

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 786 648**

51 Int. Cl.:

G01N 33/24 (2006.01)

G01N 23/204 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.11.2016** **E 16002477 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020** **EP 3324182**

54 Título: **Aparato de medición de humedad**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.10.2020

73 Titular/es:

UNIVERSITÄT HEIDELBERG (100.0%)
Grabengasse 1
69117 Heidelberg, DE

72 Inventor/es:

KÖHLI, MARKUS y
SCHMIDT, ULRICH

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 786 648 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aparato de medición de humedad

- 5 La presente invención se refiere a un aparato de medición de humedad, particularmente un aparato de medición de humedad del suelo y un método relacionado basado en el sondeo de neutrones de rayos cósmicos (CRNP) y basado particular en el sondeo de neutrones atmosféricos inducidos por rayos cósmicos. A este respecto, en la presente solicitud también se denomina simplemente como neutrones y sondeo de neutrones o detección de neutrones.
- 10 En los últimos años, los desastres ecológicos han aumentado enormemente en número y daños. Las inundaciones y posibles deslizamientos de tierra relacionados con las inundaciones son algunos de los fenómenos que causan daños enormes y ponen en peligro las vidas humanas en múltiples regiones y países de la tierra. Por lo tanto, predecir la probabilidad y un riesgo agudo de inundación es esencial para limitar el daño, la evacuación y salvar vidas. Sin embargo, una predicción fiable es objeto de una investigación en curso y sigue siendo un desafío.
- 15 Un parámetro importante para predecir fenómenos relacionados con las inundaciones es el contenido de humedad / agua en el suelo y el grado de saturación del agua en el suelo. Por lo tanto, determinar el contenido de humedad del suelo desempeña un papel esencial en las predicciones de desastres, la monitorización ambiental y las aplicaciones hidrológicas.
- 20 Otro campo que requiere la determinación fiable del contenido de humedad del suelo puede ser la agricultura, particularmente la agricultura sostenible y de precisión. Es importante que un agricultor sepa las cantidades exactas de humedad contenidas en el suelo, por ejemplo, para determinar la cantidad correcta / óptima de riego. Esto puede ayudar a lograr resultados óptimos de crecimiento, evitar la salinización del suelo, evitar inundaciones y asegurar el agua, lo cual es particularmente importante en las zonas secas.
- 25 Martin Schrön et al. ("Estimación de la humedad del suelo a través de escalas con sensores móviles para neutrones de rayos cósmicos en el suelo y en el aire", Geophysical Research Abstracts, 17. abril de 2016) describe un método para la estimación de la humedad del suelo basado en mediciones de neutrones de rayos cósmicos que se realizan utilizando un girocóptero.
- 30 Victor V. Klemas ("Detección remota costera y ambiental por medio de vehículos aéreos no tripulados: una visión general", Journal of Coastal Research, vol. 31, número 5, 1 de Septiembre de 2015, ISSN: 0749 - 0208, DOI: 10.2112 / JCOASTRES - D - 15 - 00005.1") describe el uso de vehículos aéreos no tripulados, tales como aeronaves no tripulados, helicópteros y globos, por ejemplo, para el mapeo del uso de la tierra y el mapeo de humedales.
- 35 Henske M. y col. ("El detector de neutrones Jalousie basado en ^{10}B : una alternativa para tubos de contador sensibles a la posición llenos de ^3He ", Instrumentos y métodos nucleares en la investigación de física, Sección A: Aceleradores, espectrómetros, detectores y equipos asociados, Elsevier BV* North - Holland, NL, vol. 686, 21 de mayo de 2012, páginas 151 - 155, ISSN: 0168 - 9002, DOI: 10.1016 / J.NIMA.2012.05.075) describe un Detector de neutrones Jalousie basado en ^{10}B como alternativa para tubos contadores sensibles a la posición llenos de ^3He .
- 40 A este respecto, es preferible proporcionar una técnica ecológica, simple y fiable para medir de manera no invasiva la humedad del suelo de grandes áreas de tierra. Tales áreas pueden estar situadas en terrenos intransitables y accidentados. En vista de estos factores, se han desarrollado múltiples técnicas para medir el contenido de agua / humedad en el suelo.
- 45 Hasta la fecha, el contenido de humedad del suelo ha sido determinado por medio de técnicas locales (invasivas) basadas en contacto. Una de estas técnicas está basada en pesar una porción de suelo incluyendo el contenido de humedad del suelo, pesar la misma porción de suelo después de calentar y evaporar el contenido de humedad. El contenido de humedad se determina restando los pesos medidos uno del otro. Alternativamente, el contenido de humedad del suelo puede ser determinado midiendo la resistencia eléctrica mientras se aplica un campo eléctrico a una porción en el suelo. Otros métodos para detectar el contenido de humedad del suelo incluyen la reflectometría en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia, que requiere inyectar un cable en el interior de una porción de suelo. Además, se ha utilizado un cabezal de detección Troxler para introducir neutrones localmente en el interior de una porción de suelo y para medir la termalización. Estos métodos bien establecidos se conocen y aplican desde hace décadas. Están basados en el contacto y permiten distintas pruebas locales. Además, la mayoría de estos métodos, al ser invasivos, requieren la inserción en el interior del suelo o un posicionamiento permanente debajo en el suelo.
- 50 El contenido de agua en el suelo también puede ser estimado por medio de sistemas satelitales que detectan señales de radio u ópticas. Esto permite explorar aproximadamente grandes áreas con el fin de aplicaciones hidrológicas, ya que la altitud de los satélites es extremadamente grande en comparación con otros sistemas.
- 55 Una técnica que se ha desarrollado recientemente y que todavía es objeto de investigación en curso está basada en una relación señal / ruido (SNR) registrada por receptores GPS de alta precisión, en la que tales receptores ya están en su lugar para aplicaciones geodésicas. Parte del ruido en una señal GPS proviene de reflejos de la señal GPS
- 60
- 65

fuera en el suelo. Estas señales reflejadas entran y salen de fase con la señal directa a medida que se eleva un satélite GPS, y como resultado, los datos de SNR registrados aumentan y disminuyen durante este período de tiempo, creando una curva sinusoidal. La forma de esta curva sinusoidal SNR cambia dependiendo de la cantidad de agua en el suelo.

5 Una técnica alternativa no invasiva para medir el contenido de agua en el suelo en el rango de varios kilómetros cuadrados, relacionada con la observación del clima, está basada en la detección espectral óptica de la superficie de la tierra con satélites, conocida como detección remota. Las áreas debajo de las nubes difícilmente pueden ser sondeadas utilizando la detección de contenido de humedad del suelo por satélite. El primer centímetro en el suelo puede ser sondeado con este método. La falta de homogeneidad vertical del contenido de humedad del suelo requiere además un análisis cuidadoso de los datos medidos utilizando modelos de suelo precisos.

10 La detección de neutrones por rayos cósmicos o el sondeo de neutrones por rayos cósmicos (CRNP), otra técnica sin contacto no invasiva para identificar el contenido de humedad del suelo, se introdujo recientemente por primera vez (en 2008). Este método se basa en la detección de la densidad de neutrones relacionada con los neutrones que se han reflejado / dispersado desde el suelo. Estos neutrones son particularmente sensibles e indicativos del contenido de humedad del suelo. Tales neutrones son neutrones atmosféricos inducidos por rayos cósmicos. El origen de estos neutrones se explicará con más detalle a continuación.

15 Hasta la fecha, se han aplicado detectores térmicos de neutrones para esta técnica (producida principalmente por la empresa Hydroinnova). Tales detectores pueden ser instalados en posiciones fijas o ser transportados en un vehículo para proporcionar un grado de movilidad. Se han informado otros medios para proporcionar un alto grado de movilidad, tales como girocópteros o ultraligeros. Por lo tanto, los beneficios de transportar el detector a gran altitud durante la detección, tales como sondear un área grande, pueden ser aprovechados.

20 Sin embargo, sigue siendo un desafío proporcionar una tecnología que permita explorar y / o obtener imágenes de manera fiable del contenido de humedad del suelo en grandes áreas a costos realistas.

25 De acuerdo con un aspecto, un problema es determinar el contenido de humedad del suelo de grandes áreas con un grado mejorado de fiabilidad. El problema se resuelve por medio de un aparato y un método que tiene las características definidas en las reivindicaciones independientes. Las realizaciones preferidas están cubiertas por las reivindicaciones dependientes.

30 La presente invención se refiere a un aparato y a un método respectivo para sondear el contenido de humedad y más particularmente el contenido de humedad del suelo por medio de la detección de neutrones. El rango espacial que puede ser cubierto por la invención (incluyendo el tamaño del área observable, típicamente de varias hectáreas y la resolución especial) se encuentra en un régimen que hasta ahora ha sido difícil de cubrir por medio de técnicas de sondeo convencionales. En particular, el tamaño del área observable es mayor que en la de los sistemas de detección locales convencionales típicos. Por otro lado, la resolución espacial lograda por la presente divulgación es mayor que para los sistemas de detección basados en satélites convencionales típicos.

35 Por lo tanto, el aparato y el método de acuerdo con la presente divulgación pueden ser aplicados para mediciones hidrológicas pasivas móviles a gran escala, particularmente para el control y prevención de inundaciones y para la agricultura y particularmente para la agricultura de precisión. Sin embargo, el campo de la presente divulgación no está limitado a la citada aplicación y se puede extender a otros campos meteorológicos y / o biológicos tales como la observación meteorológica, la observación de nubes y / o el desarrollo de niebla / neblina y / o la acumulación de agua y / o de cubierta vegetal y / o de cubierta de nieve, así como la condición de los campos de nieve.

40 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un aparato de medición de humedad para detectar el contenido de humedad, particularmente el contenido de humedad del suelo. El aparato está definido en la reivindicación 1.

45 Desde hace tiempo se sabe que los dirigibles y las "tecnologías para dispositivos más ligeros que el aire" relacionadas proporcionan múltiples ventajas, tales como ser ecológicas y baratas debido al bajo consumo de energía, la producción de bajo ruido, la capacidad de transportar cargas pesados de punto a punto, la capacidad de moverse distancias largas al mismo tiempo de ser flexible para alcanzar diversas altitudes y ser móvil sobre terrenos intransitables y difíciles. Además, a diferencia de las aeronaves más pesados que el aire, tales como aeronaves, helicópteros, girocópteros o aviones no tripulados, los dirigibles pueden moverse / flotar sobre tierra a una velocidad muy baja hasta detenerse con respecto a las coordenadas geológicas. Además, no se requiere que los dirigibles despeguen desde una pista de despegue / aterrizaje. Las restricciones con respecto a las posiciones de despegue y / o aterrizaje de dirigibles son bajas, en general. Además, dependiendo del gas portador utilizado en el dirigible, el riesgo de accidentes puede ser mantenido muy bajo.

50 Por las razones anteriores, también es preferible proporcionar un dirigible para la detección de neutrones. Todas las ventajas relacionadas con los dirigibles se pueden aprovechar en conjunto con la determinación del contenido de humedad del suelo.

65

Es particularmente beneficioso proporcionar un dirigible para la detección de neutrones, ya que puede flotar a altitudes que permiten explorar grandes áreas y una gran cobertura espacial. Tales áreas pueden estar situadas en terrenos intransitables y accidentados. Esto es de particular interés ya que el riesgo de deslizamiento de tierra debido al elevado contenido de agua en el suelo suele ser alto en las montañas y en el campo montañoso, que a menudo es accidentado y difícil de acceder. En vista de la versatilidad, es beneficioso usar una técnica para explorar grandes áreas (es decir, varias hectáreas y más) en lugar de usar una técnica que permita mediciones locales para evaluar y observar la condición hidrológica, así como el grado de saturación del agua en el suelo en un paisaje vasto. Por ejemplo, un área de observación de aproximadamente una a diez hectáreas puede ser sondeada de forma rápida y precisa utilizando el aparato de acuerdo con la presente invención. Además, el área de observación explorada también puede ser más grande. Alternativamente, el área de observación a explorar y sondear también puede ser más pequeña, particularmente en el caso de que el dirigible esté fijo y / o sujeto a una posición fija sobre el suelo. A diferencia de los sistemas convencionales de detección estática local, la presente invención permite explorar áreas más grandes.

Por otro lado, a diferencia de los sistemas basados en satélites convencionales, la presente invención proporciona una detección más fiable con una resolución espacial más alta. Además, la detección móvil de neutrones de acuerdo con la presente descripción no requiere una red de sensores a gran escala en posiciones fijas, por lo tanto, es menos extensa y costosa desde el punto de vista de la instalación y el mantenimiento. La detección móvil de neutrones de acuerdo con la presente divulgación también permite a un usuario aplicar la técnica allí donde sea necesario. Al mismo tiempo, la presente divulgación también permite tener en cuenta el contenido de humedad del suelo presente en varios decímetros debajo de la superficie de la tierra, proporcionando así una conclusión más fiable sobre la saturación del suelo con agua.

Puesto que un dirigible puede flotar con una velocidad de flotación muy baja, se pueden registrar múltiples mediciones para un área a medida que el dirigible se mueve sobre distancias pequeñas, por lo que se considera cuasi estática en una aproximación. De esta manera, se mejora la ventana temporal para detectar de manera fiable el contenido de humedad del suelo de un área particular, determinada por la velocidad de flotación. Esto da como resultado una precisión mejorada, una resolución espacial mejorada y, como resultado, un mayor grado de fiabilidad. Además, la detección de neutrones es una técnica no invasiva, sensible y fiable para sondear el contenido de humedad del suelo. Por lo tanto, el aparato y el método relacionado de acuerdo con la presente invención pueden mejorar la eficiencia y la fiabilidad cuando se implementan en un sistema de alerta temprana.

El al menos un dirigible se llena al menos parcialmente con un gas portador cuando flota. En un estado no lleno, es decir, cuando el volumen de llenado de gas del dirigible es comprimido y no está lleno con un gas, el dirigible puede ser transportado fácilmente puesto que el volumen se reduce a tamaños pequeños. Cuando el volumen se llena al menos parcialmente con un gas portador, el dirigible puede adoptar al menos en parte su tamaño completo. En este caso, el dirigible utiliza la fuerza de flotación para flotar puesto que el gas portador es más ligero que el aire. A diferencia de otras aeronaves, tales como helicópteros o girocópteros, un dirigible lleno de gas puede aprovechar la fuerza de flotabilidad a altitudes muy altas.

El gas portador sirve al menos parcialmente como al menos un medio moderador. De acuerdo con la invención, llenar el volumen del dirigible con un gas que se usa al menos en parte como medio portador y como medio moderador (es decir, para desacelerar los neutrones antes de la detección) se realiza al mismo tiempo. En el proceso de moderación, los neutrones rápidos son desacelerados a energías cinéticas en las que el detector de neutrones puede detectarlos de manera efectiva. A menudo, los detectores de neutrones que se utilizan para la detección de neutrones comprenden un medio moderador en estado sólido, tal como el polietileno. Un medio moderador de polietileno puede pesar tanto como de 8 kg a 30 kg. Por lo tanto, el peso adicional puede ser reducido o evitado por completo si el gas portador tiene una función moderadora. Si se va a utilizar una aeronave pequeña para la detección de neutrones, los citados pesos que se deberían transportar limitarían o imposibilitarían la medición. Favorablemente, el dirigible puede transportar simplemente el peso del detector de neutrones térmicos y su propio peso, ya que el gas portador es más ligero que el aire y tiene las funciones de transportar el aparato y moderar los neutrones al mismo tiempo. Por lo tanto, se puede proporcionar un aparato eficiente que tiene un gran volumen de detección, flotando lentamente a bajas altitudes y que simplemente soporta el peso del sensor si no se va a transportar equipo adicional. Por lo tanto, el consumo de energía y los costos se pueden reducir.

De acuerdo con una realización, el gas portador es al menos parcialmente uno de entre hidrógeno, helio, aire calentado, metano, amoníaco, neón, acetileno, diborano, monóxido de carbono, nitrógeno y eteno o una mezcla de los mismos. Un gas portador que contiene átomos de hidrógeno, tal como hidrógeno o metano, es eficiente en la moderación de neutrones. Por lo tanto, hacer uso de tales compuestos es beneficioso, ya que sirven de manera eficiente como gas portador y como medio moderador al mismo tiempo. Además, en algunos casos es beneficioso usar, por ejemplo, gas hidrógeno en lugar de gas helio como gas portador, ya que el hidrógeno es más eficiente en sus propiedades de flotabilidad y menos costoso. Sin embargo, por razones de seguridad, también puede ser favorable proporcionar gas helio en lugar de gas hidrógeno, ya que es inerte y no explosivo. Excluyendo, por ejemplo, mezclas de gases tales como gases de oxihidrógeno que podrían producir una combustión, también podría ser beneficioso proporcionar otros gases o mezclas de los citados gases para ajustar el moderador y / o las características de transporte. Por lo tanto, se pueden proporcionar cámaras de gas separadas para aislar diferentes gases en el volumen del dirigible.

De acuerdo con la invención, el al menos un detector de neutrones está rodeado al menos parcialmente por el gas portador. Si el detector de neutrones está rodeado al menos parcialmente por el gas portador, los neutrones pueden ser desacelerados en las proximidades del detector, ya que el gas portador también se usa como medio moderador. La fase gaseosa que rodea al menos parcialmente al detector puede sustituir una envoltura del moderador, tal como una caja o cubierta de polietileno.

De acuerdo con una realización, el al menos un detector de neutrones comprende al menos un detector proporcional de gas, particularmente un convertidor de neutrones de boro y más particularmente un detector Jalousie y / o un detector de neutrones de centelleo y / o un detector semiconductor de neutrones.

A diferencia de los detectores de neutrones ^3He , los convertidores de neutrones de boro (detector de estado sólido ^{10}B), tales como los detectores Jalousie, son mucho menos costosos. Por lo tanto, un intervalo de sondeo puede ser extendido sustancialmente para una larga duración. Por lo tanto, se pueden explorar grandes áreas del paisaje con convertidores de neutrones de boro. Por el contrario, el ^3He es caro y, como resultado, solo pequeñas cantidades de ^3He pueden ser dispuestas en un detector de modo que solo se pueden sondear pequeñas áreas de paisajes. Sin embargo, con los detectores de boro, el contenido de humedad del suelo en un área más grande y con una resolución espacial más alta se puede lograr durante un intervalo de sondeo típico de un día. También puede ser beneficioso proporcionar detectores múltiples con vistas a expandir los intervalos de sondeo o mejorar todavía más la fiabilidad. No se puede excluir que, en algunos casos, sea beneficioso proporcionar detectores basados en otras tecnologías (además de o como una alternativa a los convertidores de neutrones de boro), particularmente si los citados detectores son más baratos y / o más fiables y / o tienen una mayor duración de vida útil.

De acuerdo con una realización, el aparato comprende además al menos uno de entre:

- un segundo dispositivo de medición configurado para detectar al menos uno de entre humedad, presión, radiación de fondo, densidad de neutrones de fondo, altitud de flotación, temperatura, lapso de tiempo, peso de un objeto transportado, volumen del gas portador y / o presión del gas portador, geomorfología y / o cubierta vegetal natural dentro del área de observación de la superficie de la tierra; y / o
- una cámara configurada para obtener imágenes del paisaje geográfico.

El registro con otras medidas que no involucren energía de neutrones (como derivado), como las que se han mencionado más arriba, es favorable ya que las condiciones pueden ser registradas y las medidas que pueden ayudar a derivar el contenido de humedad del suelo de la densidad de neutrones y la distribución de energía pueden ser detectadas. Tales medidas, como por ejemplo la presión o temperatura barométrica, pueden ser útiles para la calibración del detector de neutrones. Sin embargo, los citados valores también pueden ser registrados independientemente de la detección de neutrones de observaciones meteorológicas adicionales. Se puede detectar una variedad de parámetros e introducirlos en un modelo de predicción del clima, predicción del clima severo y / o predicción de desastres ecológicos relacionados con fenómenos climáticos.

De acuerdo con una realización, las condiciones y / o características y / o funciones del aparato, tales como velocidad de flotación, posición, altitud de flotación, presión de gas portador y / o detección de medidas, son controladas dinámicamente y / o de manera predeterminada por medio de al menos un elemento de control de un control remoto, una computadora, un teléfono inteligente, un satélite o una estación base y / o los datos pueden ser intercambiadas entre el elemento de control y el aparato.

Un operador puede derivar dinámicamente una condición del suelo y / o clima a partir de los datos detectados cuando los datos se intercambian entre (elementos del) el aparato y los elementos de control en el suelo, tales como un control remoto y / o una computadora / servidor. En otras palabras, puede ser ventajoso transferir datos entre elementos de detección y computadoras y / o servidores, por ejemplo, a través de Internet móvil, para el almacenamiento instantáneo y / o análisis de los datos intercambiados. También es posible que la comunicación tenga lugar entre varios elementos de control y el dirigible a través de un receptor o transceptor en el aparato o dirigible. Por ejemplo, una señal GPS de satélites puede ser recibida por un receptor en el dirigible, el receptor puede estar conectado a una computadora ya sea en el dirigible o en tierra, de modo que la computadora pueda derivar la posición exacta y la velocidad de flotación. En base a tales datos, un operador puede controlar el trayecto de flotación y / o la velocidad del dirigible.

De acuerdo con otro aspecto, la presente invención proporciona un método para detectar el contenido de humedad y particularmente el contenido de humedad del suelo, como se define en la reivindicación 6.

De acuerdo con la invención, los neutrones son moderados al menos parcialmente por medio del gas portador. De acuerdo con todavía otra realización, el detector de neutrones puede ser un detector de gas proporcional, particularmente un convertidor de neutrones de boro y más particularmente un detector Jalousie y / o un detector de neutrones de centelleo y / o un detector semiconductor de neutrones. De acuerdo con la invención, el al menos un detector de neutrones se coloca dentro de un volumen lleno de gas portador del dirigible.

De acuerdo con todavía otra realización, el método puede comprender:

- detectar al menos uno de entre humedad, presión, radiación de fondo, densidad de neutrones de fondo, altitud en flotación, temperatura, lapso de tiempo, peso de un objeto transportado, volumen de gas portador y / o presión de gas portador, geomorfología y / o cobertura vegetal natural del área de debajo ; y / o
- obtener imágenes del paisaje geográfico.

De acuerdo con todavía otra realización, el método puede comprender:

- controlar dinámicamente y / o de manera predeterminada las condiciones y / o características y / o funciones del aparato, tales como velocidad en flotación, posición, altitud en flotación, presión de gas portador y / o detección de medidas por medio de al menos un elemento de control de un control remoto, una computadora, un teléfono inteligente, un satélite o una estación base; y / o
- intercambiar datos entre el elemento de control y el aparato.

De acuerdo con todavía otra realización, el método puede comprender:

- flotar a una altitud comprendida entre aproximadamente 5 y aproximadamente 200 m sobre el suelo; y
- explorar el área de observación de la superficie terrestre por medio de la flotación en direcciones de flotación predeterminadas; o
- posicionar el dirigible en coordenadas geográficas fijas; y / o
- fijar el dirigible a al menos un punto de referencia en el suelo por al menos un medio físico, particularmente una cuerda.

Una altitud preferencial entre 5 m y 200 m permite la exploración de un área grande en comparación con las áreas sondeadas con técnicas convencionales. Sin embargo, flotar a baja altitud, alrededor de 5 m a 10 m y hasta 50 m, permite sondear el contenido de humedad del suelo a nivel local con mayor precisión y resolución espacial mejorada. Si se van a examinar áreas más grandes, posiblemente en terreno irregular y / o por encima de una ciudad o un bosque, el dirigible puede flotar a altitudes más altas, por ejemplo, a altitudes comprendidas entre 100 m y 300 m. Dependiendo de los requisitos, el dirigible puede flotar a diferentes altitudes. Por lo tanto, el método para detectar el contenido de humedad del suelo en el citado rango de altitud permite aplicaciones versátiles para diferentes requisitos o limitaciones debido al paisaje o los deseos del operador.

Un control dinámico de la posición del dirigible es favorable si un operador no quiere predeterminar una trayectoria. Sin embargo, el pre - establecimiento de una trayectoria del dirigible puede ser beneficioso ya que la aviación automatizada requiere menos mano de obra y un control remoto / computadora que controla de forma autónoma la posición y la velocidad del dirigible. Esto puede incluir que el dirigible pueda ser operado como un avión no tripulado.

El dirigible puede estar fijado a una posición con respecto a la coordenada geográfica si se requiere el desarrollo / cambio de una condición en una determinada posición / área pequeña (en lugar de un área grande) a lo largo de un período de tiempo más largo. Se puede lograr una posición fija del dirigible controlando dinámicamente y posiblemente corrigiendo la deriva debido al viento o atando el dirigible por medio de al menos una cuerda a una posición fija en el suelo. La cuerda no solo se puede usar para fijar el dirigible, sino también para moverlo de manera controlada a una nueva posición, si es necesario. En tales casos, el dirigible también puede ser un globo. Sin embargo, puede ser beneficioso en términos de versatilidad tener la opción de fijar el dirigible en una posición determinada o moverlo sobre el paisaje preferido o predeterminado utilizando una cuerda y / o un control remoto operado por un operador y / o una máquina.

Puesto que el aparato de medición de humedad puede ser efectivo en costos, fiable, versátil, eficiente y manejado de manera directa, puede ser usado particularmente en terrenos irregulares, áreas que a menudo sufren desastres ecológicos y en particular en países menos desarrollados que sufren pobreza y un bajo grado de infraestructuras. Tales países a menudo experimentan desastres ecológicos relacionados con inundaciones y deslizamientos de tierra que causan la muerte de personas humanas, animales y / o pérdida de propiedades. Además, el aparato de medición de humedad puede ser aplicado por los agricultores para estimar el contenido de humedad del suelo y obtener cantidades eficientes / óptimas de riego. De nuevo, los países menos desarrollados, que a menudo sufren escasez de agua, pueden beneficiarse en particular del aparato de medición de humedad. Por lo tanto, el aparato de medición de humedad puede ser configurado para ser utilizado por una persona privada, tal como por un agricultor o por un operador profesional, tal como un meteorólogo o por una persona en nombre del gobierno o por una empresa. Por lo tanto, la capacitación para convertirse en un operador del aparato de medición de humedad puede ser simple dependiendo de los requisitos.

Otras realizaciones, aspectos / características, ventajas y funciones se describen con más detalle a continuación. Es evidente que las características que no se contradigan unas con las otras se puede suponer que son combinables y, por lo tanto, los siguientes ejemplos no están limitados a realizaciones particulares.

La figura 1 es un dibujo esquemático para demostrar la función del aparato de medición de humedad;

la figura 2 es un dibujo esquemático detallado del aparato de medición de humedad;
 la figura 3 es un diagrama que muestra una distribución de energía para los neutrones medidos en la atmósfera sobre el suelo con diferente contenido de humedad del suelo;
 la figura 4 es un diagrama que muestra la sensibilidad radial de los neutrones detectados en cuatro altitudes diferentes sobre el suelo con alto o bajo contenido de humedad del suelo;
 la figura 5 es una sección de corte / transversal entre las líneas q y q' del aparato de medición de humedad de la figura 2.

La figura 1, la figura 2 y la figura 5 muestra un sistema espacial de coordenadas tridimensionales, en el que las direcciones ortogonales están indicadas por medio de flechas relacionadas con los signos de referencia x, y, z. En esta representación, x e y se refieren a un plano horizontal o una superficie a una altitud particular, es decir, por ejemplo, un terreno plano G, sin considerar la curvatura de la tierra en una aproximación. z por otro lado, indica la dirección vertical. La flecha para la dirección vertical z se dirige "hacia arriba", es decir, hacia altitudes más altas. En otras palabras, la flecha está dirigida desde el suelo G de la tierra hacia el cielo / parte superior de la atmósfera.

La figura 1 ilustra esquemáticamente una realización de la invención, que también contiene características que no son esenciales para la invención. Tales características adicionales pueden estar indicadas como opcionales. En otras palabras, algunos aspectos - particularmente los aspectos relacionados con las reivindicaciones dependientes - como se ilustra en las figuras pueden no limitar el alcance de la invención, ya que los citados aspectos no son necesarios para realizar la invención de acuerdo con las reivindicaciones independientes.

Haciendo referencia a la figura 1 y a la figura 2, a continuación se describe un aparato 1 para sondear el contenido de humedad del suelo por medio de la detección de neutrones. Es evidente que un método para sondear el contenido de humedad del suelo por medio de la detección de neutrones está cubierto por la misma descripción. Al hacer referencia a los neutrones, se consideran principalmente los neutrones atmosféricos inducidos por rayos cósmicos. Sin embargo, también se pueden detectar neutrones cósmicos y, por lo tanto, deben estar cubiertos por el término. El aparato de medición de humedad 1 de acuerdo con la presente invención está configurado para detectar el contenido de humedad, preferiblemente el contenido de humedad del suelo. Alternativa o adicionalmente, es posible detectar también el contenido de humedad relacionado con la cubierta biológica (hierba, árboles, arbustos o bosques), niebla, niebla, nubes o campos de nieve.

El aparato de medición de humedad 1 de acuerdo con la presente invención comprende al menos un dirigible 2 y al menos un detector de neutrones 3, que se coloca dentro del dirigible como se indica en la figura 1 y en la figura 2. El detector de neutrones 3 está configurado para detectar particularmente neutrones térmicos. Estos neutrones térmicos pueden resultar de la desaceleración de neutrones más rápidos a energías que pueden ser detectadas eficientemente por el detector de neutrones 3, como se describirá con más detalle a continuación. El detector 3 puede ser un detector híbrido gaseoso con convertidores sólidos de neutrones tales como ^{10}B o un detector gaseoso con ^3He , por ejemplo. Preferiblemente, el detector 3 comprende varias capas de recubrimientos de carburo de boro sobre un cátodo, argón - CO_2 como un gas contador y un ánodo a base de cable, que se basa en el principio de un tubo proporcional o una cámara proporcional de múltiples cables.

Con más detalle, el detector de neutrones 3 se describe con respecto a la figura 1 y a la figura 2 que ilustran el aparato 1 que comprende un detector de neutrones 3. Alternativamente, particularmente para mediciones prolongadas se puede proporcionar una pluralidad de detectores de neutrones 3. Preferiblemente, el detector de neutrones 3 puede comprender un detector proporcional de gas. Más preferiblemente, el detector de neutrones 3 puede comprender un convertidor de neutrones de boro (^{10}B), particularmente un detector Jalousie. Opuesto a los detectores de ^3He , que a menudo se usan para la detección de neutrones ya que son compactos y eficientes, los detectores de neutrones de boro son menos costosos. El ^3He es tan caro (1500 \$ / l) que solo se pueden proporcionar pequeñas cantidades / volúmenes para su uso en detectores de neutrones 3, de modo que solo los largos intervalos de sondeo limitados por la tasa de recuento (generalmente 1 hora) son asequibles. Los detectores de estado sólido ^{10}B son mucho más baratos. Por lo tanto, se pueden usar volúmenes de detección más grandes que dan como resultado tasas de recuento de neutrones más altas y se pueden realizar intervalos de sondeo cortos (típicamente unos pocos minutos) para una precisión típica que se escala con la raíz cuadrada de los neutrones contados. En otras palabras, usando un detector de neutrones preferido basado en ^{10}B , tal como un detector Jalousie, se puede explorar un área grande, ya que el tiempo requerido para la medición en un solo punto en la superficie del paisaje puede ser mucho más corto en comparación con el caso en el que utilizan detectores de ^3He . Además, si el dirigible 2 flota con una velocidad muy lenta, se puede lograr una alta resolución espacial y / o un alto grado de fiabilidad, ya que el tiempo para promediar los datos medidos en un área determinada es largo. El detector preferido de ^{10}B comprende una cámara de cable y convertidores de carburo de boro diseñados específicamente para adaptarse a la geometría del dirigible 2, que es un dirigible no rígido en figura 1 y en la figura 2. Preferiblemente el detector de neutrones 3 es un detector basado en ^{10}B y más preferiblemente es un denominado detector Jalousie.

Sin embargo, también puede ser posible en realizaciones alternativas que un detector de ^3He se proporcione solo o además de otros detectores de neutrones. El detector de neutrones 3 también puede comprender un detector de neutrones de centelleo y / o un detector semiconductor de neutrones como alternativa o además de otros detectores de neutrones.

5 En cualquier caso, se prefiere aplicar un detector de neutrones que sea específicamente (o máximamente) sensible a los neutrones térmicos, es decir, neutrones con una energía cinética de aproximadamente 25 meV, o una energía en el rango de hasta aproximadamente 0,05 eV. Tales detectores de neutrones están ampliamente disponibles y son relativamente fáciles de manejar y mantener. Además, cuando se usa el citado detector en combinación con un moderador de acuerdo con la presente divulgación, resultó que una densidad de neutrones de neutrones térmicos detectados por el detector se puede usar como una medida fiable del contenido de humedad del suelo, como se describirá en más detalle más abajo.

10 Como ya se ha mencionado, el aparato de medición de humedad 1 comprende al menos un dirigible 2, preferiblemente el aparato 1 comprende un dirigible 2 como se ilustra en la figura 1. El dirigible 2 también se puede conocer como, o comprender, un dirigible o aerostato. El término dirigible 2 puede comprender dirigibles no rígidos (por ejemplo, dirigibles no rígidos, globos tales como globos sujetos o amarrados, y globos de flotación, etc.) o dirigibles semirrígidos. Incluso aunque el dirigible 2 también puede ser un dirigible rígido (por ejemplo, Zeppelins), se prefiere que el aparato de medición de humedad 1 comprenda un dirigible 2 que tenga una estructura no rígida. Un dirigible 2 con una estructura no rígida puede plegarse y empaquetarse cuando su volumen V todavía no está lleno de gas, por ejemplo, antes de la operación.

20 El peso de un dirigible 2 se debe principalmente a su casco. Sin embargo, el peso también puede estar determinado sustancialmente por el peso del combustible, que puede ser alto para vuelos de larga distancia y / o condiciones de viento. Puede ser preferible elegir un dirigible más pesado 2 si opera en condiciones difíciles, tales como vientos fuertes, ya que un dirigible más pesado 2 tiende a ser más estable frente a los cambios de dirección del viento. El peso total de un aparato de medición correspondiente 1 puede ser de hasta 1000 kg. Preferiblemente, el peso del aparato de medición 1 que comprende el dirigible 2, sin embargo es bajo, en particular alrededor de 100 kg. Por lo tanto, ese transporte puede ser simplificado. En otras palabras, un dirigible 2 de este tipo de acuerdo con la realización preferida tiene un peso bajo y puede adoptar un volumen V muy pequeño cuando no está en un modo operativo, por ejemplo cuando se vende o se envía a un cliente o se transporta al destino preferido en el que debe ser operado.

30 Preferiblemente, el dirigible 2 es un dirigible no rígido y adopta una longitud L entre 1 y 20 m, cuando se encuentra en la configuración de funcionamiento, es decir, cuando está lleno con el gas portador y está listo para flotar. Más preferiblemente, la longitud L del dirigible 2 es de aproximadamente 10 m. Preferiblemente, el dirigible 2 está configurado para ser controlada remotamente por un operador y / o una máquina por medio de una conexión inalámbrica a un control remoto 6 y / o una computadora 8 y / u otro elemento de control. Preferiblemente, el dirigible 2 está configurado para flotar en una dirección de flotación FD con el fin de explorar y sondear una cierta área en el suelo G. En la realización preferida, el dirigible 2 está configurado para ser controlado remotamente por medio de una conexión inalámbrica. En otra realización preferida, el dirigible 2 está configurado para ser controlado remotamente por medio de una conexión inalámbrica y por medio de una cuerda. El dirigible 2 puede flotar usando un motor que se coloca en el dirigible como se ilustra en la figura 1.

40 Alternativa o adicionalmente, el dirigible 2 puede ser conducido externamente por medio de una cuerda que es guiada ya sea manualmente por un operador y / o por un motor en el suelo G. El dirigible 2 también puede estar atado a una posición fija en el suelo G. Preferiblemente, el dirigible 2 está configurado para flotar en una dirección de flotación FD y para ser situado en una posición fija, por ejemplo por medio de una cuerda que sujeta el dirigible 2 al suelo G.

45 Alternativamente, el dirigible también puede tener una estructura rígida, también puede ser más pesado que 100 kg o incluso más pesado que 1000 kg y / o puede no ser plegable en una forma compacta. Por lo tanto, el dirigible 2 puede adoptar una longitud L menor que 1 metro, por ejemplo si el dirigible 2 comprende un globo, o más larga que 20 metros si el dirigible 2 comprende un Zeppelin. Puede ser necesario en una realización opcional que el volumen V se mantenga al menos parcialmente, particularmente si el dirigible 2 tiene una estructura semirrígida o rígida. Sin embargo, un dirigible 2 de este tipo en un estado no operativo puede llenarse con un gas no portador tal como el aire.

50 Preferiblemente, el dirigible 2 flota a altitudes H entre aproximadamente 5 m y aproximadamente 300 m, más preferiblemente entre aproximadamente 20 m y aproximadamente 200 m y todavía más preferiblemente entre aproximadamente 50 m y aproximadamente 150 m. El límite superior de la altitud H está limitado, por lo tanto, principalmente por la longitud promedio del trayecto libre de los neutrones que se refleja desde el suelo, en el que la longitud promedio del trayecto libre está relacionada con la intensidad de la señal, es decir, una medida relacionada con la densidad de neutrones / tasa de recuento. La longitud promedio del trayecto libre es una medida de la distancia promedio que una partícula necesita para interactuar con otra partícula. En la figura 1, la longitud promedio del trayecto libre se ilustra esquemáticamente usando los signos de referencia p_1 , p_2 , p_3 . Como se indica esquemáticamente por la longitud de las flechas, la longitud promedio del trayecto libre disminuye con el aumento de la altitud H, a medida que aumenta el número de eventos de dispersión que causan una pérdida de energía de los neutrones. Este proceso se describe a continuación con más detalle con respecto a la figura 3 y particularmente a la figura 4. Por lo tanto, se requiere ajustar u optimizar la altitud H para un área de sondeo suficientemente grande A y una señal de recuento de neutrones lo suficientemente fuerte en vista de la citada compensación. Alternativamente, el dirigible 2 puede estar configurado para flotar a altitudes H superiores a aproximadamente 300 m.

Preferiblemente, el dirigible 2 flota a una velocidad lenta sobre el suelo G entre aproximadamente 0 y aproximadamente 50 km/h, incluso más preferiblemente entre aproximadamente 0 y aproximadamente 20 km/h. El tiempo / período requerido para la detección de un punto de medición (típicamente en el rango de minutos) y de un área favorable típica (típicamente varias hectáreas) a una resolución espacial y fiabilidad lo suficientemente altas corresponden a la citada velocidad de flotación. Alternativamente, se pueden proporcionar motores que permitan que un gran dirigible 2 flote a una velocidad de hasta aproximadamente 125 km/h. Sin embargo, los dirigibles ligeros generalmente no superan una velocidad de 50 km/h. Sin embargo, no se prefiere flotar a una velocidad tan alta o incluso más rápida, ya que las mediciones sufren pérdida de fiabilidad y resolución espacial. Por lo tanto, es favorable y ventajoso proporcionar un dirigible que pueda flotar a una velocidad muy lenta en comparación con otras aeronaves, tales como girocopteros, helicópteros o pequeñas aeronaves. Preferiblemente, la velocidad se deriva de la duración preferida necesaria para la medición, el tamaño del área a explorar, la resolución espacial preferida y la fiabilidad deseada que se pretende conseguir.

Al menos partes del volumen V del dirigible 2, cuando está en un estado operativo y de flotación o listo para flotar, se llenan con un gas portador. Preferiblemente, el gas portador contiene átomos de hidrógeno elementales o moleculares y más preferiblemente el gas portador comprende hidrógeno y / o metano. Alternativamente, el gas portador puede ser uno o más de otros gases que son más livianos que el aire, tales como helio, aire calentado, amoníaco, neón, acetileno, diborano, monóxido de carbono, nitrógeno y eteno.

El gas portador que se proporciona en el volumen V del dirigible 2 también actúa al menos en parte como medio moderador para desacelerar los neutrones. Es necesario reducir la velocidad de los neutrones rápidos, ya que la sección transversal para la reacción de conversión, necesaria para detectar los neutrones, aumenta de forma inversamente proporcional con respecto a la velocidad decreciente del neutrón. Para detectar eficientemente los neutrones, es necesaria una alta tasa de detección (reactividad entre los neutrones y el material detector del detector de neutrones 3), que requiere neutrones lentos. Por lo tanto, se requiere moderar eficientemente los neutrones para permitir una alta tasa de detección. Se prefiere proporcionar al menos parcialmente átomos de hidrógeno elementales o moleculares como moderador, ya que el núcleo de hidrógeno, el protón, es más eficiente en la moderación de neutrones debido a su masa igual / similar. Lo más preferiblemente, en consideración a la eficiencia, el hidrógeno se usa como medio moderador, también con respecto a las propiedades de transporte y el precio. Otro gas preferible para ser utilizado como un medio portador y como un medio moderador es el metano.

Alternativamente, el aire calentado (posiblemente con contenido de agua o hidrógeno) también se puede usar al menos como gas portador y posiblemente como medio moderador. En otra alternativa, se proporcionan cámaras que separan unas de las otras las porciones de gas dentro del volumen V del dirigible 2. El detector de neutrones 3 se coloca en una cámara llena de un gas que actúa como medio moderador y otras cámaras pueden comprender diferentes gases que pueden tener buenas propiedades de transporte.

El detector de neutrones 3 se coloca dentro del dirigible 2 de modo que el detector de neutrones 3 esté rodeado por el gas que actúa como medio moderador. Como se ilustra con más detalle en la figura 2 y en la figura 5, el detector de neutrones 3 está posicionado sustancialmente en el centro del volumen V del dirigible 2. En esta configuración preferible, el detector de neutrones 3 está rodeado por el gas portador.

Alternativamente, el detector de neutrones 3 también puede ser situado sustancialmente en la parte inferior o superior, en la porción frontal o en la posterior del volumen V del dirigible 2.

Como se indica en la figura 1 y en la figura 2, el aparato de medición de humedad 1 también comprende un detector secundario 5 para sondear medidas secundarias que no están necesariamente relacionadas directamente con la detección de neutrones. Alternativamente, se puede proporcionar más de uno de los citados detectores secundarios 5 en el dirigible 2, sin embargo, de acuerdo con la invención, no se requiere explícitamente un detector secundario 5 para realizar la invención. Como se ilustra en la figura 1 y en la figura 2, el detector secundario 5 está situado en el exterior del dirigible 2. Alternativamente, uno o más detectores secundarios 5 también se pueden situar en el interior del dirigible 2 o colgando del dirigible 2. Uno o más detectores secundarios 5 pueden registrar medidas tales como humedad, presión barométrica, temperatura, tiempo y / o lapso de tiempo, radiación de fondo, particularmente densidad de neutrones de fondo, velocidad de flotación y altura / altitud H, posición sobre el suelo G, peso del objeto transportado, volumen / presión de gas portador, geomorfología y / o vegetación natural que cubre el área debajo de la sonda. En lugar de o además de un detector secundario 5, se puede proporcionar una cámara para obtener imágenes del paisaje geográfico de modo que los valores medidos se puedan correlacionar con la posición particular sobre el suelo en la que se han detectado los valores. La cámara puede ser una cámara digital y / o un dispositivo de visión nocturna.

Los valores / datos obtenidos por medio de un detector o detectores secundarios y / o cámaras pueden servir para obtener una imagen más completa de la condición en el suelo y / o el clima. Por ejemplo, si es necesario establecer una predicción o un sistema de alerta, tales valores pueden ser alimentados a un modelo de pronóstico para derivar y predecir posibles condiciones y probabilidades futuras. Además, los valores medidos pueden ser importantes para la calibración de la detección de neutrones. Por ejemplo, para aislar la tasa de señal / recuento relacionada con los neutrones sensibles al agua en el suelo con respecto a la tasa de señal / recuento generada por la radiación de fondo

que no es sensible al contenido de agua en el suelo, un espectro o tasa de señal / recuento sobre una fuente de agua local (por ejemplo, un mar) puede ser registrada y sustraerse del espectro o de la velocidad de señal / recuento registrada sobre el área de observación.

5 Además, la presión barométrica y la humedad pueden influir en la energía de los neutrones, ya que se pueden producir más o menos eventos de dispersión antes de ser detectados. La citadas variaciones y sensibilidades que alteran la medición pueden ser derivadas de estos valores. Al calibrar la medición, tales efectos se pueden excluir / restar / aislar de la señal medida para aislar la información que es indicativa únicamente del contenido de humedad del suelo.

10 La radiación de fondo y la densidad de neutrones de fondo pueden referirse a la radiación y la densidad de neutrones, respectivamente, excluyendo la densidad de neutrones de los neutrones que se han dispersado y / o interactuado con las moléculas de agua en el suelo. En otras palabras, el valor de señal / densidad que es medida en el detector y que es originada por la radiación de fondo y los neutrones de fondo, no se origina de neutrones que son sensibles al agua en el suelo, ya que no se han dispersado ni interactuado con las moléculas de agua en el suelo. Por lo tanto, tales
15 datos de fondo que se incluyen en el espectro medido no son indicativos del contenido de agua en el suelo y, por lo tanto, se restan preferiblemente del espectro medido o de la velocidad / intensidad de la medición.

Como se indica en la figura 1 y en la figura 2, el aparato de medición de humedad 1 también comprende un receptor y / o un transmisor / transceptor 4 para la comunicación con elementos de control (control remoto y / o teléfono móvil
20 6, servidor 7, computadora 8 y satélite 9) lejos del aparato de medición 1. Alternativamente, se puede proporcionar más de uno de los citados transceptores 4 en el dirigible 2, sin embargo, de acuerdo con la invención, no se requiere explícitamente un transceptor 4. Como se ilustra en la figura 1 y en la figura 2, el transceptor 4 se coloca en el exterior del dirigible 2. Alternativamente, uno o más transceptores 4 también se pueden colocar en el interior del dirigible 2 o colgar del dirigible 2. El transceptor 4 se puede usar para recibir instrucciones que, por ejemplo, se requerirán si el
25 dirigible 2 ha sido controlado a distancia. Por ejemplo, un operador o una máquina en el suelo G pueden controlar por control remoto y / o teléfono móvil 6 y / o computadora 8, la trayectoria del dirigible 2. Esto puede ser realizado de una manera predeterminada o dinámica. El transceptor 4 también puede recibir señales GPS de los satélites 9 para determinar la posición exacta con respecto al suelo G. La posición y / o la velocidad de flotación pueden ser identificadas por una computadora 8 en el suelo G o por una computadora en el receptor GPS, que pueden transmitir
30 la posición a un operador o una máquina en el suelo G. También es posible que se intercambien datos entre el transceptor 4 y el elemento de control en el suelo G. Por ejemplo, los datos detectados por el detector de neutrones 3 o el detector o detectores secundarios opcionales 5 pueden ser transmitidos instantáneamente a una computadora 8 y / o a un servidor 7 para almacenamiento y / o análisis. Otra opción puede ser transmitir datos de calibración desde una computadora 8 a un transceptor 4 en el dirigible 2 para calibrar los detectores 3, 5.

35 Para comprender mejor la tecnología de detección / sondeo de rayos y de neutrones, se proporcionan la figura 3, la figura 4 y la figura 5 y se hace referencia a las mismas en la siguiente explicación.

40 La radiación que golpea la Tierra se origina principalmente en nuestra galaxia, por ejemplo, por la aceleración en regiones de choque de restos de supernovas. Los protones son la parte principal del flujo de partículas, acompañados por otros núcleos cargados. Los rayos cósmicos penetran en la atmósfera superior y generan neutrones principalmente por procesos de colisión secundaria. El espectro se describe en detalle en la figura 3. En la parte superior de la atmósfera, está compuesto principalmente por neutrones de alta energía, que se propagan hacia la tierra. A medida que se absorben muchos neutrones durante este proceso de transporte, la intensidad de esta radiación entrante
45 disminuye con la profundidad atmosférica, o se incrementa con la altitud.

Como se indica en la distribución de densidad de energía ED_2 relacionada con grandes altitudes en la figura 1, un pico dominante está presente en la distribución de densidad de energía (espectro) con una alta energía E. Este pico todavía es visible en la distribución de densidad de energía ED_1 relacionada con bajas altitudes en la figura 1. Esto indica que
50 los neutrones cósmicos también alcanzan el suelo G ya que su energía es extremadamente alta y su longitud promedio de trayecto libre es relativamente larga.

Este pico a la energía más alta se centra entre aproximadamente 10 MeV y aproximadamente 1 GeV, aproximadamente a alrededor de 100 MeV, siendo característico de los neutrones que se originan de una reacción
55 primaria con una partícula extraterrestre de alta energía en una región periférica / parte superior de la atmósfera. Haciendo referencia a continuación a la figura 3, Se ilustra la distribución de densidad de energía de los neutrones relacionados con cuatro contenidos diferentes de humedad del suelo. Las 4 líneas diferentes (de arriba a abajo) dan una idea sobre la distribución de intensidad para 1%, 10%, 20% y 40% de humedad relativa en el suelo. El pico más a la derecha indica neutrones atmosféricos y cósmicos de alta energía. Este pico es característico para neutrones de
60 reacciones primarias en la atmósfera por partículas extrasolares indicadas con el signo de referencia "a" y presentes en todas las curvas en una región de alta energía. Estos neutrones constituyen una gran parte de la radiación entrante orientada hacia abajo.

65 Los neutrones también pueden ser productos / partículas de rayos cósmicos secundarios también conocidos como radiación cósmica secundaria (inserción de la figura 1 que hace referencia a una posible reacción que provoque una lluvia cósmica). Las partículas de rayos cósmicos secundarios (por ejemplo, muones, protones, piones, neutrones)

son generadas por interacciones electromagnéticas y nucleares, principalmente en la parte exterior de la atmósfera de la Tierra. En otras palabras, los citados neutrones cósmicos se originan a partir de reacciones nucleares con partículas en la región periférica de la atmósfera, las reacciones causadas por partículas estelares o solares (por ejemplo, "vientos solares"), tales como los protones de alta energía como se muestra en el recuadro de la figura 1 o electrones y partículas α , cuando entran en la atmósfera. La entidad de partículas que se generan en tales eventos se llama, por lo tanto, lluvia de partículas / cósmica. En tales reacciones nucleares, las partículas extraterrestres de alta energía golpean partículas atmosféricas o partículas en la periferia de la atmósfera y, como resultado, se puede producir la división de las partículas, es decir, una partícula se destruye en favor de otras partículas que son generadas en el evento. Una reacción de este tipo en la que se generan (entre otros) neutrones puede tener lugar como se ilustra en el recuadro de la figura 1. Como se ilustra allí, un protón solar o estelar de alta energía colisiona con un átomo o molécula en la periferia de la atmósfera. Típicamente, los protones de alta energía inducen la espalación de núcleos de nitrógeno u oxígeno en la atmósfera. Se genera una variedad de partículas, tales como μ , π , ν , γ , electrones y neutrones, ya sea en la reacción o en una cascada de reacciones. Estos productos, llamados partículas / radiación secundarias, también pueden ser altamente energéticos y causar reacciones en cascada adicionales.

Además de las reacciones nucleares, los eventos también comprenden dispersión elástica. Un neutrón, por ejemplo, puede perder energía al chocar y dispersarse elásticamente con partículas de luz atmosférica, particularmente átomos de hidrógeno que tienen una masa similar. Cuantos más eventos de dispersión haya experimentado un neutrón, menos energía tendrá. Esto se correlaciona directamente con el llamado trayecto libre promedio, una medida en promedio de lo lejos que puede viajar un neutrón antes de colisionar con una partícula. Los neutrones cósmicos o atmosféricos a altitudes muy altas todavía no han experimentado muchos eventos de dispersión, teniendo todavía una alta energía y una larga longitud de trayecto libre promedio. Además, como la presión en altitudes elevadas es muy baja debido a una baja densidad de partículas atmosféricas, la probabilidad de que los neutrones choquen con una partícula sigue siendo baja.

Haciendo referencia a la figura 3, el régimen de energía para los neutrones secundarios rápidos se indica por medio del signo de referencia "b". Este segundo pico desde la derecha (es decir, el lado de alta energía) está relacionado con los neutrones de evaporación. Estos neutrones se liberan de las interacciones de partículas cósmicas de alta energía con otros átomos que no son de hidrógeno. Tienen energías en el rango de aproximadamente uno a varios MeV. Haciendo referencia a la figura 1, cada uno de los espectros de distribución de energía ED_2 , ED_1 para altitudes altas y bajas contiene este pico.

Por debajo de aproximadamente 1 MeV, los neutrones son desacelerados eficientemente por colisiones elásticas, particularmente en el rango limitado por las barras discontinuas como se ilustra en la figura 3 (1 eV - 0,1 MeV). Así, el suelo actúa como reflector y generador o moderador de neutrones. El proceso de moderación (desaceleración) de los neutrones rápidos es más eficiente para las colisiones con hidrógeno. Sobre un cuerpo mojado (por ejemplo, suelo mojado o una superficie de agua tal como un lago), la desaceleración es más eficiente y necesita menos colisiones para perder energía.

Todos los demás elementos típicos son significativamente más pesados que el hidrógeno y, por lo tanto, las colisiones elásticas con tales átomos no conducen principalmente a una pérdida significativa de energía de los neutrones dispersos. Por lo tanto, un suelo húmedo modera eficientemente la radiación de neutrones cósmicos entrantes, mientras que un suelo seco refleja más bien los neutrones.

Un rango eficiente en el espectro para la detección de neutrones sensibles al agua que se usa preferiblemente en relación con la presente descripción es el rango de energía que está marcado con el signo de referencia "d" y las dos barras discontinuas como se indica en la figura 3. Particularmente, la curva de distribución de densidad de energía ED_1 para bajas altitudes de la figura 1 indica una alta densidad de neutrones de tales neutrones epitérmicos cerca en el suelo G (el rango de energía sensible al agua de la curva ED_1 marcada con múltiples barras verticales). Con respecto a este rango de energía, el número de neutrones, que transportan información sobre el estado en el suelo, disminuye con la altura, como es indicado por la curva ED_2 de distribución de densidad de energía para grandes altitudes de la figura 1 (la curva ED_2 del rango de energía sensible al agua también marcada con múltiples barras verticales). Las flechas (p_1 , p_2 , p_3) muestran un ejemplo de una trayectoria de neutrones, que termina en el dirigible (por ejemplo, dirigible no rígido) en la figura 1. La longitud promedio del trayecto libre para los neutrones epitérmicos es entre aproximadamente 50 m a aproximadamente 200 m. Por lo tanto, esta es la altitud sobre el suelo más preferida para usar la presente invención, es decir, de la manera más preferible, el dirigible puede flotar en altitudes en este régimen, por ejemplo, entre aproximadamente 10 m y aproximadamente 300 metros.

El régimen epitérmico y rápido se extiende hacia abajo hasta el régimen térmico. En promedio, los neutrones no se desaceleran más ya que tienen energías cinéticas que corresponden al material circundante y, por lo tanto, la transferencia de energía por colisión en promedio es cero. Tales neutrones se dispersan localmente hasta que son absorbidos. Por lo general, los neutrones son "termalizados" por el agua después de aproximadamente 20 colisiones. Como tales neutrones térmicos tienen una longitud de trayecto significativamente más corta y una mayor probabilidad de absorción que los neutrones epitérmicos, no son transportados en largas distancias. El pico indicado con el signo de referencia "c" en la figura 3 corresponde a los citados neutrones equilibrados térmicamente. El mismo pico de baja energía también está presente en la distribución de densidad de energía ED_1 para neutrones a bajas altitudes.

Como se puede ver en la figura 3, los picos / regiones relacionados con neutrones rápidos, epitérmicos y lentos / térmicos (b, d, c, respectivamente) revelan información sobre el contenido de humedad del suelo. Debido a la sensibilidad al contenido de humedad, el rango de energía relacionado con los neutrones rápidos y epitérmicos se selecciona preferiblemente para derivar el contenido de humedad del suelo, particularmente la región que está indicada por medio de las dos barras discontinuas en la figura 3.

El pico, relacionado con los neutrones de alta energía, no revela una sensibilidad al contenido de humedad del suelo ya que la energía de los neutrones es demasiado alta y, por lo tanto, la sección transversal de los neutrones para la interacción con las moléculas de agua es demasiado pequeña.

Los neutrones de particular interés se desaceleran a las energías de neutrones térmicos que pueden ser detectadas eficientemente por el detector 3. Los neutrones térmicos son neutrones libres que tienen una distribución de energía cinética con un pico de aproximadamente 0,025 eV (es decir, aproximadamente $4,0 \times 10^{-21}$ J o 2,4 MJ / kg, correspondiente a una velocidad de 2,2 km/s). Esta energía corresponde a la velocidad más probable a una temperatura de aproximadamente 290^oK, es decir, aproximadamente 17°C o aproximadamente 62°F (para la distribución de Maxwell - Boltzmann para esta temperatura). Después de una serie de colisiones / eventos de dispersión con núcleos en un medio (por ejemplo, un moderador de neutrones) a esta temperatura, los neutrones epitérmicos inicialmente llegan aproximadamente a este nivel de energía, siempre que no sean absorbidos. Con referencia a la figura 3, el dominio de energía que caracteriza a los neutrones térmicos es la región del espectro indicada por "neutrones térmicos".

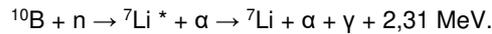
La sección transversal efectiva de absorción de neutrones de los neutrones térmicos para un nucleido dado es diferente y, a menudo, mucho más grande que la sección transversal de absorción de los neutrones rápidos. Por lo tanto, tales neutrones térmicos a menudo pueden ser absorbidos más fácilmente por un núcleo atómico. En este proceso de absorción, se genera un isótopo más pesado, a menudo inestable, del elemento químico.

Al acercarse al aparato de medición de humedad 1, una porción considerable de neutrones dispersados y / o reflejados en el área de observación de la superficie de la tierra se encuentra en el rango de energía de las energías características para los neutrones epitérmicos y / o los neutrones rápidos, antes de ser desacelerados. Se puede considerar que el rango de energía de los neutrones epitérmicos cubre un rango entre aproximadamente 0,05 eV y aproximadamente 0,4 eV. Se puede considerar que el rango de energía de los neutrones rápidos cubre un rango entre aproximadamente 1 MeV y aproximadamente 20 MeV.

Los neutrones que son particularmente indicativos del contenido de agua en el suelo tienen energías que se encuentran en el dominio sensible al agua "d" del espectro. A este respecto, se hace referencia al cuadrado gris de la figura 3 de acuerdo con lo indicado por "neutrones epitérmicos / rápidos, dominio sensible al agua" o "d" (también indicado por las dos barras discontinuas en la figura 3). En particular, los neutrones que se encuentran en el rango de energía entre aproximadamente 1 eV y aproximadamente 100 keV son más sensibles al contenido de agua en el suelo. Las secciones transversales de dispersión de los neutrones a tales energías permiten la interacción, tal como la dispersión con núcleos en el suelo, mientras que la absorción es relativamente pequeña. De esta manera, los neutrones que se encuentran en este rango de energía particular cuando alcanzan al moderador antes de ser desacelerados / moderados por el medio moderador a las energías de los neutrones térmicos, son los neutrones de interés específico para la medición actual del contenido de agua en el suelo. Se manifiesta que los neutrones de interés para la determinación del contenido de agua en el suelo tienen energías en el dominio sensible al agua (es decir, 1eV a 100 keV) cuando alcanzan el moderador y antes de interactuar con el medio moderador. Después del proceso de moderación, los neutrones tienen energías características de los neutrones térmicos. El detector 3 es capaz de detectar eficientemente tales neutrones térmicos.

Los neutrones que tienen energías fuera de este dominio sensible al agua y que por lo tanto no son sensibles a las moléculas de agua en el suelo pueden considerarse neutrones de fondo. Tales neutrones de fondo pueden ser, por ejemplo, neutrones rápidos o de alta energía en rangos de energía superiores a 100 keV. A este respecto, se hace referencia a los dominios de energía indicados por "creación rápida de neutrones por evaporación" y "neutrones de alta energía (radiación cósmica primaria)". También los neutrones que ya están termalizados cuando alcanzan el dirigible 2 y que no son sensibles al contenido de agua en el suelo se consideran neutrones de fondo. Los neutrones de fondo no contribuyen a la determinación del contenido de agua en el suelo. Por lo tanto, la parte del espectro de densidad / energía de neutrones generada por los neutrones de fondo se debe restar del espectro medido para extraer la parte del espectro del que se puede derivar el contenido de agua.

Como se ha mencionado más arriba, los neutrones en el rango de energía epitérmica son altamente sensibles al contenido de humedad del suelo. El detector de neutrones 3 está configurado específicamente para detectar neutrones que están en este rango de energía cuando se acercan al dirigible 2. Sin embargo, para aumentar la probabilidad de ser detectados en relación con la sección transversal de la reacción, esos neutrones epitérmicos se desaceleran / moderan todavía más justo antes de entrar en el detector. Como preferentemente los detectores de neutrones ¹⁰B tales como los detectores Jalousie se utilizan para la presente invención, la reacción / interacción entre ¹⁰B y los neutrones sigue de la manera más probable la siguiente reacción de conversión:



El detector, que es preferiblemente un contador proporcional, de hecho mide las cargas que son generadas proporcionalmente al número de reacciones causadas por los neutrones. Una unidad de procesamiento de una computadora 8 puede entonces analizar la medición y derivar una densidad de neutrones. Como resultado, una dependencia angular de la densidad de neutrones es indicativa del contenido de humedad del suelo, como se ilustra como las líneas discontinuas (S_1 , S_2) de la figura 1. Por lo tanto, las líneas discontinuas muestran la sensibilidad radial de los neutrones que tienen energía epitérmica. La densidad de neutrones se mide desde el centro del área A a la altitud en flotación H del sensor. Aquí los casos de suelo seco (línea discontinua derecha S_1) y húmedo (línea discontinua izquierda S_2) se ilustran como distribuciones de intensidad radial. En otras palabras, la figura 1 ilustra esquemáticamente las dependencias de ángulo y el contenido de humedad de la densidad de neutrones en las curvas de señal S_1 , S_2 . Cuanta menos humedad haya en el suelo, como es indicado por la curva de señal S_1 , más neutrones se "reflejan" desde la superficie de la tierra a medida que los neutrones interactúan con un número menor de moléculas de agua que causan dispersión. Para el caso en el que el suelo contiene un alto contenido de humedad, -como es indicado por la curva S_2 , se reflejan menos neutrones desde la superficie de la tierra hacia el dirigible puesto que se produce una mayor dispersión entre las moléculas de agua y los neutrones.

La energía de los neutrones es una cantidad medida indirectamente. El contador de neutrones cuenta los neutrones térmicos. El moderador desacelera los neutrones a energías térmicas, lo cual es un proceso estadístico. Por lo tanto, la energía cinética antes de ingresar al dispositivo (1) solo puede ser estimada por medio de estadísticas de conjunto.

En la figura 4, un diagrama más detallado ilustra la dependencia entre la densidad de neutrones / sensibilidad radial detectada (eje y) y la distancia de la superficie radial desde el detector (eje x) y la altitud / altura de flotación sobre el suelo (líneas de puntos, discontinuas, de trazos y puntos, continua). Se trazan curvas para cuatro altitudes diferentes, es decir, 10, 50, 100 y 190 m sobre el suelo G (líneas de puntos, discontinuas, de trazos y puntos, continua, respectivamente), con respecto a la distancia de la superficie radial R desde el detector 3, como ya se indicó en la figura 1 con el signo de referencia "R". Todas las curvas se refieren a un contenido de humedad del suelo del 10%.

Como se puede ver en las curvas relacionadas con las altitudes H de 50 m (líneas discontinuas), 100 m (líneas de trazos y puntos) y 190 m (líneas continuas), cada curva alcanza su punto máximo a una cierta distancia radial R. Los máximos correspondientes ocurren en distancias cortas R para altitudes bajas H. Por ejemplo, las curvas relacionadas con una altitud en flotación H de 50 m (líneas discontinuas) revelan una densidad máxima de neutrones para una distancia radial R entre la fuente y la posición sobre el suelo G del dirigible de aproximadamente 25 m, a diferencia de los 80 - 90 m para las curvas relacionadas con la altitud H de 190 m. Los máximos de las curvas relacionadas con una altitud H de 10 m no son visibles en el diagrama actual ya que el valor es demasiado grande para estar en el mismo diagrama con las otras curvas. También es obvio en el diagrama que las formas de las curvas se aplanan para altitudes más altas H, lo que se debe a la mayor cantidad de eventos de dispersión experimentados por los neutrones que se encuentran en el trayecto desde el suelo G hasta el dirigible 2. Cuanto más neutrones experimentan dispersión, a medida que se pierde más energía por neutrón, los neutrones sufren una pérdida en la longitud promedio del trayecto libre y se equilibran antes de llegar al dirigible 2 y al detector de neutrones 3. En otras palabras, para altitudes de flotación altas H, menos neutrones reflejados por la tierra G llegan al detector 3 ya que su energía y las longitudes medias de trayecto libre son bajas debido a un gran número de eventos de dispersión con moléculas en sus trayectos en el aire. Cuando se equilibran, los neutrones se pueden absorber fácilmente y su dirección de movimiento se vuelve aleatoria debido al movimiento browniano.

En la figura 4, las distancias superficiales radiales R desde el detector 3, en el que se mide el 86% de la tasa total de recuento de neutrones, se ilustra como líneas verticales para las primeras tres altitudes H. La distancia R es de aproximadamente 213 m (línea vertical de puntos) para una altitud H de 10 m. La distancia R es de 254 m (línea vertical discontinua) para una altitud H de 50 m y 299 m (línea vertical de trazos y puntos) para una altitud H de 100 m. Estos valores reflejan nuevamente las dependencias que se han explicado más arriba de que la sensibilidad radial y la tasa de detección de neutrones son mayores para altitudes H más bajas. De acuerdo con estas dependencias y los requisitos de detección, tal como la resolución espacial, el tamaño del área a explorar, la duración requerida para completar una medición para un área determinada, se puede calcular cuál sería la altitud óptima H. Si un operador no desea lograr una resolución espacial alta pero necesita explorar un área grande, es ventajoso seleccionar una altitud H que sea alta, tal como alturas H entre 150 y 300 m. Si es necesario explorar un área pequeña A con una resolución espacial alta, es necesario seleccionar una altura H baja, tal como de 10 a 100 m.

Para derivar la sensibilidad del contenido de humedad del suelo, puede ser necesario determinar las dependencias de otras medidas. Por lo tanto, también puede ser necesario registrar o determinar los valores que son esenciales para una calibración, tales como la humedad, la temperatura, la altitud de flotación H y la densidad de neutrones medidos sobre un suelo saturado de humedad que se puede realizar por medio de la detección de la densidad de neutrones sobre un lago. Los valores que pueden ser necesarios para la calibración, tales como la altitud de flotación H, temperatura, posición, densidad de neutrones medidos sobre tierra saturada de humedad u otros, pueden ser detectados en el dirigible 2. Por lo tanto, uno o más detectores para mediciones secundarias pueden ser instalados en el dirigible 2. Otros valores, que pueden ser necesarios para la calibración, tales como la actividad solar y la

intensidad relacionada de la generación de neutrones cósmicos, pueden obtenerse de fuentes publicadas, tales como las estaciones de monitorización de neutrones en línea. Tales valores pueden ser transmitidos para la calibración a una máquina opcional transportada por el dirigible 2. La calibración puede ser automatizada y realizada por una máquina o puede hacerse "a mano". Los valores pueden ser introducidos en un programa automáticamente o los datos pueden ingresarse en un programa "a mano". El programa de calibración puede ser almacenado en una máquina / computadora que es transportada por el dirigible o el programa de calibración puede ser almacenado en una máquina / computadora que está en el suelo, posiblemente implementada en una estación base. Los datos secundarios que podrían ser medidos en el dirigible pueden ser transmitidos a una máquina y / o control remoto en tierra para la calibración y / o registro.

La figura 5 es una sección transversal / corte del aparato de medición de humedad 1 entre los puntos q y q', como se indica en la figura 2. El dibujo ilustra esquemáticamente cómo un neutrón es frenado en su trayecto por el moderador en el volumen V del dirigible lleno de gas moderador 2. Inicialmente, el neutrón de interés tiene una longitud promedio de trayecto libre p_3 (ver también la figura 1) al acercarse y entrar en el volumen V del dirigible 2 relacionado con una energía, que está en el rango de neutrones epitérmicos (como ya se ha explicado en relación con la figura 3). Al chocar con las partículas del moderador, que también se usan como gas portador en el dirigible 2, los neutrones se frenan a energías más bajas. Por lo tanto, la probabilidad de la interacción que se ha descrito más arriba con el medio detector se vuelve alta a medida que la sección transversal efectiva para una interacción aumenta con energías más bajas. En el caso anterior para la reacción de conversión que se ha descrito más arriba, el medio detector es ^{10}B , relacionado con una realización preferida. En línea con la pérdida de energía, la longitud promedio del trayecto libre, como se indica como ejemplo por la longitud de las flechas de p_4 y p_5 , se acorta antes de ingresar al detector de neutrones 3.

La posición del detector 3 como se indica como un cuadrado de línea continuas en la figura 5 está preferiblemente centrada con respecto al volumen V del dirigible 2. Alternativamente, el detector 3 puede tener una posición que es diferente del centro, como lo indican los cuadrados de líneas discontinuas. Dependiendo de la posición, el detector 3 puede ser más selectivo para los neutrones con una determinada dirección de entrada, ya que los neutrones que entran desde un lado pueden no desacelerarse en la misma medida que los neutrones que entran desde el otro lado.

Lista de referencias numéricas

- 1 aparato de medición de humedad
- 2 dirigible
- 3 detector de neutrones
- 4 transceptor
- 5 detector para medidas secundarias
- 6 control remoto / teléfono móvil
- 7 servidor
- 8 dispositivo informático
- 9 satélite
- a energía de pico
- A área de la superficie de la tierra (área de observación)
- b energía de pico
- c energía de pico
- d región de energía para neutrones epitérmicos / rápidos
- E energía
- ED₂ distribución de energía de neutrones en altitudes elevadas / en la atmósfera superior
- ED₁ distribución de energía de neutrones en altitudes bajas / cerca de la superficie de la Tierra
- FD dirección de flotación
- G suelo
- H altura / altitud de flotación
- L longitud del dirigible
- p_{1-5} longitud promedio del trayecto libre de un neutrón inducido por rayos cósmicos (CRAN)
- q, q' puntos entre la línea de corte
- R radio de un área circular para un cierto corte de intensidad de señal
- S₁ dependencia angular de la densidad de neutrones medida con bajo contenido de humedad del suelo
- S₂ dependencia angular de la densidad de neutrones medida con alto contenido de humedad del suelo
- V volumen lleno de gas del dirigible
- x coordenada espacial
- y coordenada espacial
- z coordenada espacial

REIVINDICACIONES

- 5 1. Aparato de medición de humedad (1) para detectar el contenido de humedad, particularmente el contenido de humedad del suelo, comprendiendo el aparato (1):
- un dirigible (2) configurado para flotar sobre un área de observación (A) de la superficie de la tierra, cuando un volumen lleno de gas portador (V) del dirigible (2) está lleno al menos parcialmente con un gas portador;
 - un moderador de neutrones transportado por el dirigible y configurado para desacelerar los neutrones dispersados y / o reflejados en el área de observación de la superficie de la tierra, en el que el gas portador está configurado para servir al menos parcialmente como moderador de neutrones;
 - un detector de neutrones (3) rodeado al menos parcialmente por el moderador de neutrones y configurado para detectar una densidad de neutrones, en el que el al menos un detector de neutrones (3) está colocado dentro del volumen (V) lleno de gas portador del dirigible (2) ; y
 - un módulo de evaluación configurado para determinar el contenido de humedad a partir de la densidad de neutrones detectada.
- 20 2. Aparato de medición de humedad (1) de la reivindicación 1, en el que el gas portador es al menos parcialmente uno de entre hidrógeno, helio, aire calentado, metano, amoníaco, neón, acetileno, diborano, monóxido de carbono, nitrógeno y eteno o una mezcla de los mismos.
- 25 3. Aparato de medición de humedad (1) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el detector de neutrones (3) comprende al menos un detector proporcional de gas, particularmente un convertidor de neutrones de boro y más particularmente un detector Jalousie y / o un detector de neutrones de centelleo y / o un detector semiconductor de neutrones.
- 30 4. Aparato de medición de humedad (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el aparato (1) comprende además al menos uno de entre :
- un segundo dispositivo de medición configurado para detectar al menos uno de entre humedad, presión, radiación de fondo, densidad de neutrones de fondo, altitud en flotación (H), temperatura, lapso de tiempo, peso de un objeto transportado, volumen de gas portador y / o presión de gas portador, geomorfología y / o cubierta vegetal natural dentro del área de observación (A) de la superficie de la tierra; y / o
 - una cámara configurada para obtener imágenes de un paisaje geográfico.
- 35 5. Sistema de medición de humedad que comprende:
- al menos un elemento de control de un control remoto (6), una computadora (8), un teléfono inteligente (6), un satélite (9) o una estación base; y
 - un aparato de medición de humedad (1) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, configurado para intercambiar datos con al menos un elemento de control, en el que los datos pueden ser intercambiados entre el elemento de control y el aparato de medición de humedad (1) para el control dinámico sobre y / o la predeterminación de condiciones y / o características y / o funciones del aparato de medición de humedad (1), tales como la velocidad de flotación, la posición, la altitud de flotación (H), la presión del gas portador y / o la detección de medidas se controlan dinámicamente y / o de manera predeterminada.
- 45 6. Método para detectar el contenido de humedad y particularmente el contenido de humedad del suelo que comprende los pasos de:
- proporcionar al menos un dirigible (2) que tiene un volumen lleno de gas portador (V) al menos parcialmente lleno con un gas portador, el dirigible flota sobre un área de observación (A) de la superficie de la tierra;
 - llevar al menos un detector de neutrones (3) en al menos un dirigible (2), de modo que el detector de neutrones esté rodeado al menos en parte por un moderador de neutrones;
 - detectar una densidad de neutrones por medio del detector de neutrones; y
 - determinar el contenido de humedad de la densidad de neutrones detectada, en el que los neutrones se moderan al menos en parte por medio del gas portador, en el que el al menos un detector de neutrones (3) se coloca dentro del volumen lleno de gas portador (V) del dirigible (2).
- 55 7. Método de acuerdo con cualquiera de la reivindicación 6, en el que el detector de neutrones es un detector de gas proporcional, particularmente un convertidor de neutrones de boro y más particularmente un detector Jalousie y / o un detector de neutrones de centelleo y / o un detector semiconductor de neutrones.
- 60 8. Método de la reivindicación 6 o 7, que comprende además el paso de:

- detectar al menos uno de entre humedad, presión, radiación de fondo, densidad de neutrones de fondo, altitud en flotación (H), temperatura, lapso de tiempo, peso de un objeto transportado, volumen de gas portador y / o presión de gas portador, geomorfología y / o cubierta natural vegetal del área inferior; y / o
- obtener imágenes de un paisaje geográfico.

5

9. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, que comprende además el paso de:

- controlar dinámicamente y / o de manera predeterminada las condiciones y / o características y / o funciones del dirigible (2), tales como la velocidad de flotación, la posición, la altitud de flotación (H), la presión de gas portador y / o la detección de medidas por medios de al menos uno de entre un elemento de control de un control remoto (6), una computadora (8), un teléfono inteligente (6), un satélite (9) o una estación base; y / o
- intercambiar datos entre el elemento de control y el dirigible (2).

10

10. Método de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que el método comprende:

15

- flotar en una altitud entre 5 m y 200 m sobre el suelo (G); e
- inspeccionar el área de observación (A) de la superficie de la tierra por medio de la flotación en direcciones de flotación predeterminadas (FD); o
- posicionar el dirigible en coordenadas geográficas fijas; y / o

20

- fijar el dirigible (2) en al menos un punto de referencia en el suelo (G) por al menos un medio físico, particularmente una cuerda.

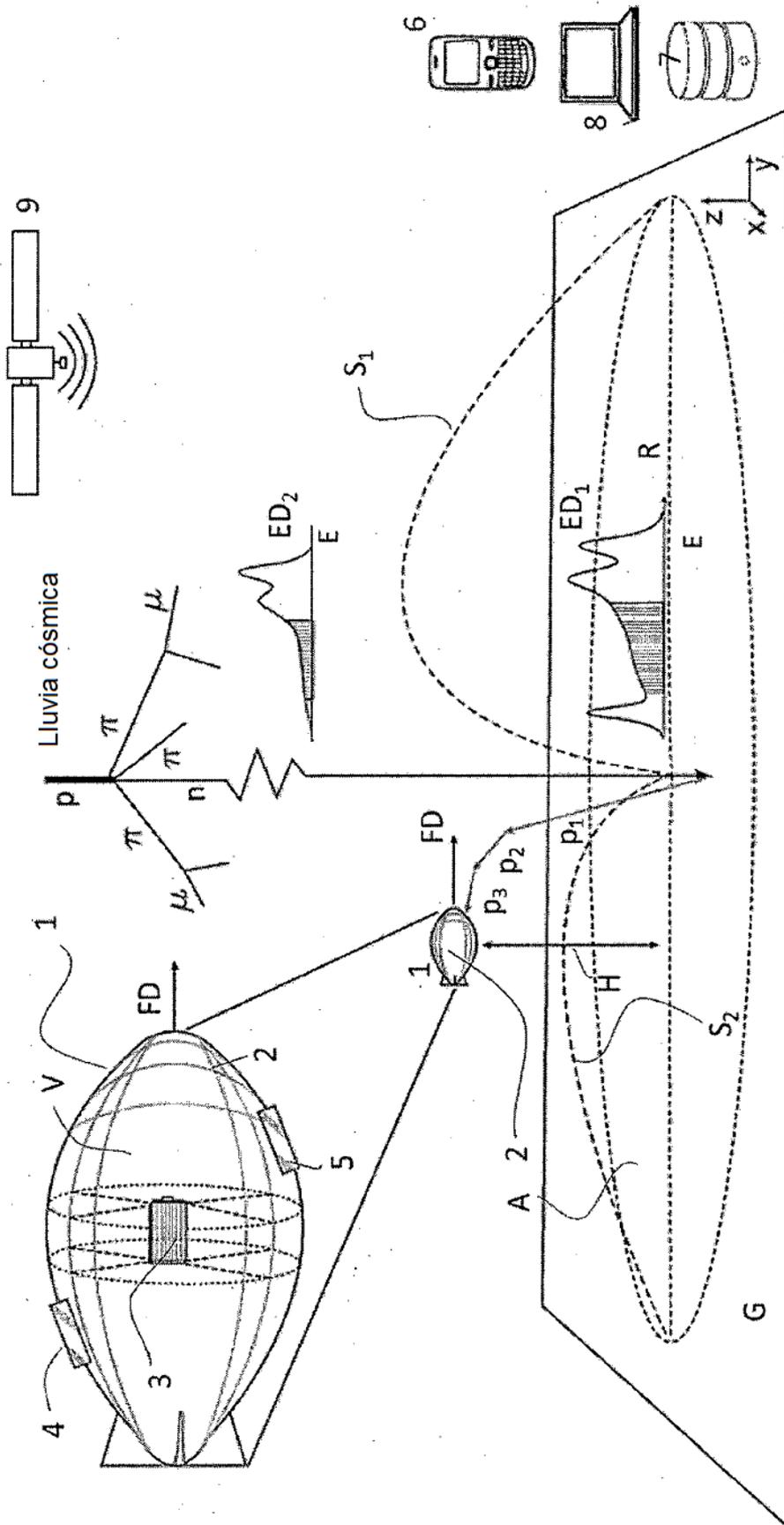


Figura 1

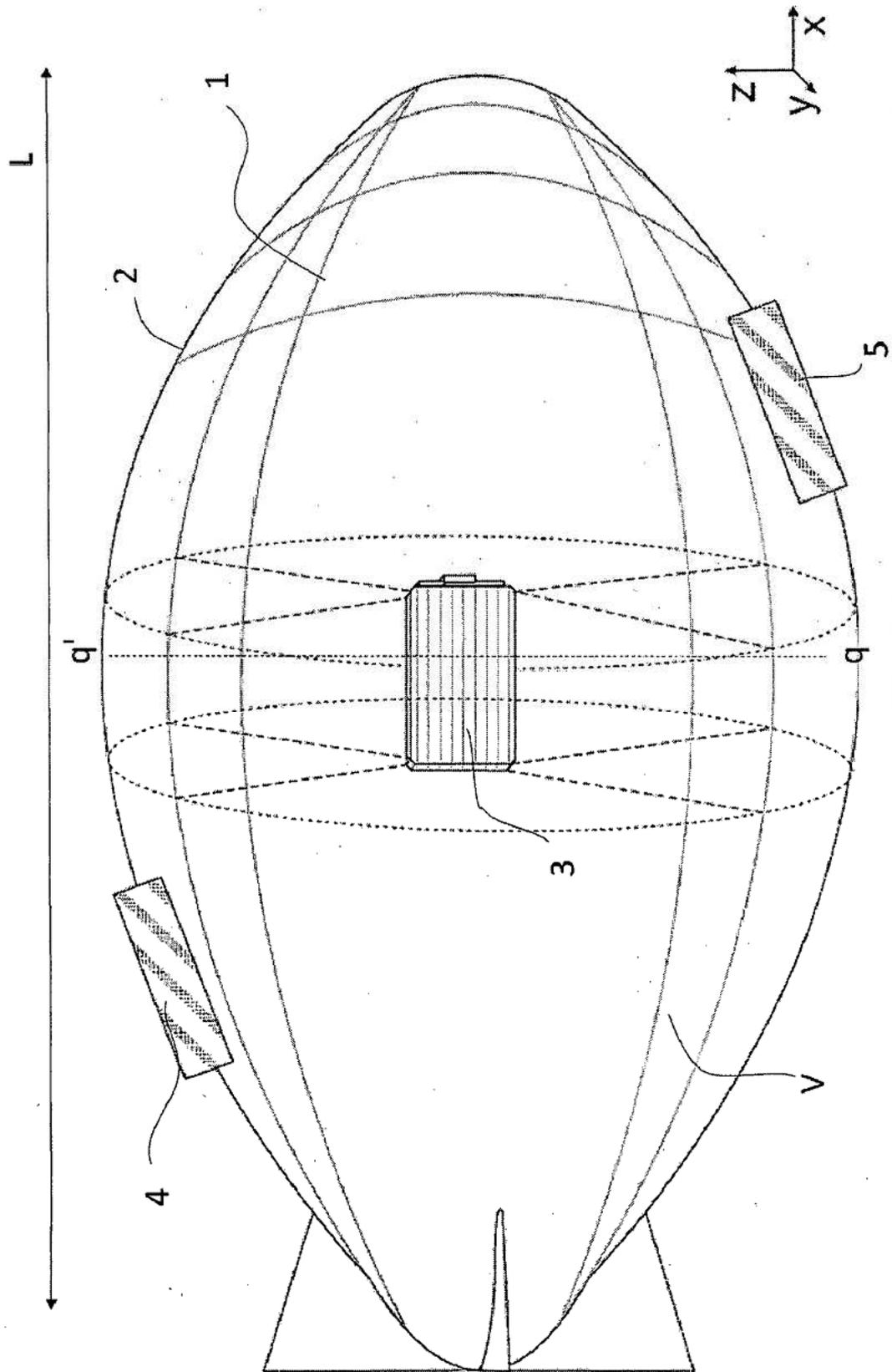
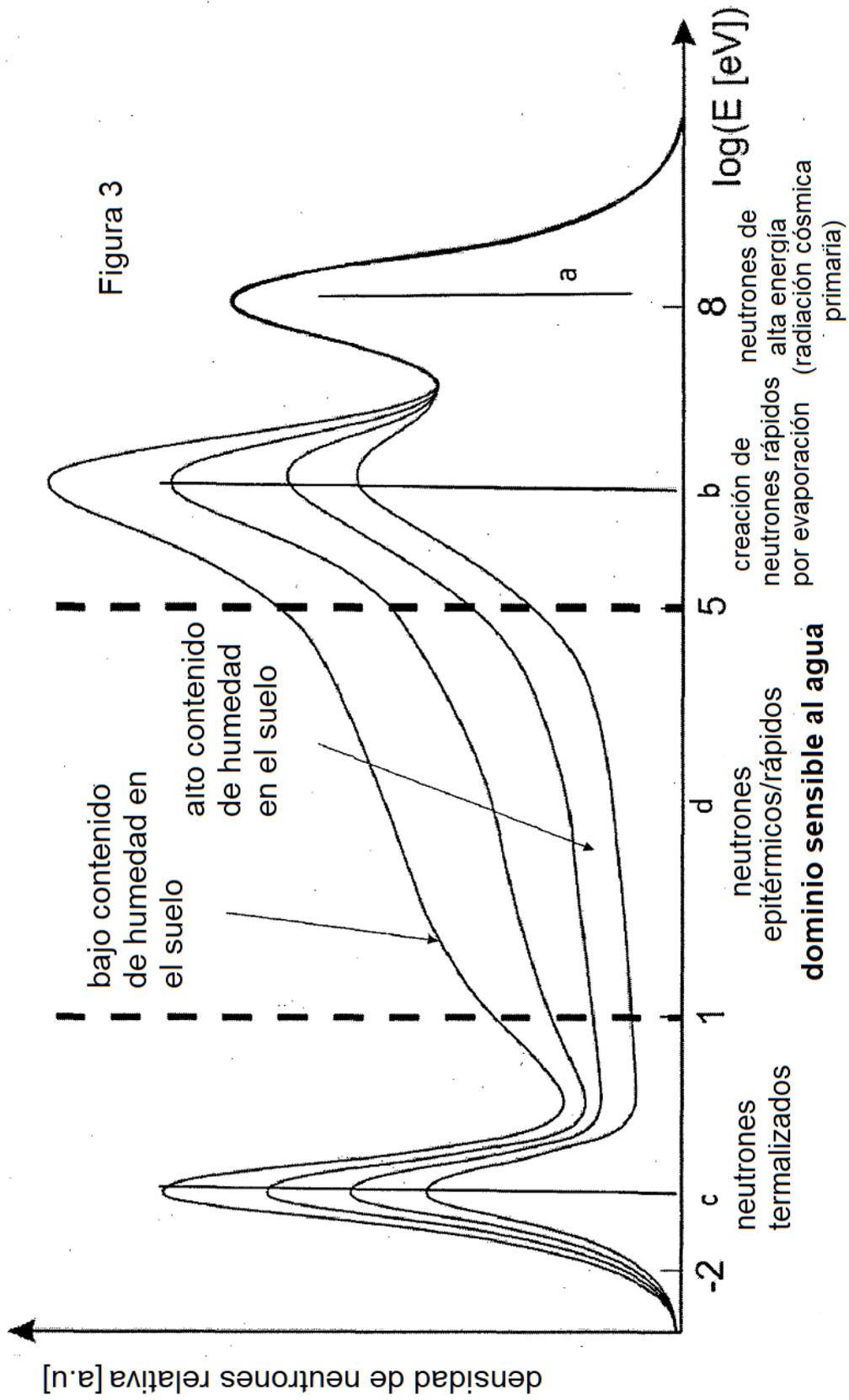


Figura 2



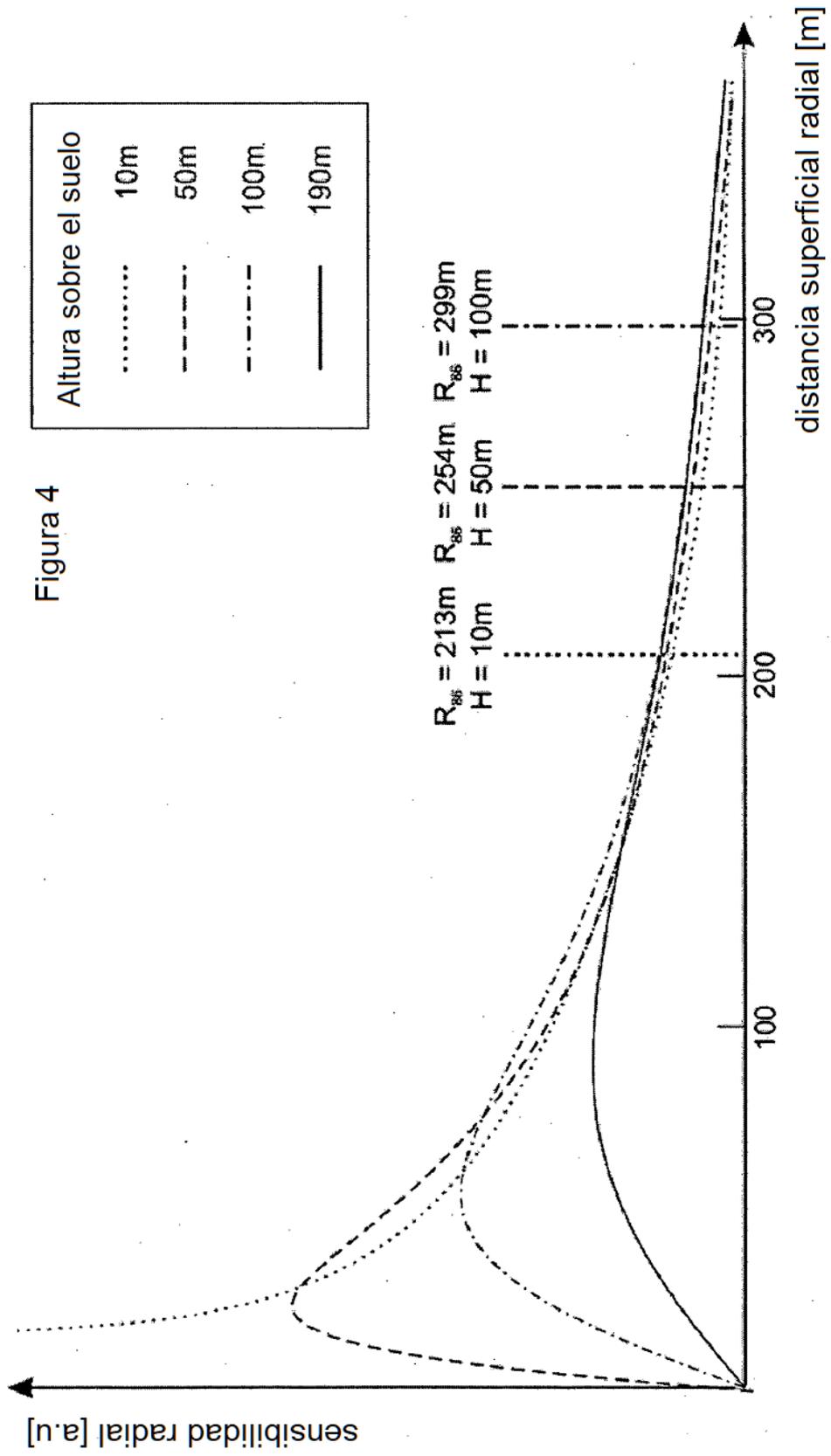


Figura 5

