



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*G21K 1/06 (2022.05)*

(21)(22) Заявка: 2022109569, 11.04.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
11.04.2022

Дата регистрации:  
04.08.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.04.2022

(45) Опубликовано: 04.08.2022 Бюл. № 22

Адрес для переписки:  
308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.  
Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Цириковой  
Н.Д.

(72) Автор(ы):

Нажмудинов Рамазан Магомедшапиевич  
(RU),  
Кубанкина Анна Андреевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 5268954 A1, 07.12.1993. US  
3160749 A1, 08.12.1964. US 3418051 A1,  
24.12.1968. SU 1012350 A1, 15.04.1983. EP 3019789  
B1, 22.01.2020. EP 3441981 B1, 18.03.2020. DE  
102017123851 A1, 18.04.2019. CN 205230610 U,  
11.05.2016. DE 102015109047 A1, 24.12.2015. KR  
101333032 B1, 26.11.2013.

(54) Двухкристальный рентгеновский монохроматор с зубчатыми механизмами

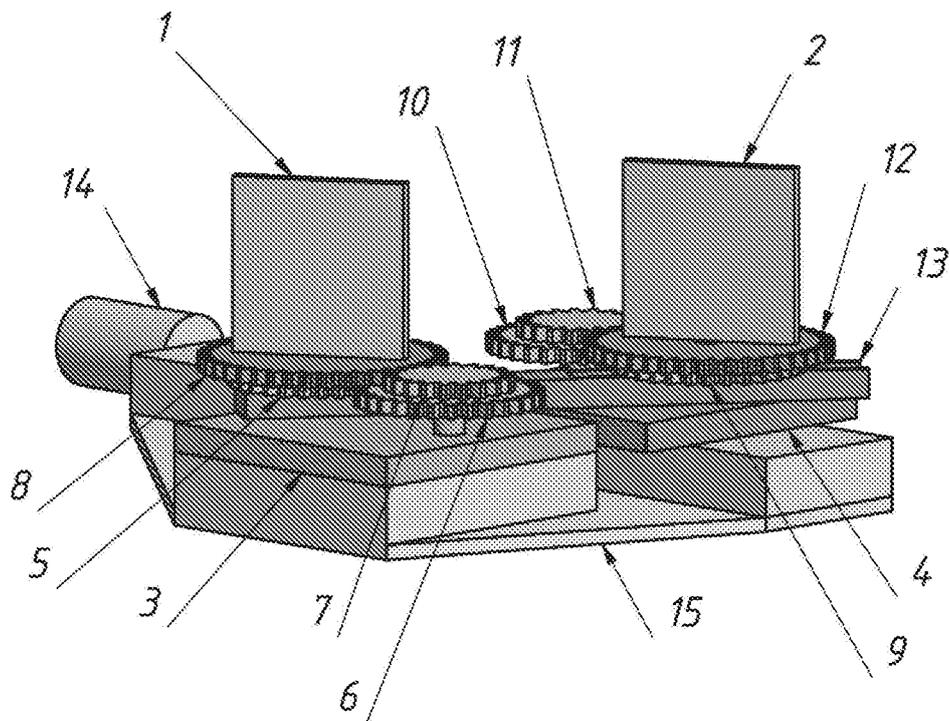
(57) Реферат:

Полезная модель относится к устройствам рентгеновской оптики и может быть использована для измерения спектров рентгеновского излучения, монохроматизации рентгеновского излучения, генерации монохроматического рентгеновского излучения, а также в перископических устройствах. Монохроматор с зубчатыми механизмами содержит первый кристалл, второй кристалл, монтажную плиту, подвижное основание, рычаг и механические передачи. Дополнительно устройство содержит

неподвижное основание, а механические передачи выполнены в виде зубчатых механизмов, составленных из зубчатых колес, исключаяющих проскальзывания и повороты кристаллов относительно друг друга. Техническим результатом является обеспечение параллельности пучка получаемого монохроматического рентгеновского излучения пучку первичного рентгеновского излучения или потока заряженных частиц. 3 ил.

RU 212746 U1

RU 212746 U1



Фиг. 1

RU 212746 U1

RU 212746 U1

Полезная модель относится к устройствам рентгеновской оптики и может быть использована для измерения спектров рентгеновского излучения, монохроматизации рентгеновского излучения, генерации монохроматического рентгеновского излучения, а также в перископических устройствах.

5 Известно устройство «Рентгеновский монохроматор для использования в источниках синхротронного излучения» (Golovchenko J. A., Levesque R. A., Cowan P. L. Xray monochromator system for use with synchrotron radiation sources // Review of Scientific Instruments. – 1981. – Vol. 52. – P. 509–516), в котором для монохроматизации первичного рентгеновского излучения предлагается использовать два подвижных кристалла.  
10 Первичное излучение попадает на первый кристалл, имеющий одну вращательную степень свободы, и дифрагирует в геометрии Брэгга. Далее, это квазимонохроматическое дифрагированное излучение, энергия которого определяется углом поворота первого кристалла, попадает на второй кристалл, имеющий одну поступательную и одну вращательную степени свободы и всегда ориентированный параллельно первому  
15 кристаллу. После отражения от второго кристалла направление распространения монохроматизированного таким образом излучения становится параллельным направлению распространения первичного рентгеновского излучения. Для изменения энергии излучения необходимо посредством моторизованного привода изменить ориентацию кристаллов. Параллельность кристаллов и их корректное взаимное  
20 положение в пространстве при этом обеспечивается посредством двух металлических рычагов, жестко скрепленных друг с другом под прямым углом и способных со скольжением перемещаться в пазах держателей кристаллов. Конструкция из рычагов при этом имеет одну поступательную и одну вращательную степени свободы и требует наличия дополнительного шарнира. К недостаткам такого устройства можно отнести  
25 большое количество шарниров, обеспечивающих одновременное вращательное и поступательное движение, а также большие габаритные размеры конструкции.

Также известно устройство «Высоковакуумный двухкристальный монохроматор мягкого рентгеновского излучения» (Lemonnier M., Collet O., Depautex C., Esteva J.-M., Raoux D. High vacuum two crystal soft X-ray monochromator // Nuclear Instruments and Methods.  
30 – 1978. – Vol. 152. – P. 109–111) в котором два кристалла установлены на одну плиту, способную вращаться. Для обеспечения правильного позиционирования в пространстве второй кристалл установлен на дополнительный моторизованный привод, обеспечивающий поступательное движение. Такой монохроматор достаточно компактен для размещения в вакуумной камере. Однако, наличие двух моторизованных приводов,  
35 имеющих высоковакуумное исполнение, удорожает конструкцию, а также требует обеспечения их корректной согласованной работы.

Известно техническое решение, описанное в патенте под названием «Монохроматор рентгеновского излучения» (SU № 1012350 А1, публ. 15.04.1983 г.) и заключающееся в использовании одного подвижного кристалла сложной формы. В процессе работы  
40 монохроматора происходит несколько отражений рентгеновского излучения от поверхностей кристалла, сточенных под определенными углами. Энергия отраженного излучения определяется углом наклона кристалла. К недостаткам такого решения можно отнести дороговизну и сложность производства, обусловленные необходимостью выращивания крупного совершенного кристалла и приданием такому кристаллу формы,  
45 являющейся комбинацией большого числа плоских отражающих граней, пересекающихся под строго определенными углами. Поскольку углы между гранями невозможно изменить в процессе эксплуатации монохроматора, он обеспечивает подстройку энергии только в узком диапазоне значений.

В известном устройстве «Монолитный рентгеновский монохроматор с фиксированным выходным пучком» (Spieker P., Ando M., Kamiya N. A monolithic X-ray monochromator with fixed exit beam position // Nuclear Instruments in Physics Research. – 1984. – Vol. 222. – P. 196–201) также предлагается использовать один массивный кристалл, которому придана специальная форма, имеющая два выступа с параллельными отражающими поверхностями. Энергия выходящего излучения определяется углом поворота кристалла. Поскольку после изготовления кристалла положение выступов относительно друг друга изменить нельзя, энергия выходящего излучения ограничивается узким диапазоном значений. Такой монохроматор имеет высокую стоимость в связи с необходимостью изготовления массивного совершенного кристалла сложной формы.

Наиболее близким к предлагаемой полезной модели является устройство, описанное в патенте «Устройство двухкристальных монохроматоров» (US № 5268954 А, публ. 07.12.1993 г.). Прототип состоит из двух кристаллов, подвижного основания, монтажной плиты, рычага и ременных передач, а также моторизированного транслятора. Один из кристаллов имеет одну вращательную степень свободы, а второй — одну вращательную и одну поступательную степени свободы. Согласованное движение кристаллов обеспечивается посредством моторизованного привода, резиновых ремней и рычага, способного перемещаться со скольжением в пазах одного из держателей кристалла. К недостаткам прототипа относятся: загрязнение вакуумной системы, в которую монтируется устройство, продуктами износа резиновых ремней; необходимость в частой замене или подтяжке ремней; возможность проскальзывания ремней и неконтролируемые повороты кристаллов относительно друг друга, влекущие внеплановую юстировку монохроматора.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое техническое решение, является создание устройства, исключаяющего в процессе эксплуатации проскальзывания и повороты кристаллов относительно друг друга, обеспечивающего параллельность пучка получаемого монохроматического рентгеновского излучения и пучка первичного рентгеновского излучения или потока заряженных частиц.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого двухкристального рентгеновского монохроматора с зубчатыми механизмами, содержащего первый кристалл, второй кристалл, монтажную плиту, подвижное основание, рычаг и механические передачи, причем устройство дополнительно содержит неподвижное основание, а механические передачи выполнены в виде зубчатых механизмов, составленных из зубчатых колес, исключаяющих проскальзывания и неконтролируемые повороты кристаллов относительно друг друга. За счет использования зубчатых механизмов обеспечивается параллельность пучка получаемого монохроматического рентгеновского излучения и пучка первичного рентгеновского излучения или потока заряженных частиц.

Предлагаемое устройство отличается от описанного в прототипе тем, что для вращения кристаллов вместо ременных передач используются зубчатые механизмы, лишенные недостатков, свойственных прототипу, не требующие частого обслуживания (такого как замена или подтяжка ремней), исключаяющие возможные нештатные проскальзывания и неконтролируемые повороты кристаллов относительно друг друга, не загрязняющие вакуумную систему продуктами износа.

Преимущество предлагаемой полезной модели заключается в существенном увеличении времени между процедурами технического обслуживания устройства и его сравнительно малых размерах, что обусловлено использованием зубчатых механизмов,

изготовленных из металла.

Технический результат заключается в получении пучка монохроматического рентгеновского излучения, распространяющегося параллельно пучку первичного рентгеновского излучения или потоку заряженных частиц, без проскальзываний и неконтролируемых поворотов кристаллов относительно друг друга в процессе эксплуатации устройства. Это достигается посредством использования двух кристаллов, установленных в геометрии Брэгга параллельно друг другу. Изменение энергии излучения достигается одновременным изменением положения кристаллов в пространстве с сохранением их параллельности друг другу при помощи одного моторизованного привода. Согласованное движение кристаллов обеспечивается зубчатыми механизмами, установленными на подвижном и неподвижном основаниях, и рычагом.

Полезная модель поясняется чертежом.

Фиг. 1 — Общий вид предлагаемой полезной модели,

Фиг. 2 — Работа зубчатого механизма полезной модели (вид сверху),

Фиг. 3 — Схема сборки элементов полезной модели.

Устройство (Фиг. 1) состоит из первого кристалла 1, второго кристалла 2, неподвижного основания 3, подвижного основания 4, зубчатых механизмов, составленных из зубчатых колес 5, 6, 7, 8 и 9, 10, 11, 12, рычага 13, моторизованного транслятора 14 и монтажной плиты 15.

Первый кристалл 1 крепится к зубчатому колесу 8. Зубчатое колесо 8 совместно с зубчатыми колесами 5, 6 и 7, образующими зубчатый механизм с передаточным отношением 2:1, монтируются на неподвижное основание 3 с возможностью вращательного движения зубчатых колес 5, 6, 7 и 8 вокруг собственных осей. Ось вращения зубчатого колеса 5 совпадает с осью вращения зубчатого колеса 8, ось вращения зубчатого колеса 6 совпадает с осью вращения зубчатого колеса 7, причем соединения обеспечивают возможность вращения зубчатых колес 5 и 8 с разными (отличающимися в два раза) друг относительно друга угловыми скоростями, а зубчатые колеса 6 и 7 соосно скреплены вместе и вращаются как единое целое. Второй кристалл 2 крепится к зубчатому колесу 12, формирующему совместно с зубчатыми колесами 9, 10 и 11 зубчатый механизм с передаточным отношением 2:1. Зубчатые колеса 9, 10, 11 и 12 монтируются на подвижное основание 4; при этом обеспечивается возможность вращательного движения зубчатых колес 9 и 12 вокруг общей оси с разными (отличающимися в два раза) угловыми скоростями, а также возможность вращательного движения соосно скрепленных зубчатых колес 10 и 11. При помощи рычага 13 обеспечивается согласованное вращение зубчатых колес 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 с закрепленными первым кристаллом 1 и вторым кристаллом 2. Подвижное основание 4 способно линейно перемещаться относительно неподвижного основания 3 при помощи моторизованного транслятора 14. Монтажная плита 15, к которой крепятся неподвижное основание 3 и моторизованный транслятор 14, служит для объединения частей предлагаемого монохроматора в единое устройство.

Полезная модель может эксплуатироваться как при атмосферном давлении, так и в условиях глубокого вакуума. Работает двухкристальный рентгеновский монохроматор с зубчатыми механизмами следующим образом. Устройство размещается так, чтобы направление линейного перемещения подвижного основания 4 было параллельно оси пучка первичного рентгеновского излучения, которая в свою очередь должна пересекать ось вращения первого кристалла 1, как это показано на Фиг. 2(а). Пучок первичного рентгеновского излучения, имеющего сплошной спектр, падает на первый кристалл 1

и отражается от его кристаллографических плоскостей. Вследствие дифракции первый кристалл 1 отражает излучение только с энергией, определяемой углом Брэгга. Рентгеновское излучение, отраженное от первого кристалла 1, попадает на второй кристалл 2 при том же значении угла Брэгга и отражается во второй раз. Таким образом формируется пучок монохроматического рентгеновского излучения, энергия которого зависит от ориентации и положения в пространстве кристаллов 1 и 2, причем, направление пучка монохроматического рентгеновского излучения распространения параллельно пучку первичного излучения. Для изменения энергии монохроматического рентгеновского излучения необходимо при помощи линейного моторизованного транслятора 14 переместить подвижное основание 4 на требуемое расстояние, например, как это показано на Фиг. 2(б). При этом рычаг 13 наклонится и одновременно повернёт зубчатые колеса 5 и 9. Вращение зубчатого колеса 5 будет сопровождаться вращением зубчатых колес 6, 7 и 8, установленных на неподвижном основании 3, а также вращением первого кристалла 1, закрепленном на зубчатом колесе 8. Причем угол наклона первого кристалла 1 будет в два раза меньше, чем угол наклона рычага 13. Аналогично, вращение зубчатого колеса 9 будет сопровождаться вращением зубчатых колес 10, 11 и 12, установленных на подвижном основании 4, а также вращением второго кристалла 2, закрепленном на зубчатом колесе 12. Причем угол наклона и направление вращения второго кристалла 2 будут совпадать с углом наклона и направлением вращения первого кристалла 1. Таким образом, за счет зубчатых механизмов обеспечивается параллельность кристаллов 1 и 2 относительно друг друга и, как следствие, параллельность пучка первичного рентгеновского излучения и пучка монохроматического рентгеновского излучения при любых возможных положениях подвижного основания 4.

Пример работы устройства.

Предлагаемая полезная модель была использована для измерения спектров рентгеновского излучения в диапазоне энергии 5.0–12.2 кэВ. В качестве первого кристалла 1 и второго кристалла 2 использовались кристаллы кремния, спиленные вдоль кристаллографических плоскостей (100). Угол Брэгга изменялся при этом от 22 до 65 градусов. Для управления монохроматором был использован линейный моторизованный транслятор 14 с рабочим ходом 200 мм, расстояние между пучком первичного рентгеновского излучения и параллельным ему пучком монохроматического рентгеновского излучения составило 110 мм. Зубчатые механизмы, составленные из стальных зубчатых колес 5, 6, 7, 8 и 9, 10, 11, 12 с модулем зуба величиной 2 мм, имели передаточное соотношение 2:1, межосевое расстояние 60 мм и были установлены на подвижное основание 3 и неподвижное основание 4, исполненные в виде стальных пластин. Зубчатые колеса 5, 6, 9 и 10 имели по 30 зубьев и диаметры делительных окружностей 60 мм. В рычаге 13 были проделаны прямоугольные пазы, в которые входили прямоугольные выступы, имеющиеся на зубчатых колесах 5 и 9 (как это показано на Фиг. 3). Зубчатые колеса 5 и 9 имели при этом прямоугольные выступы, ширина которых совпадала с шириной прямоугольных пазов стального рычага 13. Зубчатые колеса 7 и 11 имели по 20 зубьев и диаметры делительных окружностей 40 мм, зубчатые колеса 8 и 12 — по 40 зубьев и 80 мм соответственно. Во время работы предлагаемой полезной модели первый кристалл 1 облучался пучком первичного рентгеновского излучения, источником которого являлась рентгеновская трубка. Излучение отражалось от первого кристалла 1, попадало на второй кристалл 2 и отражалось повторно. В результате двух отражений был сформирован пучок монохроматического рентгеновского излучения, энергия которого определялась углом

Брэгга, настраиваемого при помощи моторизованного транслятора 14. Параллельность пучка монохроматического рентгеновского излучения пучку первичного рентгеновского излучения достигалась за счет параллельности первого кристалла 1 и второго кристалла 2, обеспечивающейся зубчатыми механизмами предлагаемого устройства. Работа устройства не сопровождалась проскальзываниями и (или) неконтролируемыми поворотами кристаллов относительно друг друга.

Предлагаемое устройство найдет применение в квазимонохроматических источниках рентгеновского излучения на основе синхротронов, лазеров на свободных электронах или ускорителей релятивистских заряженных частиц; в рентгеновских спектрометрах с высокой разрешающей способностью; в оптических системах параллельного переноса и перископах.

#### (57) Формула полезной модели

Двухкристальный рентгеновский монохроматор с зубчатыми механизмами, содержащий первый кристалл, второй кристалл, монтажную плиту, подвижное основание, рычаг и механические передачи, отличающийся тем, что дополнительно содержит неподвижное основание, а механические передачи выполнены в виде зубчатых механизмов, составленных из зубчатых колес, исключающих проскальзывания и неконтролируемые повороты кристаллов относительно друг друга, обеспечивающих параллельность пучка получаемого монохроматического рентгеновского излучения и пучка первичного рентгеновского излучения или потока заряженных частиц.

25

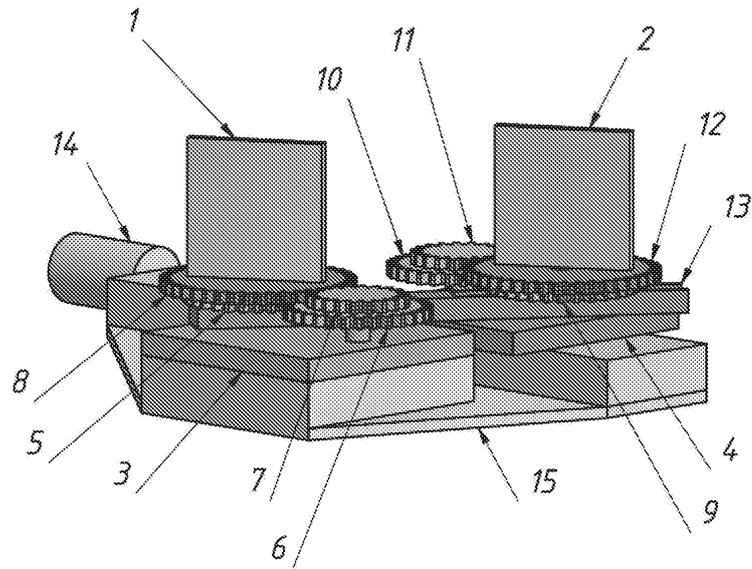
30

35

40

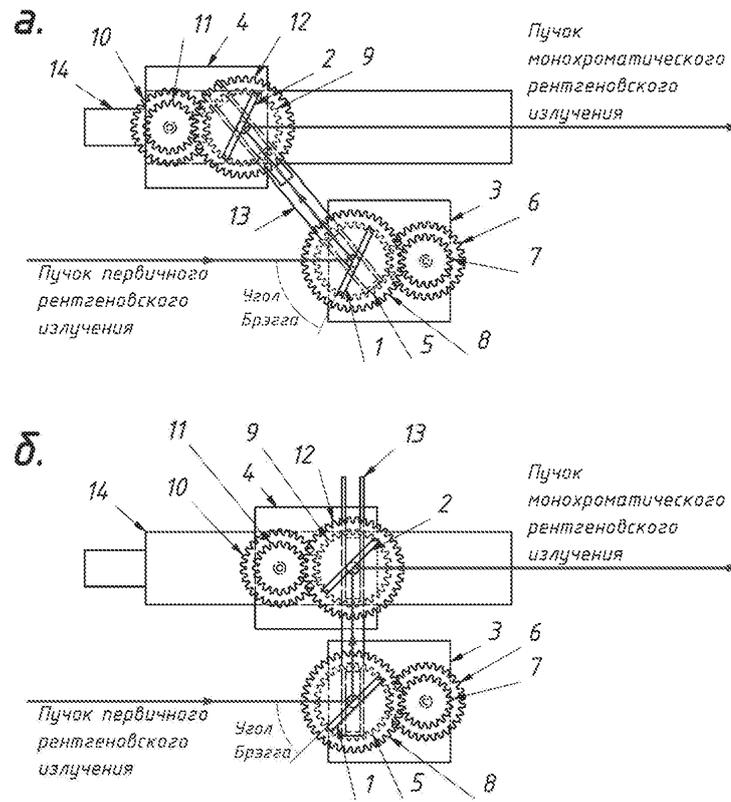
45

1

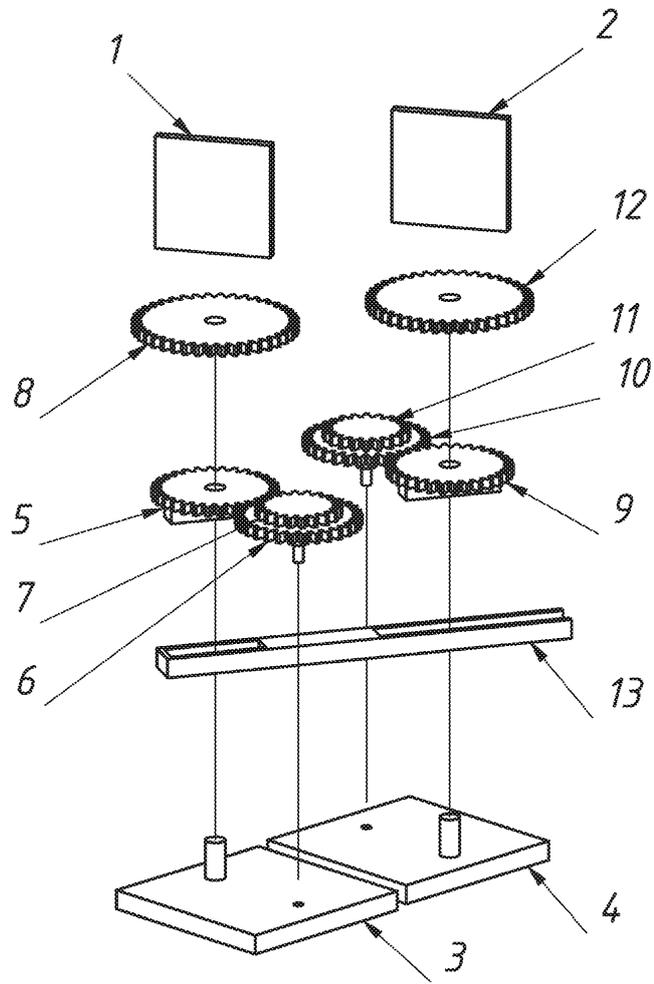


Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3