



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015116853/28, 30.04.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.04.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.04.2015

(45) Опубликовано: 10.07.2016 Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 551546 A1, 25.03.1977. WO 9514919
A1, 01.06.1995. SU 830142 A1, 15.05.1981.

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр.
N 38, ИФ СО РАН, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Заблуда Владимир Николаевич (RU),
Эдельман Ирина Самсоновна (RU),
Соколов Алексей Эдуардович (RU),
Иванова Оксана Станиславовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

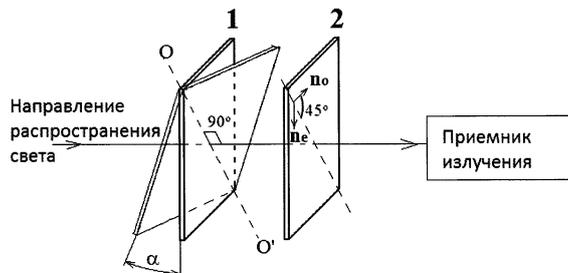
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Л.В. Киренского
Сибирского отделения Российской академии
наук (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ДИХРОГРАФОВ КРУГОВОГО ДИХРОИЗМА

(57) Реферат:

Изобретение относится к оптическим устройствам, имитирующим вещество, обладающее круговым дихроизмом (КД), с возможностью регулирования величины задаваемого эффекта в широком диапазоне значений на выбранной длине волны, служащее для калибровки дихрографов кругового дихроизма. Устройство содержит линейный поляризатор и фазовую пластину, которая обеспечивает разность хода между обыкновенным и необыкновенным лучами $((2m+1) \cdot \lambda/4)$, где m - целое число, λ - длина волны света. В качестве поляризатора используется

изотропная прозрачная пластина диэлектрика с возможностью регулируемого наклона относительно оси, перпендикулярной направлению распространения света и составляющей угол 45° с главными направлениями фазовой пластины. Техническим результатом является возможность имитировать вещество, обладающее КД в широком диапазоне значений величины КД на выбранной длине волны без использования реальных оптически активных веществ, с отсутствием линейной поляризации света на выходе из устройства. 5 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01N 21/19 (2006.01)
G01M 11/02 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015116853/28, 30.04.2015

(24) Effective date for property rights:
30.04.2015

Priority:

(22) Date of filing: 30.04.2015

(45) Date of publication: 10.07.2016 Bull. № 19

Mail address:

660036, g. Krasnojarsk, Akademgorodok, 50, str. N
38, IF SO RAN, patentnyj otdel

(72) Inventor(s):

Zabluda Vladimir Nikolaevich (RU),
Edelman Irina Samsonovna (RU),
Sokolov Aleksej Eduardovich (RU),
Ivanova Oksana Stanislavovna (RU)

(73) Proprietor(s):

FEDERALNOE GOSUDARSTVENNOE
BYUDZHETNOE UCHREZHDENIE NAUKI
INSTITUT FIZIKI im. L.V. Kirenskogo
Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk
(RU)(54) **DEVICE FOR CALIBRATING DICHROGRAPH OF CIRCULAR DICHROISM**

(57) Abstract:

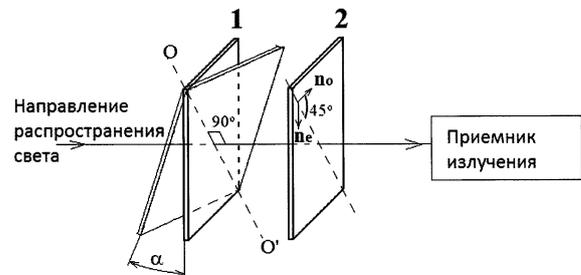
FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to optical devices imitating substance with circular dichroism (CD), with possibility of adjusting specified effect in wide range of values at selected wavelength, which serves for calibrating circular dichroism dichrographs. Device contains linear polariser and phase plate, which provides path difference between ordinary and extraordinary beams $((2m+1) \cdot \lambda/4)$, where m is integer number, λ is wavelength of light. Polariser is isotropic dielectric transparent plate with possibility of adjustable inclination relative to axis perpendicular to direction of propagation of light and component of angle 45° with main directions of phase plate.

EFFECT: enabling simulation of substance with

CD, having CD in wide range of values at selected wavelength without using real optically active substances, without polarised light linearly at outlet from device.

1 cl, 5 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к оптическим устройствам, имитирующим вещество, обладающее круговым дихроизмом (КД), с возможностью регулирования величины задаваемого эффекта в широком диапазоне значений на выбранной длине волны, служащее для калибровки приборов и для измерения величины кругового дихроизма.

5 Круговой дихроизм (циркулярный дихроизм) - один из эффектов оптической анизотропии, проявляющийся в различии коэффициентов поглощения света, поляризованного по правому и левому кругу. Спектры КД удобны для использования на практике, поскольку, как правило, содержат узкие, хорошо разрешимые полосы, характерные для каждого вещества. Этим объясняется то, что в настоящее время метод
10 измерения КД используется очень широко в различных областях науки, особенно химии, медицине, биофизике. КД является новейшим чувствительным методом исследования строения молекул. Важным аспектом измерения КД является точность калибровки величины сигнала, поскольку величина эффекта обычно не превосходит долей процента от значения коэффициента поглощения в неполяризованном свете.

15 В настоящее время калибровка дихрографов кругового дихроизма, как правило, производится с применением оптически активного вещества - эталона, величина КД которого известна на определенной длине волны. Например, в заявке [РФ №2013123106, МПК G01N 21/00, опубл. 27.11.2014 г.] предлагается использовать полимерный оптически активный материал, представляющий собой гель, в котором распределены и
20 иммобилизованы частицы двухцепочечных молекул нуклеиновых кислот, обладающие характерным для них аномальным круговым дихроизмом с заданной по величине характеристикой сигнала при облучении циркулярно-поляризованным излучением на дискретной длине волны в УФ-диапазоне спектра и сохраняющие эту характеристику при хранении в течение нескольких месяцев после его изготовления.

25 Однако использование эталонных веществ имеет ряд недостатков. В первую очередь, это нестабильность заданной величины сигнала во времени и при воздействии различных факторов (температуры, давления, влажности и т.д.). Во-вторых, каждое эталонное вещество характеризуется ограниченным количеством пиков КД и не существует веществ с достаточным количеством пиков в широком спектральном интервале, что
30 приводит к необходимости иметь много эталонных веществ с характерными особенностями на разных длинах волн. Кроме того, необходимо, чтобы величина эффекта эталонного вещества была близка к величине эффекта измеряемого вещества в диапазоне 10^{-6} - 10^{-1} . А если принять во внимание нестабильность растворов химических веществ, то становится ясным, с какими сложностями сталкиваются исследователи и
35 практические работники при калибровке приборов КД.

Все это требует создания новых типов оптических устройств, предназначенных для калибровки дихрографов кругового дихроизма, в которых можно задавать стабильную по времени необходимую величину КД в любой части спектра без использования
40 реальных оптически активных веществ.

Наиболее близким по техническому решению к предлагаемому устройству является устройство, описанное в работе [Костюк Г.К. Устройство для калибровки дихрографа в широкой области спектра / Г.К. Костюк, Е.К. Галанов, М.В. Лейкин // Оптико-механическая промышленность. - 1976. - №5. - С. 28-31], задающее любое значение
45 дихроизма в широком диапазоне длин волн и не требующее конкретного химического соединения. Это устройство представляет собой комбинацию четвертьволновой пластинки и линейного поляризатора. Азимут пластинки - 0 градусов, азимут поляризатора - 45 градусов по отношению к горизонтальной плоскости. При повороте поляризатора вокруг луча на некоторый угол θ в нем появится дихроизм, как и в случае

прохождения света через реальное вещество с величиной дихроизма $\Delta\varepsilon$. Если один из компонентов устройства колеблется, то световой поток окажется частично модулированным по амплитуде. При этом величина КД равна

$$\Delta\varepsilon = 2l \operatorname{tg} \theta \quad (1)$$

Таким образом, задавая угол θ и наблюдая за изменением величины переменного сигнала (U), несущего информацию об измеряемом дихроизме, можно установить коэффициент пропорциональности K для выражения

$$\Delta\varepsilon = U \cdot K \quad (2)$$

Впоследствии, зная этот коэффициент, можно достаточно легко пересчитать величину сигнала в величину измеряемого дихроизма.

Однако это устройство имеет существенный недостаток. После прохождения через него свет имеет почти 100% линейную поляризацию, так как на выходе стоит линейный поляризатор (при задании малых величин кругового дихроизма свет становится эллиптически поляризованным с большим отношением осей). Высокая степень линейной поляризации света может вносить искажения в результаты измерений, поскольку в общей схеме спектрометров по измерению КД находятся различные элементы, чувствительные к линейной поляризации, например линзы, призмы, приемник и т.д., что ограничивает возможности применения данного устройства для калибровки КД дихрографов.

Техническим результатом изобретения является создание устройства, позволяющего имитировать вещество, обладающее КД в широком диапазоне значений на выбранной длине волны без использования реальных оптически активных веществ, с отсутствием линейной поляризации света на выходе из устройства.

Технический результат достигается тем, что в устройстве для калибровки дихрографов кругового дихроизма, содержащем линейный поляризатор и фазовую пластину, новым является то, что фазовая пластина обеспечивает разность хода между обыкновенным и необыкновенным лучами $((2m+1)\lambda/4)$, а в качестве поляризатора используется изотропная прозрачная пластина диэлектрика с возможностью регулируемого наклона относительно оси, перпендикулярной направлению распространения света и составляющей угол 45° с главными направлениями фазовой пластины.

Отличия заявляемого устройства от прототипа заключаются в том, что в заявляемом изобретении используется сочетание фазовой пластины, обеспечивающей разность хода, равную $((2m+1)\lambda/4)$, а в качестве поляризатора используется изотропная прозрачная пластина диэлектрика с возможностью регулирования угла наклона относительно оси, перпендикулярной направлению распространения света и составляющей угол 45° с главным направлениями фазовой пластины. Перечисленные выше признаки позволяют сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна».

При изучении других известных технических решений в данной области техники признаки, отличающие заявляемое изобретение от прототипа, не выявлены, и потому они обеспечивают заявляемому техническому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

На фиг. 1 приведена схема устройства для задания кругового дихроизма. На фиг. 2 представлен ход лучей при наклонном падении света из воздуха на изотропную прозрачную пластину диэлектрика. На фиг. 3 представлена зависимость коэффициентов отражения s- и p-волн от угла падения для кварцевого стекла для $\lambda=550$ нм. На фиг. 4 приведена зависимость величины КД устройства от угла наклона изотропной стеклянной

пластины. На фиг. 5 приведена рабочая область углов наклона изотропной стеклянной пластины и величин КД.

Устройство содержит наклонную изотропную прозрачную пластину диэлектрика (1) и фазовую пластину (2), вырезанную из одноосного кристалла параллельно его оптической оси, для которой выполняется условие $(n_o - n_e)d = (2m+1)\lambda/4$, где m - любое целое число либо ноль, n_o и n_e показатели преломления лучей, электрические колебания которых происходят вдоль оптической оси кристалла (обыкновенный луч) и перпендикулярно к оси (необыкновенный луч), d - толщина пластины. При прохождении света через такую фазовую пластину лучи приобретают разность фаз, равную $(2m+1)\pi/2$. Фазовая пластина (2) расположена перпендикулярно к направлению распространения света. Изотропная прозрачная пластина диэлектрика имеет возможность регулирования угла наклона относительно оси OO' , проходящей перпендикулярно к направлению распространения света и под 45° к главным осям фазовой пластины. Изменение угла наклона α изотропной пластины приводит к изменению степени частичной линейной поляризации проходящего через нее луча от 0 (при $\alpha=0^\circ$) до максимального значения (при α , равном углу Брюстера для материала пластины). После прохождения светом изотропной прозрачной пластины частично линейно поляризованный свет попадает на фазовую пластину, при этом угол между плоскостью линейной поляризации света и главными направлениями фазовой пластины составляет 45° . Это условие приводит к тому, что частичная линейная поляризация света полностью преобразуется в частичную круговую поляризацию на выходе из устройства. Полученный таким образом сигнал тождественен прохождению света через оптически активное вещество с КД.

Устройство работает следующим образом.

В естественном (неполяризованном) свете все направления колебаний электрического поля равновероятны, и его можно представить как сумму двух линейно поляризованных волн равной интенсивности, в которых колебания происходят, соответственно, параллельно (р-поляризация) и перпендикулярно плоскости падения (s-поляризация) света. При нормальном падении света на пластину свет остается неполяризованным. При наклонном падении света на изотропную прозрачную пластину диэлектрика (фиг. 2) происходит изменение поляризации отраженного и преломленного лучей: в отраженном луче уменьшается интенсивность р-волны, а в проходящем s-волны, что приводит к частичной линейной поляризации проходящей и отраженной волн. Степень линейной поляризации ΔK зависит от угла падения света на изотропную пластину и ее показателя преломления и определяется с помощью формул Френеля [Лансберг Г.С. Оптика / Г.С. Лансберг. - Москва: Из-во Наука, 1976. - 928 с.]

$$r_s = \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} = \frac{\sin^2(\alpha - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})}{\sin^2(\alpha + \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})}, \quad (3)$$

$$r_p = \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}^2(\alpha + \beta)} = \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})}{\operatorname{tg}^2(\alpha + \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})}, \quad (4)$$

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \quad (5)$$

$$\Delta K = \frac{r_s - r_p}{2 - r_s - r_p} * 100 = \frac{\frac{\sin^2(\alpha - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})}{\sin^2(\alpha + \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})} - \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})}{\operatorname{tg}^2(\alpha + \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})}}{2 - \frac{\sin^2(\alpha - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})}{\sin^2(\alpha + \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})} - \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha - \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})}{\operatorname{tg}^2(\alpha + \arcsin \frac{\sin \alpha}{n})}}. \quad (6)$$

5

где r_s - коэффициент отражения s-волны; r_p - коэффициент отражения p-волны; α - угол падения световой волны; β - угол преломления световой волны; n - показатель преломления; ΔK - степень поляризации проходящего луча. На фиг. 3 изображены зависимости коэффициентов отражения s- и p-волн от угла падения на границе раздела воздух-стекло. Видно, что при некотором угле падения света коэффициент $r_p=0$ и, соответственно, степень поляризации преломленного и отраженного лучей будет максимальна. Это условие выполняется, когда $(\alpha+\beta)=\pi/2$, при угле падения Брюстера:

10

$$\alpha = \alpha_B = \arctg \frac{n_2}{n_1}.$$

15

Поскольку свет, проходя через наклонную изотропную прозрачную пластину, пересекает две грани, то степень линейной поляризации света прошедшего через нее света следует рассчитывать по формуле

$$\Delta = 1 - (1 - \Delta K)^2 \quad (7)$$

20

После прохождения света через наклонную изотропную прозрачную пластину частично линейно поляризованный свет попадает на фазовую пластину, расщепляющую поляризованный пучок света на две компоненты, электрические колебания которых происходят вдоль оптической оси кристалла (обыкновенный луч) и перпендикулярно к оси (необыкновенный луч), и создающую разность хода между этими лучами, определяемую формулой $(n_o - n_e)d = (2m + 1)\lambda/4$, где m - любое целое число либо ноль, n_o и n_e - показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей.

25

При прохождении частично линейно поляризованного луча через такую фазовую пластину неполяризованная компонента луча совершенно не изменяется, а линейно поляризованная компонента преобразуется в эллиптическую. Так как плоскость частичной поляризации волны составляет 45° с главными направлениями фазовой пластинки, то частичная линейная поляризация света полностью преобразуется в частичную круговую поляризацию света при прохождении данной фазовой пластинки. В результате получится сигнал, тождественный сигналу после прохождении света через оптически активное вещество с КД, с полным отсутствием линейной поляризации луча на выходе из устройства. Изменение угла наклона изотропной пластины позволяет на выходе из устройства задавать величину КД в широком диапазоне значений на выбранной длине волны.

35

После прохождения световой волны через предлагаемое устройство определяется значение сигнала, соответствующее заданной величине КД, и калибровка дихрографов КД осуществляется путем выявления соответствия, между характеристиками регистрируемого системой оптического сигнала и известной величиной КД предлагаемого устройства.

40

Для подтверждения идентичности круговой поляризации света, создаваемой предлагаемым устройством, и круговой поляризации, возникающей в реальной оптически активной среде, проведем описание поведения света с помощью матриц Мюллера [Шерклифф У. Поляризованный свет / У. Шерклифф. // - Москва: Изд-во Мир, пер. с англ., 1965. - 264 с.].

45

Световому потоку любой поляризации в матричном представлении Мюллера можно сопоставить единственный столбец-вектор Стокса:

$$5 \quad \begin{pmatrix} I \\ M \\ C \\ S \end{pmatrix},$$

четыре параметра которого соответствует усредненной по времени интенсивности. Первый параметр I называется интенсивностью. Параметры M, C и S называются, соответственно, параметрами преимущественной горизонтальной поляризации, преимущественной поляризации под углом 45° и преимущественной правоциркулярной поляризации. Отрицательная величина параметра соответствует преимущественной ортогональной форме поляризации.

15 Выражения, описывающие любое оптическое устройство (поляризатор, фазовую пластинку и т.д.), являются матрицей Мюллера размерности 4×4. Конкретные матрицы характеризуют не только само устройство, но и его ориентацию (азимут). Для получения вектора Стокса, характеризующего световой поток, прошедший совокупность устройств, необходимо перемножить соответствующие матрицы по обычным правилам матричной алгебры с соблюдением следующих условий: вектор, представляющий падающий свет, записывается справа, а матрицы, соответствующие различным устройствам, располагаются последовательно справа налево.

20 Запишем матрицы Мюллера, описывающие прохождение естественного света через вещество с КД и прохождение света через предлагаемое устройство, состоящее из наклонной изотропной прозрачной пластины диэлектрика и фазовой пластины.

Случай 1. Естественный свет, проходит через вещество с КД

$$30 \quad \begin{pmatrix} S \\ 0 \\ 0 \\ \Delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S & 0 & -1 & \Delta \\ 0 & U & 0 & 0 \\ -1 & 0 & U & 0 \\ \Delta & 0 & 0 & S \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

III II I

35 где $S=K_+ + K_-$, $\Delta=K_+ - K_-$, $U=2\sqrt{K_+ - K_-}$, K_+ , K_- - коэффициенты пропускания + и - круговых волн.

Случай 2. Естественный свет проходит через наклонную изотропную пластинку и далее через фазовую пластину

$$40 \quad \begin{pmatrix} d \\ 0 \\ 0 \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a & b & 0 & 0 \\ b & a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

VI V IV I

45 где $a=K_+ + K_-$, $b=K_+ - K_-$, $c=2\sqrt{K_+ - K_-}$, K_+ , K_- - коэффициенты пропускания + и - круговых волн.

I- Вектор Стокса для неполяризованного света.

II - Вещество с круговым дихроизмом (понятие азимута не имеет смысла).

III - Результат прохождения света через вещество с КД.

IV - Наклонная изотропная пластина с азимутом 45° (устройство с линейным дихроизмом).

V - Фазовая пластинка, создающую разность хода между обыкновенным и
5 необыкновенным лучами в четверть длины волны (азимут= 45°).

VI - Результат прохождения света через описываемое устройство.

Сравнивая результаты, полученные после прохождения света через вещество с КД
и после прохождения света через предлагаемое устройство, можно утверждать, что
10 состояния световой волны в обоих случаях идентичны. Таким образом, прохождение
света через предлагаемое устройство полностью тождественно прохождению света
через вещество с КД.

В качестве наклонной изотропной прозрачной пластины берем пластину из
плавленого кварца, у которой для длины волны $\lambda=550$ нм показатель преломления
равен $n=1.46$. При нормальном падении на пластину светового луча степень поляризации
15 проходящего света равна нулю, а при увеличении угла наклона степень поляризации
и, как следствие, величина дихроизма будет расти и при угле наклона, равном углу
Брюстера (в данном случае $\alpha=\alpha_B=55.6^\circ$), степень линейной поляризации проходящего
луча, рассчитанная по формуле (6), достигнет максимума и будет равна после
20 прохождения двух граней пластины (формула (7)) $\approx 13\%$. После прохождения волной
фазовой пластины значение КД будет иметь эту же величину. Это означает, что с
помощью данного устройства можно задавать величину КД в пределах от 0 до 0.13.

Для длины волны $\lambda=550$ нм минимальная толщина фазовой пластины, выполненной
из кристаллического кварца, будет равна 15.3 мкм (так как $n_o=1.545$ $n_e=1.554$ и

$$25 \quad (n_o - n_e)d = ((2m + 1)\lambda/4).$$

К примеру, при угле наклона $\varphi=10^\circ$, рассчитанная по формуле (6) степень линейной
поляризации при прохождении одной грани будет равна 0.168%. А на выходе из
пластины $\Delta=0.336\%$, что даст величину КД в этом случае, равную 0.00336.

На фиг. 4 представлен график зависимости задаваемой величины КД от угла наклона
30 изотропной пластины на $\lambda=550$ нм, показатель преломления которой равен $n=1.46$. В
действительности, величина КД реальных оптически активных веществ, как правило,
не превышает 10^{-2} , соответственно, рабочими углами поворота стеклянной пластины
является область малых углов \approx до 10° . Эта область приведена на фиг. 5.

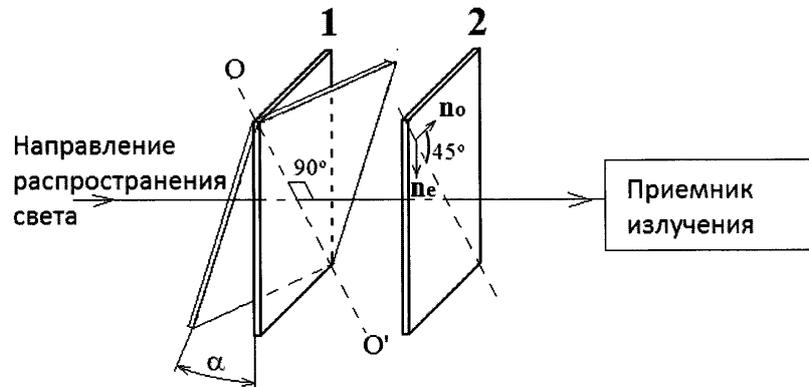
35 **Формула изобретения**

Устройство для калибровки дихрографов кругового дихроизма, содержащее линейный
поляризатор и фазовую пластину, отличающееся тем, что фазовая пластина обеспечивает
разность хода между обыкновенным и необыкновенным лучами $((2m+1)\cdot\lambda/4)$, где m -
целое число, λ - длина волны света, а в качестве поляризатора используется изотропная
40 прозрачная пластина диэлектрика с возможностью регулируемого наклона относительно
оси, перпендикулярной направлению распространения света и составляющей угол 45°
с главными направлениями фазовой пластины.

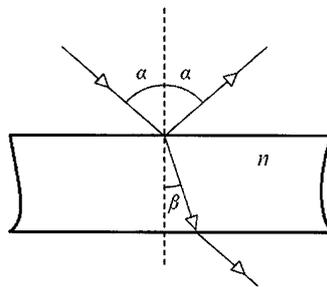
45

1/3

Устройство для калибровки
дихрографов кругового дихроизма



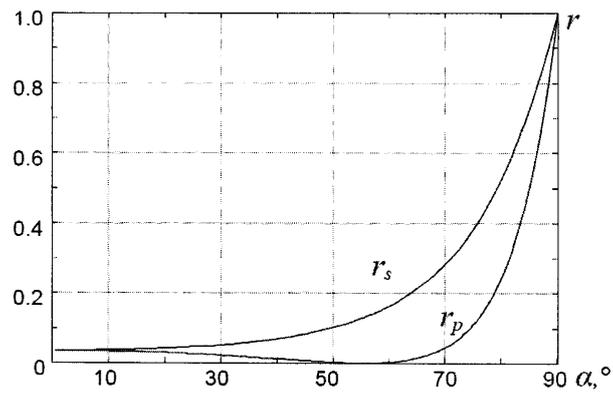
Фиг.1.



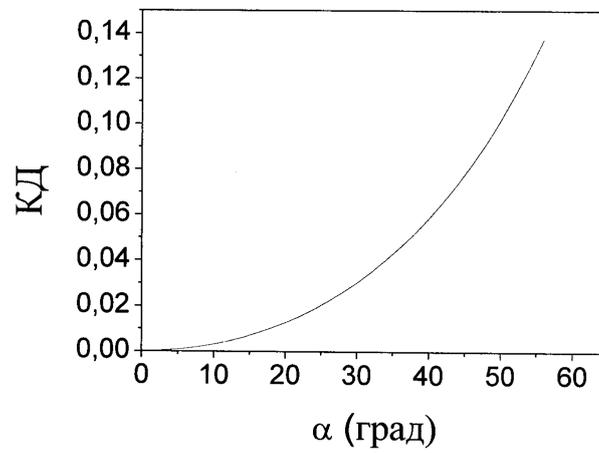
Фиг.2

2/3

Устройство для калибровки
дихрографов кругового дихроизма



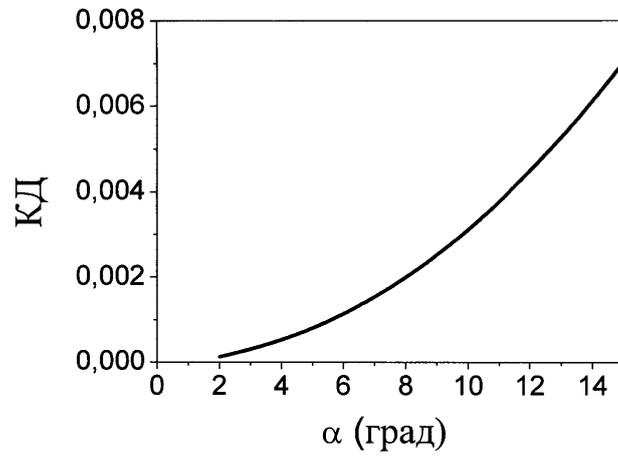
Фиг.3



Фиг.4

3/3

Устройство для калибровки
дихрографов кругового дихроизма



Фиг.5.