención, el módulo de detección comprende una CCD lineal. No obstante, el detector (13) puede comprender también una disposición o "array" lineal de fotodiodos, enfrentado el detector (13) a la guía de luz (1) y ligeramente separado

del extremo de salida de la misma. Así, a cada punto de medida del detector (13) le corresponde un ángulo de incidencia (6) de la luz en la guía (1).

5 En otra realización preferente de la invención, el módulo de detección comprende una matriz CCD bidimensional. No obstante, el detector puede comprender también una disposición o “array” bidimensional de fotodiodos, enfrentado con la guía de luz y ligeramente separado del extremo de salida de la misma. Así, a cada punto de medida del detector (13) le corresponde un ángulo de incidencia (6) de la luz en la guía (1) (en su caso, el diámetro de la varilla).

10

En cuanto al proceso de medida de la invención, se requiere una calibración previa, que consta de dos partes: una que relaciona el ángulo de incidencia (6) de la radiación con el diámetro del anillo (11) en el plano de detección (10); otra que relaciona la intensidad medida en cada punto del detector (13) y la intensidad de la radiación incidente, en su

15 ángulo (6) correspondiente.

De este modo, a partir del círculo (14) correspondiente a la distribución de la radiación saliente en todos los ángulos de incidencia (6), se puede determinar la irradiancia incidente para cada ángulo (6). De la irradiancia incidente para cada ángulo de entrada (6) se puede

20 calcular la correspondiente irradiancia normal, descontando el efecto coseno.

Para compensar posibles efectos de atenuación de la luz en la guía de luz en función del ángulo de incidencia, es posible también equipar al módulo de medida con un filtro óptico (15) de absorción, variable espacialmente. Este filtro (15) se sitúa preferentemente entre la

25 salida (3) de la guía de luz y el plano de detección (10), y su presencia se ha de tener en cuenta para la calibración del sistema. Adicionalmente, si se utiliza una distribución de fotodiodos, pueden elegirse las ganancias de los mismos para realizar esta misma compensación.

30 Asimismo, para obtener una medida con alto rango dinámico, que permita cubrir las diferentes situaciones de intensidad incidente, es necesario que el detector (13) disponga de una relación de ganancias variable, bien en tiempos de exposición para la matriz CCD, o bien ganancias variables en los fotodiodos.

35 Otra de las características del sistema de la invención es la posibilidad de tratamiento y exportación de los datos de manera cómoda y flexible, que puedan almacenarse de la forma

que se considere más conveniente. Para ello, la presente invención incorpora la existencia de un subsistema de adquisición de datos capaz de comunicarse con un medio de tratamiento de datos y de control del sistema de medida. Dicho medio de tratamiento de datos y comunicación puede ser un ordenador, y está preferentemente configurado para recibir la información que proviene de cada uno de los puntos de medida, incorporando dicha información a una base de datos y a un software de tratamiento de datos.

Una vez descrita la invención propuesta por el solicitante, se incide de nuevo en su ventaja principal sobre los sistemas conocidos del estado de la técnica, que consiste en la capacidad de realizar, para una o varias fuentes de radiación lumínica incidente, una medida del ángulo de incidencia de cada fuente de radiación, una medida de su irradiancia y el cálculo de su irradiancia normal, esto es, la irradiancia que le correspondería en incidencia normal, todo ello en tiempo real y en un sistema fijo, sin incluir partes móviles ni de seguimiento de la fuente de radiación.

15

REIVINDICACIONES

1.- Sistema de medida de la irradiancia asociada a una fuente de radiación lumínica, y del ángulo de incidencia de dicha radiación, **caracterizado por que** comprende:

5 - una guía de luz (1) que, en sus extremos longitudinales, dispone de una cara de entrada (2) de radiación y de una cara de salida (3) de dicha radiación; siendo dichas caras (2,3) plano-paralelas y definiendo un espacio de guiado de radiación lumínica de entrada (5) entre dichas caras (2, 3);

10 - un módulo de medida de la radiación lumínica que comprende un equipo de detección (13) de la radiación lumínica de salida (8) en un plano de detección (10).

2.- Sistema según la reivindicación anterior, donde la guía de luz (1) consiste en una varilla de guiado.

15 3.- Sistema según la reivindicación anterior, donde la varilla posee simetría cilíndrica con relación a un eje longitudinal (4), o una sección transversal poligonal.

20 4.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 2-3, donde las caras (2,3) de la varilla están pulidas ópticamente y son perpendiculares a su eje longitudinal.

 5.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 2-4, donde la varilla es de cuarzo y/o vidrio.

25 6.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la guía de luz (1) consiste en una o un haz de fibras ópticas.

 7.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el módulo de medida comprende un CCD y/o una disposición de fotodiodos para la detección de la radiación lumínica de salida (8) en el plano de detección (10).

30 8.- Sistema según la reivindicación anterior, donde el CCD es un CCD lineal, una matriz CCD y/o los fotodiodos se disponen linealmente en el plano de detección (10),

35 9.- Sistema según la reivindicación anterior, donde el CCD y/o la disposición de fotodiodos comprende una relación variable de ganancias.

10.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un filtro óptico (15) de absorción variable espacialmente, dispuesto entre la cara de salida (3) de la guía de luz (1) y el plano de detección (10).

5 11.- Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el módulo de medida comprende un subsistema electrónico de adquisición de datos de medida, y/o un subsistema de tratamiento electrónico de dichos datos y de control del sistema de medida.

10 12.- Método de medida de la irradiancia asociada a una fuente de radiación lumínica, y del ángulo de incidencia de dicha radiación, **caracterizado por que** comprende el uso de un sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores y donde se realizan, al menos, las siguientes etapas:

15 - se mide, mediante el módulo de medida del sistema, la irradiancia de la radiación lumínica de salida (8), y se calcula su ángulo de salida (9) a partir de la posición de detección de dicha radiación en el plano de detección (13);

- se calcula, a partir de la medida del paso anterior y de las propiedades de reflexión interna de la guía de luz (1) del sistema de medida, el ángulo de entrada (6) y la irradiancia de la radiación lumínica de entrada (5).

20 13.- Método según la reivindicación anterior, donde el módulo de medida se dispone a una distancia (12) de la guía de luz (1) tal que, en el plano de detección (10), el haz de salida (8) de radiación lumínica forma un anillo de luz (11), y donde se llevan a cabo las siguientes etapas:

25 - se relaciona el ángulo de incidencia (6) de la radiación con el diámetro del anillo (11) en el plano de detección (10) a través de calibración del sistema; y

- se relaciona la intensidad medida en cada punto del detector (13) y la intensidad de la radiación incidente, en su ángulo (6) correspondiente; y

30 - se determina la irradiancia incidente para cada ángulo (6), a partir del círculo (14) determinado por una pluralidad de anillos (11) correspondientes a la distribución de la radiación saliente en todos los ángulos de incidencia (6).

14.- Método según cualquiera de las reivindicaciones 12-13, donde se estima, a partir de medir la irradiancia de la radiación lumínica de salida (8) en cada ángulo de incidencia (6) y de las propiedades de reflexión interna de la guía de luz (1) del sistema de medida, el ángulo de incidencia (6) de la radiación lumínica de entrada (5), y la irradiancia normal de

35

dicha radiación (5) a partir de una relación proporcional al coseno del ángulo de incidencia (6) multiplicado por el coeficiente de atenuación de la guía de luz (1).

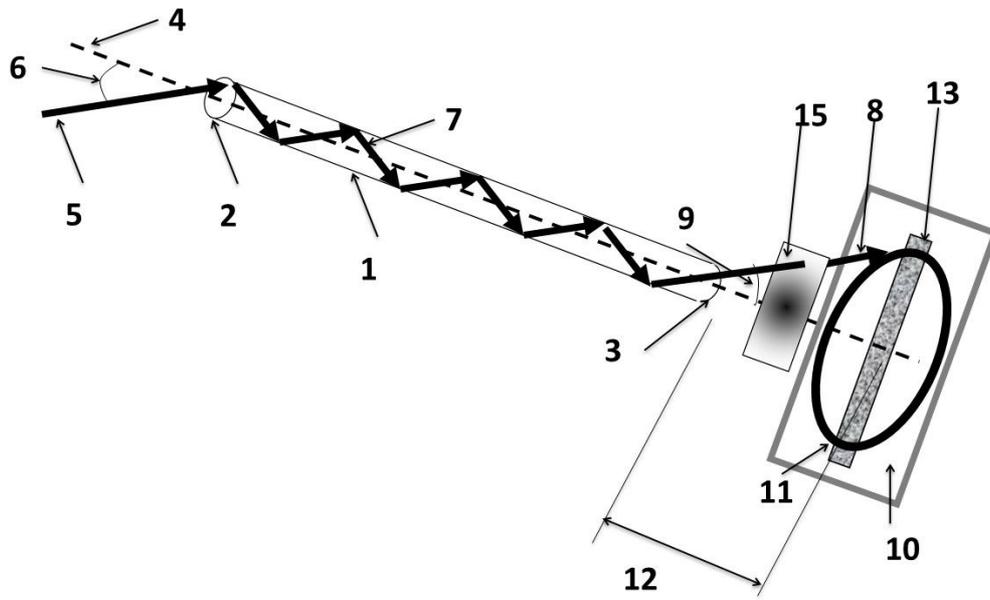


Fig. 1

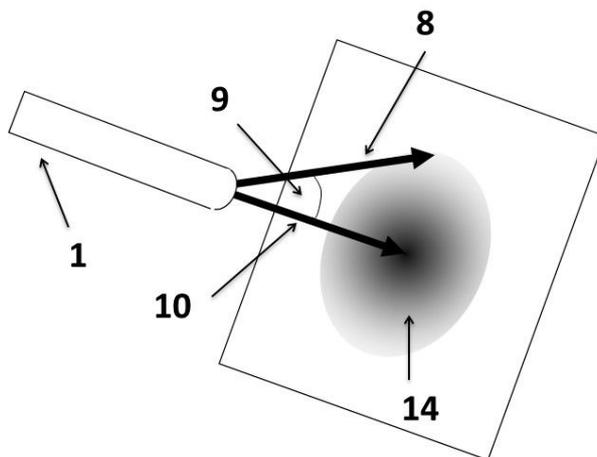


Fig. 2