



УКРАЇНА

(19) UA (11) 45077 (13) A

(51) 7 G01N15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДВидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ДЗЕТА-ПОТЕНЦІАЛУ І РОЗМІРІВ ЧАСТИНКИ

1

2

(21) 2001042911

(22) 27 04 2001

(24) 15 03 2002

(46) 15 03 2002, Бюл. № 3, 2002 р.

(72) Бунін Микола Іванович, Морозов Микола
Вікторович, Солодов Вадим Вікторович, Мовчан
Сергій Іванович(73) ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА
АКАДЕМІЯ

(57) Спосіб вимірювання швидкості, дзета-потенціалу і розмірів частинки, який полягає в тому, що освітлюють досліджуване середовище когерентним випромінюванням і реєструють фотоприймачем інтенсивність розсіяного частинкою випромінювання, який відрізняється тим, що створюють в досліджуваному середовищі горизонтальне електричне поле заданої напруженості, формують в зондуєчій зоні послідовно в часі три системи інтерференційних смуг, обернутих відносно одна одної, одна із яких орієнтована вертикально, подають сигнал з фотоприймача на цифровий запам'ятовувачий осцилограф, визначають три доплерівські частоти зазначеного сигналу, які відповідають трьом послідовним положенням інтерференційних смуг, обчислюють горизонтальну і вертикальну складові швидкості, дзета-потенціал і ефективний діаметр частинки

Винахід відноситься до області контрольно-вимірювальної техніки і призначений для визначення швидкості, дзета-потенціалу і розмірів частинок, що рухаються в рідині під дією сили тяжіння і електрофоретичної сили, методом лазерної доплерівської анемометрії

Відомий спосіб вимірювання дзета-потенціалу описаний, наприклад в [Лобанов М В, Кривов М Н Приборы для определения электрофоретической подвижности частиц в дисперсных системах – "Водоснабжение и санитарная техника", 1979 №9 с 4-6] заключається він в тому, що частинку яка рухається в рідкому середовищі під дією електричного поля спостерігають за допомогою мікроскопа, забезпеченого вимірювальною сіткою, визначають швидкість руху частинок, як результат ділення шляху, пройденого частинкою, на час, що вимірюється секундоміром

Значення дзета-потенціалу визначають за формулою

$$\xi = \frac{3V_r \eta}{2\epsilon \epsilon_0 E}, \quad (1)$$

де v_r – швидкість руху частинок при електрофорезі,

η – динамічна в'язкість рідини,

ϵ – відносна діелектрична проникність рідини,

ϵ_0 – електрична стала,

E – напруженість електричного поля

Недоліком цього способу є неможливість визначення розмірів частинок, відсутність автоматизації та невисока точність вимірювань

За прототип вибрано спосіб визначення розмірів частинок в рухомому середовищі, описаний в [а с СССР № 1589140, МКИ G01 № 15/00, 30 08, 1990, Бюл. №32] Сутність його в тому, що освітлюють досліджуване середовище когерентним випромінюванням, реєструють фотоприймачем розсіяне частинкою світлове випромінювання, по амплітуді і тривалості електричних імпульсів, одержаних при реєстрації розсіяного випромінювання, визначають розміри частинок

Недоліком способу – прототипу є неможливість визначення швидкості і дзета-потенціалу частинки

Задачею винаходу, який подається, є створення способу вимірювання швидкості, дзета-потенціалу і розмірів частинок, в якому шляхом вимірювання трьох складових швидкості руху частинок, визначаються розміри і дзета-потенціал, що дозволяє безконтактне в процесі досліджень, з високою точністю одночасно в реальному часі вимірювати зазначені параметри частинки Таким чином розширюються функціональні можливості запропонованого способу вимірювань

Поставлена задача вирішується тим, що освіт-

(13) A

(11) 45077

(19) UA

люють досліджуване середовище когерентним випромінюванням і реєструють фотоприймачем інтенсивність розсіяного, частинкою світлового випромінювання, і відповідно винаходу створюють в досліджуваному середовищі горизонтальне електричне поле заданої напруженості, формують в зондуємі зоні послідовно в часі три системи інтерференційних смуг, обернутих відносно одна одної, одна з яких орієнтована вертикально, подають сигнал з фотоприймача на цифровий запам'ятовуючий осцилограф, визначають три доплерівські частоти зазначеного сигналу, які відповідають трьом послідовним положенням інтерференційних смуг, обчислюють горизонтальну і вертикальну складові швидкості, дзета-потенціал і ефективний діаметр частинки

Особливістю запропонованого способу є створення горизонтального електричного поля і послідовних в часі трьох систем інтерференційних смуг в зондуємі області, що забезпечує вимірювання в реальному часі не лише швидкості, а й розмірів і дзета-потенціалу частинок

На фіг 1 – представлена схема для визначення горизонтальної складової швидкості частинок. На фіг 2 і фіг 3 представлені схеми інтерференційних смуг для визначення вертикальної складової швидкості частинок. На фіг 4 представлена блок-схема пристрою для здійснення запропонованого способу. Фіг 5, вид А, фіг 4

Пристрій для здійснення запропонованого способу містить, джерело 1 когерентного випромінювання – лазер типу ЛГН-222, складовий сплоскоподільник 2, електромеханічний модулятор 3, встановлений з можливістю обертання, дзеркала 4, 5, 6, 7, 8, електрофоретичну камеру 9, фотоприймач 10 (ФЕУ 84-5), вихід якого електрично зв'язаний з цифровим запам'ятовуючим осцилографом 11 (С 9-8)

Запропонований спосіб вимірювання швидкості, розмірів і дзета-потенціалу частинок здійснюється таким чином. Як відомо з літератури, [наприклад Воуцкій С. С. Курс коллоїдної хімії – М, "Хімія", 1975, с 73-74] вертикальна швидкість частинки V_B в процесі седиментації під дією сили тяжіння залежить від ефективного діаметру і визначається за формулою

$$V_B = \frac{d^2}{18\eta}(\rho - \rho_0) \cdot g \quad (2)$$

де, d – ефективний діаметр частинки,
 η – в'язкість рідини,
 ρ – густина частинки,
 ρ_0 – густина рідини,
 g – прискорення вільного падіння

Визначивши вертикальну складову швидкості частинки, можна обчислити її ефективний діаметр

$$d = \sqrt{\frac{18\eta \cdot V_B}{g \cdot (\rho - \rho_0)}}, \quad (3)$$

Таким чином, вимірявши горизонтальну та вер-

тикальну складові частинки, що рухається в електричному полі і погли силі тяжіння, за формулою (1) визначається дзета-потенціал і за формулою (3) обчислюється ефективний діаметр частинки. Для одночасного вимірювання вертикальної і горизонтальної швидкості використовується метод лазерної доплерівської інтерферометрії, суть якого в тому, що в зондуємі зоні в вертикальній площині, що проходить через вектор швидкості частинки, формується перша система вертикальних інтерференційних смуг і по доплерівській частоті ν_1 сигналу, що відповідає даній системі інтерференційних смуг, визначається горизонтальна складова швидкості частинки, (фіг 1)

$$V_1 = V_T = \frac{v_1}{2 \sin \frac{\alpha_1}{2}} \lambda, \quad (4)$$

де λ – довжина випромінювання лазера, який використовується,

α_1 – кут між зондуєчими першим і другим пучками. Потім для визначення величини вертикальної складової швидкості V_B і напряму горизонтальної складової V_T в тій самій площині утворюється друга система інтерференційних смуг, яка повернута відносно першої, наприклад, на кут 120° . Ця друга система інтерференційних смуг утворюється першим і третім пучками (другий пучок перекритий). Визначається доплерівська частота ν_2 сигналу, який відповідає цій другій системі інтерференційних смуг і обчислюється величина проекції швидкості на другий напрямок, фіг 2

$$V_2 = \frac{v_2}{2 \sin \frac{\alpha_2}{2}} \lambda, \quad (6)$$

де, α_2 кут між першим і третім пучками

Потім послідовно в часі утворюється третя система інтерференційних смуг, повернута, наприклад, на 120° відносно другої. При цьому перший пучок перекритий і відбувається інтерференція другого та третього пучків. Визначається доплерівська частота ν_3 сигналу, що відповідає цій третій системі інтерференційних смуг, і обчислюється проекція швидкості на третій напрямок, фіг 3

$$V_3 = \frac{v_3}{2 \sin \frac{\alpha_3}{2}} \lambda, \quad (7)$$

де, α_3 – кут між другим та третім пучками

З метою спрощення оптичної схеми і розрахунків при реалізації запропонованого способу кути $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ між інтерферуючими пучками обираються рівними, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 120^\circ$

Тоді формули (4-6) для проекції швидкості на обрані напрями набирають вигляду

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = V_r = \frac{v_1 \lambda}{\sqrt{3}}, \\ V_2 = \frac{v_2 \lambda}{\sqrt{3}}, \\ V_3 = \frac{v_3 \lambda}{\sqrt{3}} \end{array} \right. \quad (8.1)$$

(8.1)

$$V_2 = \frac{v_2 \lambda}{\sqrt{3}}, \quad (8.2)$$

(8.2)

$$V_3 = \frac{v_3 \lambda}{\sqrt{3}} \quad (8.3)$$

(8.3)

Знаючи значення проекції швидкості V_1, V_2, V_3 на відповідні напрями, визначають величину і напрям горизонтальної і вертикальної складових швидкості таким чином

якщо $V_1 = |V_2 - V_3|$ тоді
$$\left\{ \begin{array}{l} V_A = V_3 - V_2 \\ V_B = \frac{V_3 + V_2}{\sqrt{3}} \end{array} \right. \quad (9)$$

якщо $V_1 = V_2 - V_3$ тоді
$$\left\{ \begin{array}{l} V_A = \frac{V_3 - V_2 + V_1}{\sqrt{3}} \\ V_B = \frac{V_3 - V_2}{\sqrt{3}} \end{array} \right. \quad (10)$$

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє визначити значення і напрям швидкості частинки. Потім, знаючи вертикальну і горизонтальну складові швидкості, за формулою (1) обчислюють дзета-потенціал, а за формулою (3) – ефективний діаметр частинки.

Випромінювання лазера 1 спрямовують на світлоподільник 2, на виході якого формуються три паралельні пучки. Електромеханічний модулятор 3 являє собою диск з прорізами, як показано на фіг. 5 (Вид А), закріплений на валу електродвигуна з регулюючою частотою обертання ротора.

За допомогою дзеркала 4,5 перший пучок спрямовується в зондуєчу зону електрофоретичної камери 9 під кутом 150° до горизонтальної осі. Одночасно другий пучок за допомогою дзеркал 6,7 також спрямовується в зазначену зондуєчу зону

електрофоретичної камери 9 під кутом 30° до горизонталі. Розсіяне рухомою частинкою випромінювання реєструється фотоприймачем 10. Допплерівський сигнал з виходу фотоприймача 10 подається на вхід запам'ятовуючого осцилографа 11, вихід якого електрично зв'язаний з ПЕОМ 12. Вимірюється доплерівська частота сигналу v_1 і за формулою (8.1) обчислюється величина горизонтальної швидкості $V_r = V_1$.

Потім, після повороту диска модулятора 3 на кут 120° (час повороту на зазначений кут відповідає одній третині часу розгортки на екрані осцилографа 11), в зондуєчій зоні утворюється першим і третім пучками друга система інтерференційних смуг. Третій пучок спрямовується в зазначену зондуєчу зону за допомогою дзеркала 8 перпендикулярно горизонтальній осі. Визначається доплерівська частота v_2 сигналу і за формулою (8.2) визначається величина проекції швидкості на другий напрям.

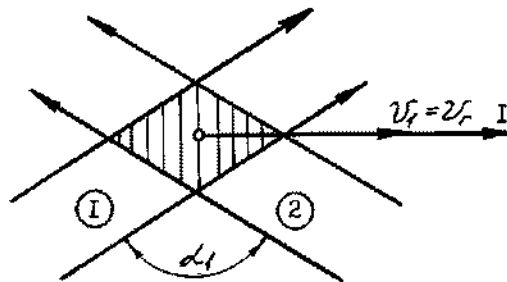
Потім, після повороту диска модулятора 3 на кут 120° , в зазначеній зоні електрофоретичної камери 9 утворюється третім і другим пучками третя система інтерференційних смуг. Визначається доплерівська частота сигналу v_3 і за формулою (8.3), обчислюється величина проекції швидкості на третій напрям, який має кут 120° з горизонтальною віссю. Використовуючи формули (9,10) визначається величина і напрям горизонтальної і вертикальної складових швидкості частинки в електрофоретичній камері.

Значення дзета-потенціалу частинки, що має подвійний електричний шар, визначають за формулою (1)

$$\xi = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_r \cdot \eta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E}$$

Знаючи значення вертикальної складової швидкості, обчислюють величину ефективного діаметру частинки за формулою (3)

$$d = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot V_s}{g(\rho - \rho_0)}}$$



Фіг. 1

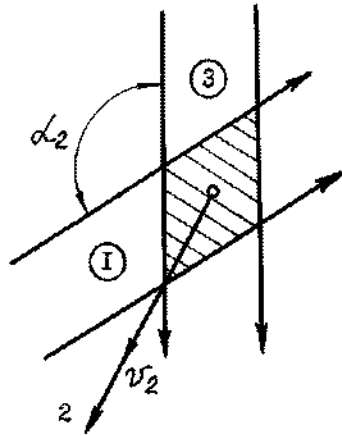


Fig. 2

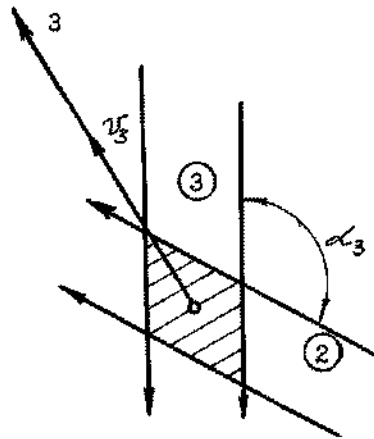


Fig. 3

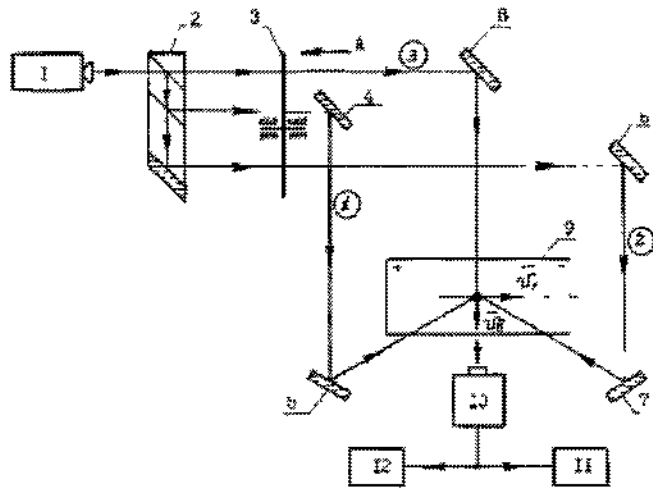
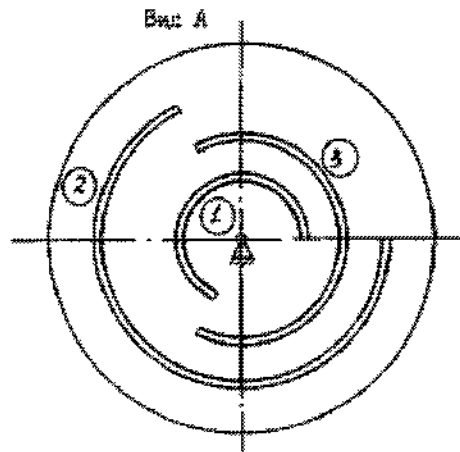


Fig. 4

**Фіг. 5**