



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A61N 5/10 (2023.01)

(21)(22) Заявка: 2022118703, 08.07.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.07.2022

Дата регистрации:
28.02.2023

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 08.07.2022

(45) Опубликовано: 28.02.2023 Бюл. № 7

Адрес для переписки:
119991, Москва, ГСП-1, Ленинский пр-кт, 53,
ФИАН, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Сиксин Виктор Валентинович (RU),
Рябов Владимир Алексеевич (RU),
Завестовская Ирина Николаевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Физический институт им.
П.Н. Лебедева Российской академии наук
(ФИАН) (RU)

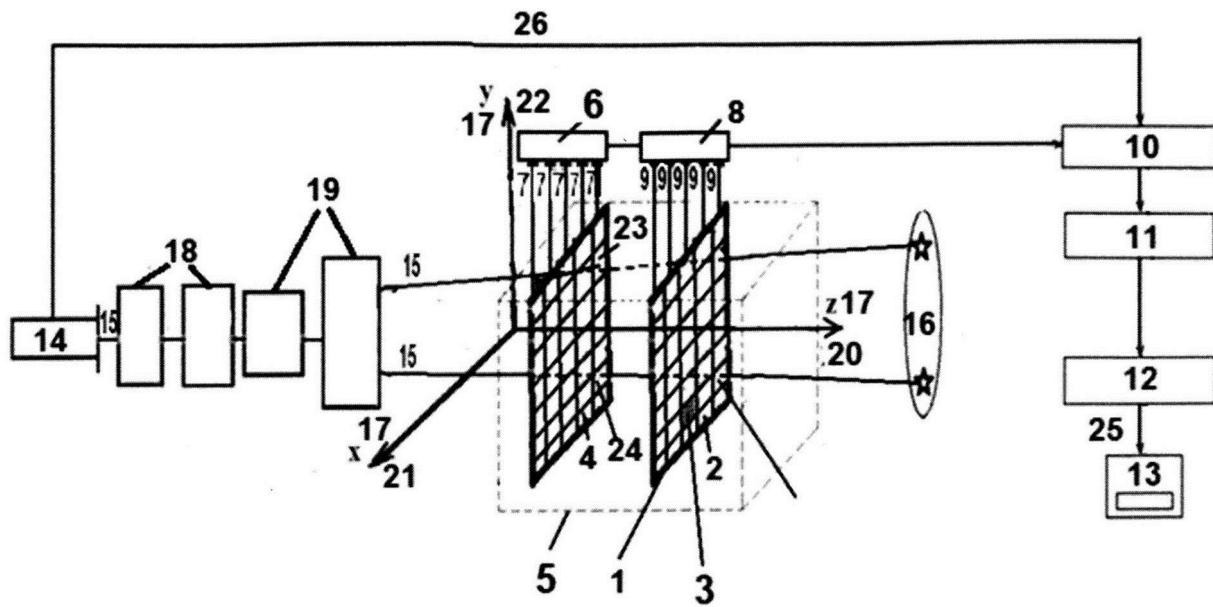
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2747365 C1, 04.05.2021. Сиксин
В. В. "Многофункциональная ионизационная
камера и ее электронный тракт для
применения на медицинском ускорителе
"Прометеус". Известия высших учебных
заведений. Материалы электронной техники.
2020. Т. 23, N 3. С. 229-240. RU 2697763 C1,
19.08.2019. US 2007181815 A1, 09.08.2007.

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА ПРОТОНОВ В ПРОЦЕССЕ
ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ И СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПУЧКОМ ПРОТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭТОГО УСТРОЙСТВА

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к области
лучевой терапии. Устройство для контроля
параметров пучка протонов в процессе
протонной терапии содержит падовую камеру,
связанный с ней блок контроля и обнаружения
отклонений, снабжено интегрирующими
электродами, расположенными перед падовой
камерой, активная плоскость которой разделена
на «ячейки», а также соединенными
последовательно электронным анализатором,
каждый из входов которого соединен с выходом
соответствующего интегрирующего электрода,
аналоговым мультиплексором, каждый из
соответствующих входов которого соединен с

выходом соответствующей «ячейки», и блоком
считывающей электроники, выход которого
соединен со входом блока контроля и
обнаружения отклонений. Активная плоскость
каждого из интегрирующих электродов совпадает
по геометрическим размерам и месту
расположения с соответствующей «ячейкой»
активной плоскости падовой камеры и
расположена к ней вплотную. Технический
результат – повышение точности контроля
параметров пучка протонов, упрощение
конструкции, повышение надежности устройства.
2 н.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
A61N 5/10 (2023.01)

(21)(22) Application: **2022118703, 08.07.2022**

(24) Effective date for property rights:
08.07.2022

Registration date:
28.02.2023

Priority:

(22) Date of filing: **08.07.2022**

(45) Date of publication: **28.02.2023** Bull. № 7

Mail address:

**119991, Moskva, GSP-1, Leninskij pr-kt, 53, FIAN,
patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Siksin Viktor Valentinovich (RU),
Ryabov Vladimir Alekseevich (RU),
Zavestovskaya Irina Nikolaevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
uchrezhdenie nauki Fizicheskij institut im. P.N.
Lebedeva Rossijskoj akademii nauk (FIAN)
(RU)**

(54) **DEVICE FOR PROTON BEAM PARAMETER CONTROL DURING PROTON THERAPY AND METHOD FOR PROTON BEAM CONTROL USING THIS DEVICE**

(57) Abstract:

FIELD: radiation therapy.

SUBSTANCE: device for monitoring the parameters of the proton beam in the process of proton therapy contains a pad chamber, a control and deviation detection unit associated with it, equipped with integrating electrodes located in front of the pad chamber, the active plane of which is divided into cells, and also connected in series with an electronic analyser, each of the inputs of which are connected to the output of the corresponding integrating electrode, an analog multiplexer, each of the corresponding inputs of which is connected to the output of the corresponding cell,

and a readout electronics unit, the output of which is connected to the input of the control and deviation detection unit. The active plane of each of the integrating electrodes coincides in geometrical dimensions and location with the corresponding cell of the active plane of the pad chamber and is located close to it.

EFFECT: increased accuracy of monitoring the parameters of the proton beam, a simplification of the design, and an increased reliability of the device.

2 cl, 3 dwg

RU 2 790 928 C1

RU 2 790 928 C1

Заявленная группа изобретений относится к области лучевой терапии с использованием для лечения протонов и может быть применена в практической дозиметрии для определения поглощенной дозы от пучка протонов для медицинских целей, в частности, в протонной терапии при облучении малоинтенсивным сканирующим «карандашным» пучком протонов больших патологических очагов с требованием большой точностью подведения дозы к области патологического очага.

Известен способ контроля параметров пучка протонов в процессе протонной терапии, в котором с помощью двух газовых пропорциональных камер (координатно-чувствительных детекторов) контролируют плотность интенсивности облучения мишени у пациента. Одну камеру устанавливают за последней квадрупольной линзой, а вторую - перед пациентом (см. SU 1338154 A1, МПК А61N 5/10, опубл. 23.05.1988).

Основными недостатками известного способа являются невысокая точность в определении плотности потока проходящих через камеры протонов и отсутствие возможности измерять полную дозу за выпуск ускорителя.

Известна т.н. многоканальная падовая камера OCTAVIUS Detector 1500XDR, выпускаемая компанией PTW Freiburg GmbH (ptwdosimetry.com).

К недостаткам известной камеры относится высокая стоимость ее изготовления и обслуживания.

Известно устройство для контроля параметров пучка протонов в процессе протонной терапии, содержащее две падовые камеры, предназначенные для последовательной установки перед пациентом и за последним сканирующим магнитом, и связанный с ними блок контроля и обнаружения отклонений (см. RU 2747365 C1, МПК А61N 5/10, опубл. 04.05.2021). Известен (см. там же) способ управления пучком протонов в процессе протонной терапии, включающий предварительное задание допустимых значений параметров профиля распределения дозы, измерение во время облучения пациента значений упомянутых параметров при помощи вышеописанных падовых камер, количественное сравнение упомянутых измеренных значений упомянутых параметров с упомянутыми допустимыми значениями и отключение пучка протонов при отклонении упомянутых измеренных значений упомянутых параметров от упомянутых допустимых значений.

К недостаткам известного устройства и способа следует отнести сложность и, как следствие, дороговизну их изготовления и применения. Кроме этого, не обеспечивается надлежащая точность контроля параметров пучка протонов во время облучения пациента.

Известное устройство и способ и приняты в качестве ближайших аналогов к заявленному устройству и способу.

Техническая проблема, решаемая заявленной группой изобретений, состоит в создании устройства для контроля параметров пучка протонов в процессе протонной терапии и способа управления пучком протонов с использованием этого устройства, позволяющих обеспечить точное подведение пучка протонов к области патологического очага пациента при одновременном упрощении и, как следствие, удешевлении их изготовления и применения.

При этом достигается технический результат, заключающийся в повышении точности контроля параметров пучка протонов за каждый спот от полного выпуска ускорителя, а также в упрощении используемых при этом технических средств при сохранении их высокой надежности.

Техническая проблема решается, а указанный технический результат достигается в результате создания устройства для контроля параметров пучка протонов в процессе

протонной терапии, содержащего падовую камеру, предназначенную для установки перед пациентом и за последним сканирующим магнитом, и связанный с ней блок контроля и обнаружения отклонений, которое снабжено интегрирующими электродами, расположенными перед падовой камерой, активная плоскость которой разделена на «ячейки», а также соединенными последовательно электронным анализатором, каждый из входов которого соединен с выходом соответствующего интегрирующего электрода, аналоговый мультиплексором, каждый из соответствующих входов которого соединен с выходом соответствующей «ячейки», и блоком считывающей электроники, выход которого соединен со входом блока контроля и обнаружения отклонений. Активная плоскость каждого из интегрирующих электродов совпадает по геометрическим размерам и месту расположения с соответствующей «ячейкой» активной плоскости падовой камеры и расположена к ней вплотную.

Техническая проблема решается, а указанный технический результат достигается, кроме этого, в результате создания способа управления пучком протонов в процессе протонной терапии, включающего предварительное задание допустимых значений параметров профиля распределения дозы, измерение во время облучения пациента значений упомянутых параметров при помощи падовой камеры, количественное сравнение упомянутых измеренных значений упомянутых параметров с упомянутыми допустимыми значениями и отключение пучка протонов при отклонении упомянутых измеренных значений упомянутых параметров от упомянутых допустимых значений, в котором в вышеописанном устройстве осуществляют облучение пучком протонов каждой из «ячеек» активной плоскости падовой камеры и активной плоскости соответствующего интегрирующего электрода и определение номера интегрирующего электрода и номера соответствующей «ячейки», через которую прошел спот пучка протонов.

На фиг. 1 представлена общая схема устройства.

На фиг. 2 представлена схема координатно-чувствительной камеры.

На фиг. 3а и фиг. 3б представлен пример реализации заявленного способа.

Устройство для контроля параметров пучка протонов в процессе протонной терапии, показанное на фиг. 1, содержит падовую камеру (1), активная плоскость которой разделена на «ячейки» (2), каждая из которых содержит ппадов (3), и интегрирующие электроды (4), расположенные перед падовой камерой (1). Активная плоскость каждого из интегрирующих электродов (4) совпадает по геометрическим размерам и месту расположения с соответствующей «ячейкой» (2) активной плоскости падовой камеры (1) и расположена к ней вплотную, образуя общую координатно-чувствительную камеру (5), показанную на фиг. 2. Устройство, кроме этого, содержит соединенные последовательно электронный анализатор (6), каждый из входов которого соединен с помощью токового вывода (7) с выходом соответствующего интегрирующего электрода (4), аналоговый мультиплексор (8), каждый из соответствующих входов которого соединен с помощью токового вывода (9) с выходом соответствующей «ячейки» (2), блок считывающей электроники (10), блок контроля и обнаружения отклонений (11), программируемую матрицу (12) и компьютер (13).

Заявленное устройство используют следующим образом.

Из ускорителя (14), в частности, синхротрона, выпускают пучок протонов (15) для облучения мишени (16), например, опухоли. Для привязки положения мишени (16) к оси пучка протонов (15) введена система координат x, y, z (17). Пучок протонов (15), выпущенный из ускорителя (14), фокусируется двумя квадрупольными линзами (18) и проходит через сканирующие магниты (19). Координатно-чувствительную камеру (5)

располагают между пациентом, т.е. перед мишенью (16), и за последним сканирующим магнитом (19). Активные плоскости интегрирующих электродов (4) и «ячеек» (2) перпендикулярны оси z (20), которую называют глубиной. Ось x (21) называют шириной, ось y (22) - высотой.

5 Пучок протонов (15) в течении одного полного выпуска ускорителя (14) облучает активные плоскости интегрирующих электродов (4) и «ячеек» (2). Электронный анализатор (6) по импульсу тока определяет, через какой номер интегрирующего электрода (4) прошел спот пучка протонов (15).

10 На фиг. 1 показаны два луча спота пучка протонов (15), один из которых проходит через номер N(i) (23) интегрирующего электрода (4). Второй луч проходит через номер N(i+4) (24). Для любого луча спота всегда происходит совпадение номера интегрирующего электрода (4) и номера «ячейки» (2). Если спот пучка протонов (15) прошел через какой-либо номер «ячейки» (2), то сработает интегрирующий электрод (4) с таким же номером.

15 После определения электронным анализатором (6) номера сработавшего интегрирующего электрода (4), этот номер в виде кода передается на аналоговый мультиплексор (8), число входов (24) которого равно числу «ячеек» (2).

20 Сигналы, соответствующие профилю распределения дозы, со всех n падов сработавшей «ячейки» (2) поступают на вход аналогового мультиплексора (8) по коду поступившего номера и далее поступают на блок считывающей электроники (10). Запуск блока считывающей электроники (10) происходит по сигналу от ускорителя (14).

25 Заявленный способ обеспечивает контроль параметров пучка протонов (15), проходящего через каждую «ячейку» (2) падовой камеры (1) за полный выпуск ускорителя (14), который осуществляют следующим образом.

30 За один спот, проходящий через каждую «ячейку» (2) падовой камеры (1), измеряют параметры профиля распределения дозы. Измеренные параметры для каждой ячейки (2) хранят в буфере памяти блока считывающей электроники (10). Далее измеренные параметры для всех «ячеек» (2) за полный выпуск ускорителя (14) передают на блок контроля и обнаружения отклонений (далее - БКОО) (11). В БКОО (11) заранее, при калибровке координатно-чувствительной камеры (5), записывают допустимые значения этих параметров. В программируемой матрице (FPGA) (12) программируют применяемые алгоритмы облучения. Если БКОО (11) и программируемая матрица (12) обнаруживают отклонение измеренных параметров от допустимых, то отключают пучок протонов (15).

35 Если за полный выпуск ускорителя (14) БКОО (11) и FPGA (12) не обнаруживают отклонений, то профили распределения дозы передают по линии связи (25) на компьютер (13) для записи и визуализации. Основные управляющие сигналы от ускорителя (14) передают по линии связи (26).

40 Пример реализации заявленного способа.

45 На фиг. 3а показана «ячейка» (2), имеющая 5×5 падов. Граница сработавшей «ячейки» (2) обозначена как (27), «ячейка» (2), через которую прошел спот пучка протонов (15), как (28). Пад обозначен как (29). Параметры профиля распределения дозы d20, d50, d80 и d90, применяемые в клинической протонной терапии, обозначены как (30). На фиг. 3б показан профиль распределения дозы, который измерила «ячейка» (2) за спот по координатам x (31) и y (32). Видно, что спот пучка протонов (15) прошел через пад с номером 4 по координате x и номером 3 по координате y. Для контроля выбирали параметр d50 - доза на уровне 50% от измеренного профиля по координатам x и y.

Из измеренных профилей распределения дозы по каждому споту за полный выпуск ускорителя вычисляли дозы на уровне 50% от максимума распределения, так называемый медицинский параметр d_{50} :

$d(x,y)_{50L}=f(x,y)$ - доза на левом крыле профиля распределения дозы на уровне 50% от максимума, измеренная падовой камерой для координат x, y ;

$d(x,y)_{50R} = f(x,y)$ - доза на правом крыле профиля распределения дозы на уровне 50% от максимума, измеренная падовой камерой для координат x, y .

Далее вычисляли следующий параметр:

$$K_{x,y}=d(x,y)_{50L}/d(x,y)_{50R},$$

который контролировали БКОО (11) и записывали в компьютер (13) за каждый выпуск ускорителя (14).

Именно этот параметр наиболее чувствителен для любого отклонения пучка протонов при облучении мишени по заданному алгоритму. В случае отклонения параметра $K_{x,y}$ от заданного, происходит отключение ускорителя (14).

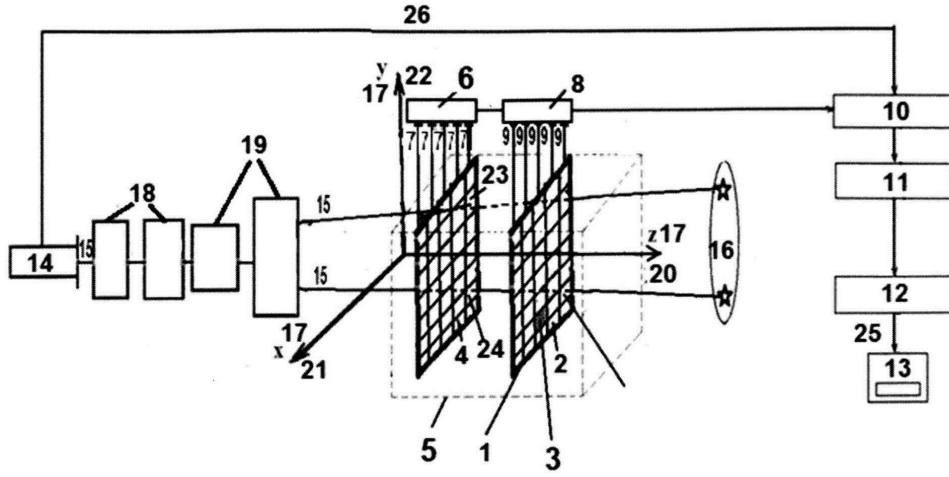
Таким образом, использование заявленного устройства и реализация заявленного способа позволяет достичь полного соответствия между планируемыми параметрами медицинского пучка протонов и реально используемыми во время облучения пациента.

(57) Формула изобретения

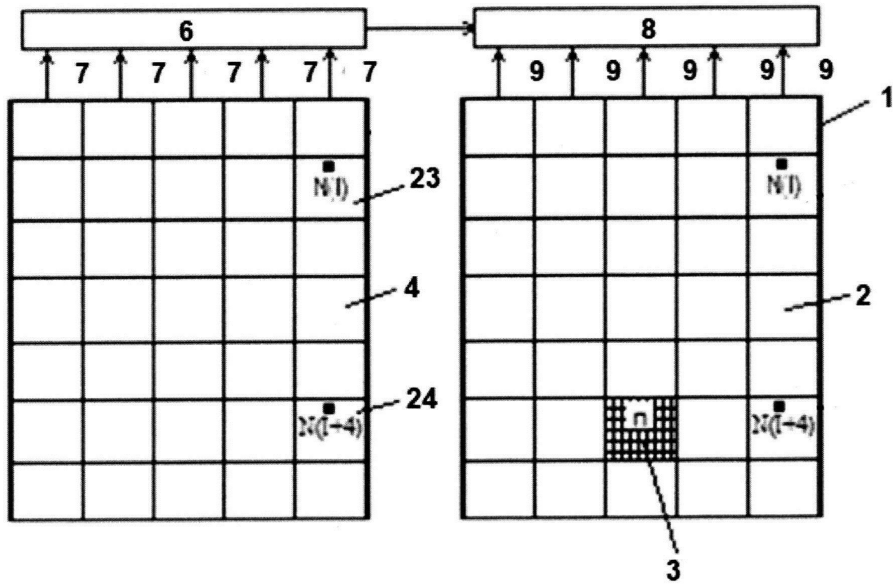
1. Устройство для контроля параметров пучка протонов в процессе протонной терапии, содержащее падовую камеру, предназначенную для установки перед пациентом и за последним сканирующим магнитом, и связанный с ней блок контроля и обнаружения отклонений, отличающееся тем, что оно снабжено интегрирующими электродами, расположенными перед падовой камерой, активная плоскость которой разделена на «ячейки», а также соединенными последовательно электронным анализатором, каждый из входов которого соединен с выходом соответствующего интегрирующего электрода, аналоговым мультиплексором, каждый из соответствующих входов которого соединен с выходом соответствующей «ячейки», и блоком считывающей электроники, выход которого соединен со входом блока контроля и обнаружения отклонений, при этом активная плоскость каждого из интегрирующих электродов совпадает по геометрическим размерам и месту расположения с соответствующей «ячейкой» активной плоскости падовой камеры и расположена к ней вплотную.

2. Способ управления пучком протонов в процессе протонной терапии, включающий предварительное задание допустимых значений параметров профиля распределения дозы, измерение во время облучения пациента значений упомянутых параметров с помощью падовой камеры, количественное сравнение упомянутых измеренных значений упомянутых параметров с упомянутыми допустимыми значениями и отключение пучка протонов при отклонении упомянутых измеренных значений упомянутых параметров от упомянутых допустимых значений, отличающийся тем, что в устройстве по п. 1 осуществляют облучение пучком протонов каждой из «ячеек» активной плоскости падовой камеры и активной плоскости соответствующего интегрирующего электрода и определение номера интегрирующего электрода и номера соответствующей «ячейки», через которую прошел спот пучка протонов.

1

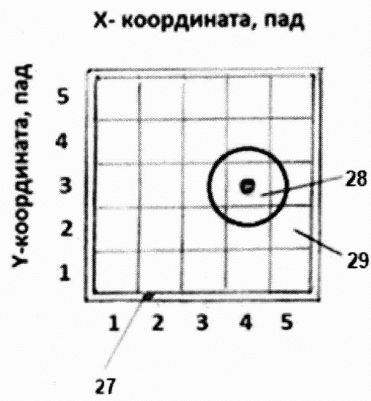


Фиг. 1

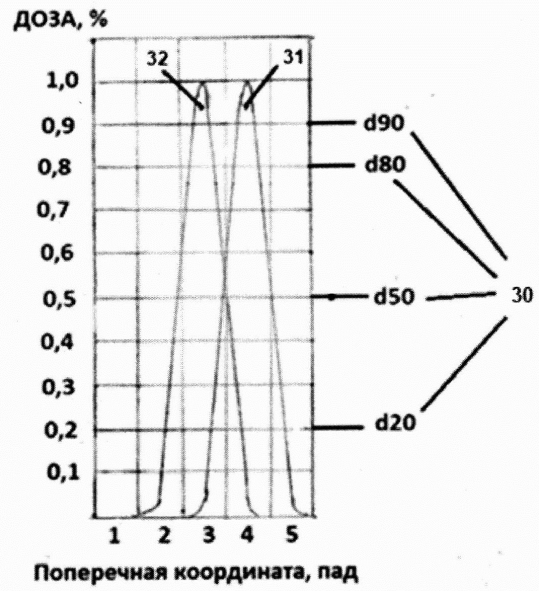


Фиг. 2

2



Фиг. 3а



Фиг. 3б