

Винахід відноситься до контрольно-вимірювальної техніки та оптики світлорозсіювальних середовищ, зокрема, до оптичних пристроїв та способів контролю параметрів завислих диспергованих часток і може бути використаний в колоїдній хімії, хімічній, лакофарбній, фармацевтичній та харчовій промисловостях, а також в медицині, біології і екології.

Відомий спосіб визначення середнього розміру часток, завислих у суспензії у якому з метою вимірювання середнього розміру часток сильно поглинаючих речовин з параметром дифракції в інтервалі $1,5 \leq \rho \leq 7$, вимірюють об'ємну концентрацію часток суспензії, а середній розмір часток знаходять із формули

$$r = \frac{\lambda}{2\pi} \left(\frac{A}{B + 4\varepsilon/3C_v} + D \right),$$

де λ - довжина хвилі випромінювання; ε - показник ослаблення випромінювання; C_v - об'ємна концентрація; A , B , D - емпіричні константи: $A = 53,136 \text{ мкм}^{-1}$, $B = 1,769 \text{ мкм}^{-1}$, $D = -0,504$; $\rho = 2\pi r / \lambda$ - середній параметр дифракції часток [А. с. СРСР, №1002911, G01 N 15/02, 1983].

Основними недоліками цього способу є значна похибка у визначенні середнього розміру частинок завдяки складності точного визначення емпіричних сталих та об'ємної концентрації завислих частинок для кожного експерименту.

Відомий пристрій для визначення розмірів та концентрації світлорозсіювальних часток з метою підвищення точності і зменшення нижньої межі розмірів часток, об'єктив і апертурна діафрагма послідовно розташовані на оптичній осі джерела висококогерентного світлового випромінювання між кюветою з дослідним середовищем і інтерферометром поперечного сканування, при цьому інтерферометр виконаний у вигляді розташованих послідовно по ходу променів першого поляризатора, двох ідентичних двох променезаломлюючих клинів, що утворюють плоскопаралельну платівку, двоприменезаломлюючої платівки і другого поляризатора, які виконані таким чином, що їх товщини однакові, а площини першого і другого поляризаторів взаємно перпендикулярні, оптичні осі клинів направлені перпендикулярно оптичній осі двоприменезаломлюючої платівки, утворюючи кут 45° з площинами поляризації поляризаторів, і разом з оптичною віссю двоприменезаломлюючої платівки розташованої в площині, перпендикулярній напрямку поширення світлового пучка [А.с. №1578590, G 01 N 15/02, 1990].

Основним недоліком цього пристрою є наявність в конструкції складної поляризаційної системи, яка зумовлює складність, налагоджування, юстування та визначення відповідних поляризаційних матриць, що, в свою чергу, суттєво впливає на точність і експресність вимірювань.

Найбільш близьким за технічною суттю є спосіб визначення середнього розміру диспергованих часток сферичної форми у монодисперсному світлорозсіювальному середовищі за індикатрисами розсіювання для фіксованих значень ρ - "фактора Мі", який лежить в межах $0,1 \rho \leq 50$ по формулі $a = \lambda \rho / \pi$, де a - середній розмір світлорозсіювальних часток, λ - довжина хвилі випромінювання [Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. - М.: ГТТИ, 1951. - 288 с., С. 144-164].

Основним недоліком приведеного способу є неможливість точного визначення середнього розміру часток неправильної форми для полідисперсного середовища, оскільки це є обмеженням теорії Мі. Крім того, даний спосіб може використовуватись тільки для фіксованих значень ρ і базується на статистичних теоретичних даних ідеальних світлорозсіювальних середовищ, порівняння яких із натурним експериментом дає значні розходження.

Найбільш близьким за технічною суттю є моделювальна установка для відтворення умов глибинного режиму, до складу якої входять: скляний циліндр із дзеркальними стінками і підставкою, який наповнюється дисперсним середовищем, на стінці якого встановлений оптичний зонд з приймальною призмою (первинний оптичний перетворювач), який у свою чергу, оптично з'єднаний з фотопомножувачем із спектральною областю 400-800 нм, що обертається разом з ним навколо горизонтальної осі в світлорозсіювальному середовищі, фіксуючи значення яскравостей в одній точці досліджуваного середовища [Рвачев В.П. Методы оптики светорассеивающих сред в физике и биологии. - Мн.: БГУ, 1978. - 240 с., С. 193-210].

Основними недоліками моделювальної установки є проведення вимірювання яскравості в одній точці досліджуваного середовища, а також неможливість задання трьох ступенів свободи руху оптичного зонда всередині світлорозсіювального середовища, що, в свою чергу, унеможливує отримання повних профілів тіл яскравості, і відсутність зйомного сфероподібного оптичного первинного перетворювача для визначення просторової освітленості E_0 середовища. Крім того, ручний характер вимірювальних операцій вносить суттєві суб'єктивні та методичні похибки.

В основу винаходу поставлена задача розроблення способу визначення середнього розміру часток у світлорозсіювальному середовищі, в якому за рахунок проведення послідовного циклу вимірювання не менше, ніж в трьох точках досліджуваного об'єму по трьом ступеням свободи досягається можливість визначення значень профілів тіл яскравості $B(z, \theta)$ і $B(z_0, \theta)$ світлорозсіювального полідисперсного середовища на заданій довжині хвилі λ , а саме низхідної E_\downarrow , висхідної E_\uparrow та просторової E_0 освітленостей в умовах глибинного режиму z в межах 2π та відповідного їм показника послаблення ε' і наступного визначення показника поглинання m_α за виразами:

$$\varepsilon' = - \frac{\ln \left[\frac{B(z, \theta)}{B(z_0, \theta)} \right]}{z - z_0}, \quad m_\alpha = \bar{\mu} \varepsilon' = \varepsilon \frac{E_\downarrow - E_\uparrow}{E_0},$$

на підставі чого визначається середній розмір диспергованих часток a за виразом $a = \sqrt{\frac{m_\alpha V}{2\pi}}$, де V - одиниця об'єму досліджуваного середовища.

Поставлена задача досягається тим, що за рахунок послідовного вимірювання не менш, ніж в трьох точках досліджуваного об'єму по трьом ступеням свободи переміщення зонда значення профілів тіл яскравості $B(z, \theta)$ і

$B(z_0, \theta)$ на заданій довжині хвилі λ , а саме низхідної E_{\downarrow} , висхідної E_{\uparrow} та просторової E_0 освітленостей в умовах глибинного режиму z в межах 2π та відповідного їм показника послаблення ε' і наступного визначення

показника поглинання m_{α} елементарного об'єму цього середовища за виразами: $\varepsilon' = -\frac{\ln \left[\frac{B(z, \theta)}{B(z_0, \theta)} \right]}{z - z_0}$,

$m_{\alpha} = \bar{\mu} \varepsilon' = \varepsilon \frac{E_{\downarrow} - E_{\uparrow}}{E_0}$, на підставі чого визначають середній розмір диспергованих часток a за виразом:

$a = \sqrt{\frac{m_{\alpha} V}{2\pi}}$, де V - одиниця об'єму досліджуваного середовища.

В основу винаходу поставлена задача створення пристрою для визначення середнього розміру диспергованих часток у світлорозсіювальному середовищі, в якому за рахунок введення автоматизованого кінематичного блоку переміщення зонда, зйомних призмного і сфероподібного оптичних первинних перетворювачів досягається можливість в автоматичному режимі здійснювати переміщення оптичного зонда в трьох ступенях свободи всередині досліджуваного об'єму, що призводить до вимірювання безперервного профілю тіл яскравості.

Поставлена задача досягається тим, що за рахунок введення автоматизованого кінематичного блоку переміщення зонда, зйомного сфероподібного оптичного первинного перетворювача, і призмного оптичного первинного перетворювача, який виконаний зйомним, досягається можливість в автоматичному режимі здійснювати переміщення зонда в трьох ступенях свободи всередині досліджуваного об'єму, не менше, ніж по трьом точкам, що призводить до вимірювання безперервного профілю тіл яскравості $B(z, \theta)$ і $B(z_0, \theta)$ та визначення середнього розміру диспергованих часток та відтворювати отриману вимірювальну інформацію за допомогою комп'ютера у зручному для оператора вигляді, що суттєво підвищує точність вимірювань, а також унеможливує виникнення суб'єктивних та методичних похибок.

На фіг. 1 представлені профілі тіл яскравості дисперсних середовищ з різним значенням "фактора M_i ".

На фіг. 2 представлено функціональну схему пристрою для визначення середнього розміру диспергованих часток у світлорозсіювальному середовищі.

Спосіб здійснюється наступним чином. В резервуарі наповненому досліджуванним дисперсним середовищем заданої концентрації, яке опромінюється монохроматичним джерелом випромінювання певної довжини хвилі і потужності так, щоб у досліджуваному об'ємі дисперсного середовища наступив глибинний режим, який не залежить від умов опромінення середовища, переміщається в автоматичному режимі зонд із змінним призмним оптичним первинним перетворювачем і проводить ряд послідовних вимірювань безперервного профілю тіл яскравості $B(z, \theta)$ і $B(z_0, \theta)$, які дозволяють отримувати відповідно значення низхідної E_{\downarrow} і висхідної E_{\uparrow} в умовах глибинного режиму z в межах 2π . Δ суттєво залежить від оптичної товщини $\tau = \varepsilon \cdot l$, яка, в свою чергу, зумовлюється концентрацією розчину (c). Чим більша концентрація диспергованих частинок, тим більша оптична товщина τ і тим менша ймовірність "виживання" фотона Δ .

Зміна яскравості $B(z, \theta)$ з глибиною z відбувається за експоненційним законом:

$$B(z, \theta) = B(0, \theta) \exp\{-\varepsilon'(z - z_0)\}, \quad (1)$$

де $B(z, \theta)$ - яскравість дослідного середовища на його верхній межі, коли, як правило, $z_0 = 0$; z - оптична глибина, на якій встановлюється глибинний режим. В умовах же глибинного режиму експериментально показник послаблення ε' визначається як тангенс кута нахилу прямолінійної ділянки залежності $\ln \left[\frac{B(z, \theta)}{B(z_0, \theta)} \right]$ від глибини z :

$$\varepsilon' = -\frac{\ln \left[\frac{B(z, \theta)}{B(z_0, \theta)} \right]}{z - z_0}, \quad (2)$$

або

$$\varepsilon' = -\frac{d \ln E_{\downarrow}}{dz}, \quad (3)$$

де E_{\downarrow} - освітленість вимірювальної горизонтальної площадки зонда зверху; $B(z, \theta)$ і $B(z_0, \theta)$ - відповідні цим глибинам яскравості розсіяних променів під кутом θ . При цьому величина ε' , дійсно, не залежить від глибини. Тоді показник послаблення елементарного об'єму неоднорідного середовища відповідає виразу:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon'}{\gamma}, \quad (4)$$

де $\gamma \cong \sqrt{\frac{\beta}{q}}$ при $\beta \ll 1$; q - стала Розенберга, що залежить тільки від виду матриці розсіювання f_{ik} і безпосередньо зв'язана з формою тіла яскравості світла, розсіяного в глибині середовища. При цьому для симетричних, наприклад: Релеївських тіл яскравості - $q = \frac{1}{3}$; Ламбертівських - $q = \frac{1}{2}$; для асиметричних тіл яскравості (наприклад: Хень'ї-Грінштейна) q зростає досягаючи для туманів та дрібнодисперсних порошків значень близьких 1,5, а для більш крупнодисперсних середовищ - декількох одиниць. З (1-4) випливає:

$$\beta = \frac{1}{4q} \left(\frac{E_{\downarrow} - E_{\uparrow}}{E_0} \right)^2 = \frac{\alpha}{\sigma}, \quad (5)$$

що є зручним виразом для визначення питомого поглинання, збільшення якого веде до "втягування" тіла яскравості і тим самим до монотонної залежності від β ступеня поляризації світла в глибинному режимі.

Відтак, освітленість зверху приймального зонда в зоні глибинного режиму дорівнює:

$$E_{\downarrow}(z) = E_0 g(\mu_0) e^{-x}, \quad (6)$$

де $x = \gamma \cdot \tau = \gamma \cdot \varepsilon \cdot z$; $g(\mu)$ - функція кутового розподілу світла, що виходить з мутного середовища, яка залежить від виду тіла яскравості $f(\theta)$ або q , але не від ε чи m_{α} . Щоправда, вираз (6) справедливий тільки для бездонного середовища, оскільки на глибині присутнє чорне дно, то маємо:

$$E_{\downarrow}(z) = E_0 g(\mu_0) \frac{\text{sh}(x'+y)}{\text{sh}(x_0+y)}, \quad (7)$$

$$\frac{d \ln E_{\downarrow}}{dz} = -\varepsilon' \text{cth}(x'+y), \quad (8)$$

де $x' = \gamma \varepsilon z$; $x_0 = \gamma \varepsilon l$, $y = 4q\gamma$; sh , cth - види функцій напрямку опромінення і спостереження, що залежить тільки від виду $f(\theta)$.

Після завершення послідовних вимірювань змінним призменним оптичним первинним перетворювачем, останній замінюється на змінний сфероподібний оптичний первинний перетворювач, після чого зонд знову переміщується в автоматичному режимі і проводить ряд послідовних вимірювань безперервного профілю тіл яскравості $B(z, \theta)$ і $B(z_0, \theta)$, які дозволяють отримувати відповідно значення просторової E_0 освітленості в умовах глибинного режиму z в межах 2π .

Особливого значення у даному спектроаналітичному експерименті набуває визначення просторової сферичної освітленості E_0 , яка знаходиться за допомогою оптичного зонда, коли приймальна поверхня являє собою зйомну сферу радіусом $r \approx 15$ мм, з центром у точці виміру, де реалізується глибинний режим:

$$E_0 = \int_{4\pi} B d\omega = 2\pi \int_{-1}^{+1} B(\bar{\mu}) d\mu, \quad (9)$$

$$\text{де } \bar{\mu} = \frac{E_{\downarrow} - E_{\uparrow}}{E_0} = \frac{\int_{-1}^{+1} \mu B(\bar{\mu}) d\mu}{\int_{-1}^{+1} B(\bar{\mu}) d\mu} \quad (10)$$

середній косинус кутів нахилу пучка випромінювання у середовищі. При цьому зйомна матована сфера пропускає всередину зонда достатню кількість світла.

Отже, вимірявши значення низхідної E_{\downarrow} та висхідної E_{\uparrow} освітленостей у глибинному режимі, коли зонд має плоску приймальну поверхню, причому E_{\downarrow} відповідає приймальній поверхні, направленої вверх, а E_{\uparrow} - вниз (призменний зонд повертається на 180°), а також просторову освітленість E_0 з допомогою сферичного зонда, можна знайти точне значення питомого показника поглинання елементарного об'єму досліджуваного дисперсного середовища:

$$m_{\alpha} = \bar{\mu} \varepsilon' = \varepsilon' \frac{E_{\downarrow} - E_{\uparrow}}{E_0}. \quad (11)$$

Знаючи m_{α} диспергованих часток, можна оцінити їх середній радіус (a) за виразом: $m_{\alpha} = 2\pi n a^2 \approx \frac{2\pi a^2}{V}$, де $n = 1/V$ - число часток в одиниці об'єму досліджуваного середовища, що еквівалентно об'ємній концентрації розчиненої речовини C_v : $C_v = \frac{m}{10V}$, де m - маса розчиненої речовини. Відтак, шуканий середній розмір часток дисперсного середовища знаходиться з виразу:

$$a = \sqrt{\frac{m_{\alpha} V}{2\pi}}, \quad (12)$$

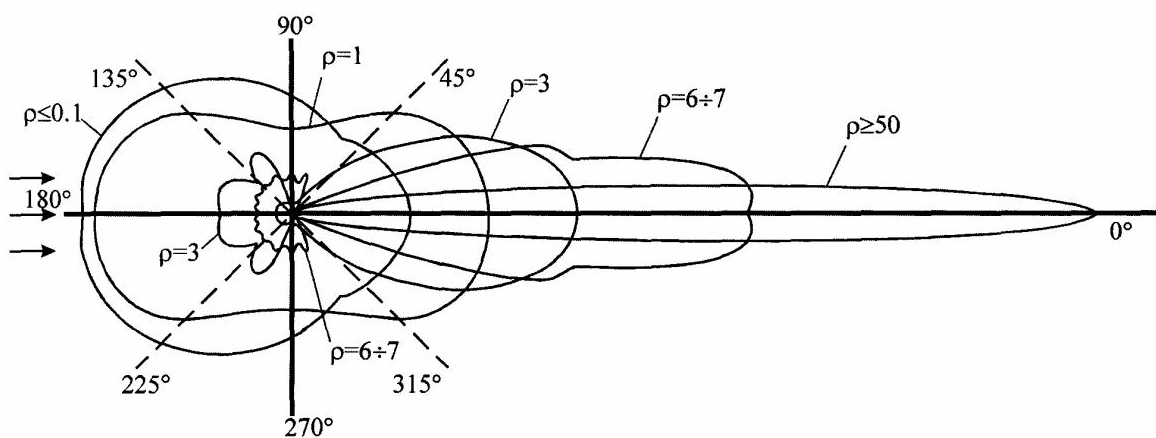
Для перевірки виразу (12) можна використати так званий "параметр Мі":

$$\rho = \frac{2\pi a}{\lambda}, \quad (13)$$

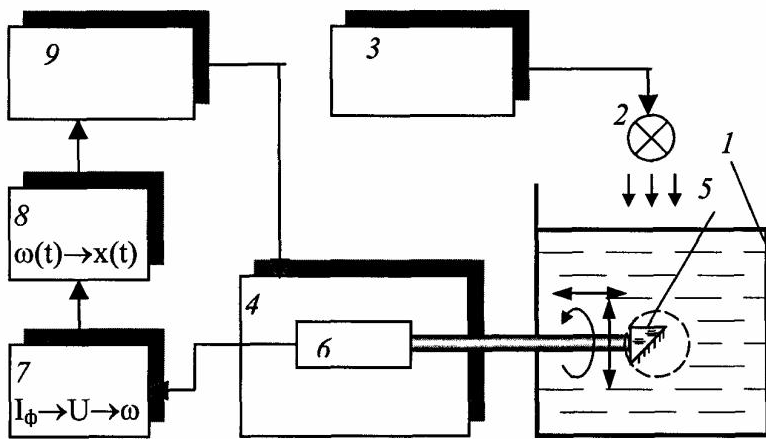
який характеризує вид безперервних профілів тіл яскравості (фіг. 1). При цьому, чим більше значення ρ , тобто чим більше відношення розмірів часток до довжини хвилі, профіль видовжується. Значення $\rho \leq 1$ вказують на те, що профіль в основному зосереджений в зустрічній області фронту хвилі. При $\rho > 10$, профілі тіл яскравості сильно витягуються вперед по ходу падіння променів. У випадку, коли довжина хвилі λ співрозмірна з розміром часток ($\lambda \approx a$, $\rho \approx 3 \div 10$) спостерігаються різко виражені інтерференційні ефекти, зумовлені суперпозицією дифрагованого і відбитого або пройденого світла. Отже, отриманні форми тіла яскравості чітко свідчать за розміри диспергованих часток.

Пристрій складається (фіг. 2): 1 - ємкості з досліджуваним середовищем, 2 - джерела випромінювання, яке з'єднано з системою живлення - 3. До ємкості 1 приєднаний автоматизований кінематичний блок переміщення зонда - 4, що містить зонд із зйомним оптичним первинним перетворювачем (призменним або сфероподібним) - 5, який з'єднаний із 6 - фотоприймачем та із 7 - блоком перетворення фотоструму в частоту, який сполучений з 8 - блоком формування цифрового коду та взаємозв'язку з периферійним пристроєм 9.

Пристрій працює наступним чином: периферійний пристрій 9 за допомогою відповідної програми запускає автоматизований кінематичний блок переміщення зонда 4, після цього 5 - зонд із зйомним призменним оптичним первинним перетворювачем починає переміщуватися із початкового верхнього положення у нижнє кінцеве положення, поступово заглиблюючись у дисперсне середовище, при цьому зонд робить короточасні зупинки в певні моменти часу, які визначаються характером експерименту, під час яких проводяться вимірювання безперервного профілю тіл яскравості за допомогою 6 - фотоприймача, який, в свою чергу, передає сигнал на 7 - блок перетворення фотоструму в частоту, а далі 8 формує цифровий сигнал і передає його до пам'яті комп'ютера за допомогою 9 - периферійного пристрою. Після завершення циклу вимірювань із низхідної і висхідної освітленостей операції вимірювання повторюються аналогічно із зйомним сфероподібним оптичним первинним перетворювачем. В цьому випадку вимірюється просторова освітленість. Вся оптична інформація про стан світлового поля всередині світлорозсіювального середовища заноситься до пам'яті комп'ютера, де узгоджується, обробляється і висвітлюється на екрані монітора у вигляді таблиць, аналітичних або графічних залежностей функцій яскравості: $V_z = f(\Theta)$; $V_\Theta = f(z)$; $V_z = f(c)$ тощо, де z - глибина шару середовища, на якій проводилися виміри, що відраховується від поверхні дисперсного середовища; Θ - полярний кут обертання зонда відносно свого першопочаткового положення в межах $0^\circ \leq \Theta \leq 180^\circ$; c - концентрація досліджуваного середовища.



Фіг.1.



Фиг.2.