



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42190 (13) A

(51) 7 G01N21/59

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

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЕКСТИНКЦІЇ

(21) 2000105757

(22) 10 10 2000

(24) 15 10 2001

(33) UA

(46) 15 10 2001, Бюл. № 9, 2001 р

(72) Альохін Олександр Давидович, Остапчук Юрій
Леонідович(73) Київський національний університет імені Та-
раса Шевченка, UA

(57) Спосіб визначення коефіцієнта екстинкції, що включає вимірювання інтенсивності збуджуючого світлового потоку I_0 поблизу критичної точки рідини шляхом направлення його вздовж оптичної камери з речовиною, послабленого світлового потоку I на виході камери та вимірювання інтенсивності розсіяного світла $I(z)$ на різних висотах z камери, шляхом встановлення приймача розсіяного світла під кутом 90° до напрямку збуджуючого потоку випромінювання, який відрізняється тим, що камеру заповнюють рідиною з середньою густиною заповнення $\bar{\rho}$ так, що при критичній температурі шар з критичною густиною ρ_k реалізують на будь-якій висоті системи, а коефіцієнт екстинкції $\tau(z)$ визначають на кожній висоті камери z для всіх густин ре-

човини, що реалізуються внаслідок гравітаційного ефекту, включаючи також і критичну густину, за формулою

$$\tau(z) = I(z) \left[\frac{1}{1 - \mu} \int_{z_1}^{z_2} I(z) dz - \int_{z_1}^z I(z) dz \right]^{-1},$$

де $\rho_k - \Delta \rho \leq \bar{\rho} \leq \rho_k + \Delta \rho$ - середня густина заповнення оптичної камери,

$\Delta \rho \leq 0,3 \rho_k$ - відхилення середнього значення густини заповнення від критичної густини,

$I(z)$ - експериментально вимірювана інтенсивність розсіяного світла під кутом 90° на висоті z , відносно рівня $z=0$ з критичним значенням густини ρ_k речовини в камері,

$\mu = I/I_0$ - повне послаблення світлового потоку в системі,

z_1, z_2 - координати відповідно нижнього і верхнього краю камери відносно рівня з критичною густиною

Винахід належить до області оптичних методів дослідження неоднорідних рідин, що знаходяться в гравітаційному полі поблизу критичної точки і може бути використаний для визначення набору коефіцієнтів екстинкції рідини одночасно для різних значень густини по всій висоті досліджуваної камери з рідиною

При підході до критичної точки різні оптичні характеристики рідкого середовища, такі як показник заломлення, коефіцієнт екстинкції, густина та концентрація суттєво змінюються в залежності від висоти досліджуваної камери з рідиною. Така просторова неоднорідність системи впливає на те, що в ній виникає вертикальний градієнт показника заломлення речовини, що суттєво впливає на точність результатів вимірів. Направляючи збуджуючий світловий потік I_0 вертикально вгору через оптичну комірку з речовиною паралельно до вертикального градієнта показника заломлення речовини $dn/dz(z)$, неоднорідність середовища не впливає на напрям поширення збуджуючого світлового потоку. При цьому досліджується інтенсивність роз-

сіяного світла $I(z)$ під кутом 90° , на яку суттєво впливає коефіцієнт екстинкції $\tau(z)$ речовини.

Відомий спосіб визначення коефіцієнту екстинкції просторово однорідної рідини поблизу критичної точки, що включає вимірювання інтенсивності розсіяного світла речовиною $I(x)$ під кутом 90° на різних відстанях x_1 та x_2 від точки входу збуджуючого випромінювання в оптичну камеру [1].

Недоліком цього способу є недостатня точність визначення коефіцієнта екстинкції та неможливість використання його для просторово неоднорідних рідин, що обумовлене неврахуванням вертикального градієнту показника заломлення речовини поблизу критичної точки. Неврахування цього призводить до великих похибок визначення $\tau(z)$, які співрозмірні в окремих випадках із самою величиною τ внаслідок малості показника екстинкції в неоднорідному середовищі на висотах $z \geq 1$ см відносно рівня критичної ізохори ($z=0$) ($\tau(z > 1 \text{ см}) \approx 10^{-2} \text{ см}^{-1}$).

Відомий спосіб визначення коефіцієнту екстинкції просторово неоднорідної рідини поблизу кри-

(13) A

(11) 42190

(19) UA

тичної точки, що включає вертикальне розташування камери з рідиною, вимірювання інтенсивності збуджуючого I_0 та послабленого світлового потоку I поблизу критичної точки рідини, вимірювання інтенсивності розсіяного світла $I(z)$ на різних висотах z камери, встановлюючи приймач розсіяного світла під кутом 90° до напрямку збуджуючого потоку випромінювання [2] Цей спосіб обраний нами як прототип

Недоліком цього способу є недостатня точність визначення коефіцієнту екстинкції поблизу критичної точки та складність технологічного застосування. За цим способом отримують симетризований висотний розподіл коефіцієнту екстинкції, який є ідеалізованим, а не реальним несиметричним розподілом. Обов'язковою умовою експерименту є рівність координат $z_1 = z_2$, а отже, попадання максимуму інтенсивності розсіяного світла, який відповідає шару рідини з критичною густиною, точно на середину камери, що створює значну складність технологічного процесу заповнення камери речовиною, а саме так, щоб середня густина заповнення точно дорівнювала критичній густині.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалити спосіб визначення коефіцієнту екстинкції поблизу критичної точки в просторово неоднорідному середовищі шляхом заповнення оптичної камери досліджуваною рідиною довірно з середньою густиною заповнення в межах $\rho_k \Delta \rho \leq \bar{\rho} \leq \rho_k + \Delta \rho$ так, що при критичній температурі шар з критичною густиною реалізують на будь-якій висоті системи, а коефіцієнт екстинкції $\tau(z)$ визначають для всіх значень висот камери, яким відповідають різні густини речовини, включаючи також і критичну густину, за запропонованою формулою, що дозволяє підвищити точність визначення коефіцієнту екстинкції та спростити технологічне застосування способу.

Ця задача вирішується тим, що в способі визначення коефіцієнта екстинкції, що включає вимірювання інтенсивності збуджуючого світлового потоку I_0 поблизу критичної точки рідини, направляючи його вздовж оптичної камери з речовиною, послабленого світлового потоку I на виході камери, та вимірювання інтенсивності розсіяного світла $I(z)$ на різних висотах z камери, встановлюючи приймач розсіяного світла під кутом 90° до напрямку збуджуючого потоку випромінювання, згідно з винаходом, що пропонується, камеру заповнюють рідиною з середньою густиною заповнення $\bar{\rho}$ так, що при критичній температурі шар з критичною густиною ρ_k реалізують на будь-якій висоті системи, а коефіцієнт екстинкції $\tau(z)$ визначають на кожній висоті камери z для всіх густин речовини, що реалізуються внаслідок гравітаційного ефекту, включаючи також і критичну густину, за формулою

$$\tau(z) = I(z) \left[\frac{1}{1 - \mu} \int_{z_1}^{z_2} I(z) dz - \int_{z_1}^z I(z) dz \right]^{-1},$$

де $\rho_k \Delta \rho \leq \bar{\rho} \leq \rho_k + \Delta \rho$ - середня густина заповнення оптичної камери,

$\Delta \rho \leq 0,3 \rho_k$ - відхилення середнього значення густини заповнення від критичної густини,

$I(z)$ - експериментально вимірювана інтенсивність розсіяного світла під кутом 90° на висоті z відносно рівня $z=0$ з критичним значенням густини ρ_k речовини в камері,

$\mu = I/I_0$ - повне послаблення світлового потоку в системі,

z_1, z_2 - координати, відповідно, нижнього і верхнього краю камери відносно рівня з критичною густиною

При направленні збуджуючого світлового потоку I_0 вертикально вгору через оптичну комірку з речовиною паралельно градієнту показника заломлення $dn/dz(z)$ неоднорідність середовища не впливає на напрям поширення збуджуючого світлового потоку. Висотна залежність експериментально вимірюваної інтенсивності розсіяного світла під кутом 90° в області температур $t = (T - T_k)/T_k \geq 10^{-4}$ відповідає співвідношенню

$$I(z) = A \tau(z) \exp \left[- \int_{z_1}^z \tau(z) dz \right], \quad (1)$$

де A - постійна для даної оптичної системи величина, множник $\exp \left[- \int_{z_1}^z \tau(z) dz \right]$ враховує послаблення збуджуючого світлового потоку, z_1 - координата нижнього краю оптичної камери.

Проінтегрувавши (1) по z та враховуючи, що $\frac{d}{dz} \exp \left[- \int_{z_1}^z \tau(z) dz \right] = -\tau(z) \cdot \exp \left[- \int_{z_1}^z \tau(z) dz \right]$, отримуємо інтеграл у вигляді

$$\begin{aligned} \int_{z_1}^z I(z) dz &= -A \int_{z_1}^z \frac{d}{dz} \exp \left[- \int_{z_1}^z \tau(z) dz \right] dz = \\ &= A \cdot \left\{ 1 - \exp \left[- \int_{z_1}^z \tau(z) dz \right] \right\}, \end{aligned} \quad (2)$$

із (1) та (2) знаходимо показник екстинкції

$$\tau(z) = I(z) \left[A - \int_{z_1}^z I(z) dz \right]^{-1} \quad (3)$$

Проінтегрувавши вираз (2) по висоті всієї камери, знаходимо постійну A даної оптичної системи

$$A = (1 - \mu)^{-1} \int_{z_1}^{z_2} I(z) dz, \quad (4)$$

де $\mu = \frac{I}{I_0} = \exp \left[- \int_{z_1}^{z_2} \tau(z) dz \right]$ - повне послаблення світлового потоку в системі, I_0 - інтенсивність збу-

джуючого світлового потоку, I - інтенсивність послабленого світлового потоку

В результаті з (3) та (4) отримуємо формулу

$$\tau(z) = I(z) \left[\frac{1}{1 - \mu} \int_{z_1}^{z_2} I(z) dz - \int_{z_1}^z I(z) dz \right]^{-1} \quad (5)$$

Вимірювання інтенсивності розсіяного світла проводять на всіх висотах камери, тобто для великого набору значень густин. Це дає можливість за один експеримент знайти реальні несиметризовані коефіцієнти екстинкції для різних значень густин речовини, що було неможливо для відомих способів при необхідності проведення окремо ряду спеціальних експериментів. Використання запропонованого способу дозволяє виключити необхідні в відомому способі-прототипі додаткову операцію симетризування, що дозволяє підвищити точність вимірювання коефіцієнта екстинкції.

При застосуванні нової формули, запропонованої нами, точність визначення реального несиметризованого коефіцієнту екстинкції в неоднорідному середовищі значно підвищується у порівнянні із відомими способами визначення коефіцієнту екстинкції. За цим способом отримують реальний несиметричний висотний розподіл коефіцієнту екстинкції, а не симетризований ідеалізований розподіл, як у випадку для прототипу.

Для проведення експерименту був використаний пристрій, що дозволяє вимірювати інтенсивність розсіяного світла $I(z)$ під кутом 90° на будь-якій висоті системи, інтенсивність збуджуючого I_0 і послабленого світлового потоку I та за результатами вимірювань обчислювати показник екстинкції $\tau(z)$.

На фіг. 1 зображено схематичний вигляд оптичної камери пристрою і хід променів при вимірах інтенсивності розсіяного світла. На фіг. 2 зображена висотна залежність інтенсивності розсіяного світла речовиною фреон-113 для різних температур. На фіг. 3 зображена висотна залежність коефіцієнту екстинкції речовини фреон-113 для різних температур.

Оптична камера містить термостатуючу оптичну камеру високих тисків 1 із вертикальним осьовим каналом 2 і боковими вікнами прямокутної форми 3, фотоелектронний помножувач - ФЕП-35 - 4 для реєстрації світла, що проходить через речовину, установлений зверху над камерою 1, ФЕП-35 5, розташований під кутом 90° до вертикальної осі камери, що приймає розсіяне речовиною світло з можливістю пересування вертикально вздовж камери, самописець 6, за допомогою якого дані ФЕП-35 реєструються на папері.

Спосіб вимірювання коефіцієнту екстинкції здійснюється наступним чином.

Камеру 1 заповнюють рідиною з середньою густиною заповнення в межах $\rho_k - \Delta\rho \leq \bar{\rho} \leq \rho_k + \Delta\rho$ так, що в залежності від середньої густини речовини в камері при критичній температурі шар з критичною густиною може реалізуватись на будь-якій висоті системи. Речовину підігривають до температури, близької до критичної температури, та ретельно термостатують до повної рівноваги.

Поляризоване світло інтенсивності I_0 посиляють в камеру з досліджуваною речовиною знизу догори вздовж осьового каналу 2, що дозволяє виключити спотворюючий вплив вертикального градієнта показника заломлення речовини на збуджуючий світловий потік поблизу критичного стану.

За допомогою фотопомножувача ФЕП-35 4, що встановлений над камерою, вимірюють повне послаблення світлового потоку в системі $\mu_e = I/I_0$.

Вимірюють величину інтенсивності розсіяного світла під кутом 90° в кожній точці, що відповідає певній висоті камери z за допомогою ФЕП-35 5, пересуваючи його вздовж вертикальної осі камери 2, в тому числі і на висотах z_1 і z_2 . Висотну залежність інтенсивності розсіяного світла отримують за допомогою самописця 6.

Розраховують значення реального несиметризованого набору коефіцієнтів екстинкції за запропонованою формулою.

Приклад

Реалізація експерименту проводиться наступним чином.

Камеру заповнюють досліджуваною речовиною фреон-113 довільно з густиною, що лежить в межах $\rho_k - \Delta\rho \leq \bar{\rho} \leq \rho_k + \Delta\rho$ ($\rho_k \approx 0,576$ г/см³). Речовину підігривають від кімнатної 20°C до температури, близької до критичної температури $T_{kp} = 487,10$ К даної рідини та ретельно термостатують до повної рівноваги.

Проводять вимірювання інтенсивності світлового пучка на вході I_0 та виході I з камери і знаходять величину поглинання світла речовиною $\mu_e = I/I_0$.

Вимірюють величину інтенсивності розсіяного світла під кутом 90° в кожній точці, що відповідає певній висоті камери за допомогою ФЕП-35, пересуваючи його вздовж вертикальної осі камери.

Висотну залежність інтенсивності розсіяного світла $I(z)$ отримують графічно за допомогою самописця. Розраховують значення коефіцієнтів екстинкції за запропонованою формулою.

В таблиці наведені дані для інтенсивності розсіяного світла фреоном-113 для декількох температур поблизу критичної температури та коефіцієнти екстинкції для всіх висот z камери з досліджуваною рідиною. Відлік висоти z ведеться від рівня з максимальним значенням інтенсивності розсіяного світла (шар рідини з критичною густиною).

Проводячи розрахунки запропонованим способом похибки розрахунку коефіцієнту екстинкції $\Delta\tau(z)$ визначаються лише похибками вимірювання $I(z, T) \approx 1 \pm 2\%$ та величини $\mu_e = I/I_0$ ($\approx 2 \pm 4\%$). Внаслідок цього повна похибка визначення $\Delta\tau(z)$ складає не більше $3 \pm 5\%$.

За одержаними даними $\tau(z, T)$ (таблиця) були розраховані коефіцієнти повного послаблення світ-

$$\mu_{\tau} = \frac{I}{I_0} = \exp \left[- \int_{z_1}^{z_2} \tau(z) dz \right].$$

Порівняння експериментальних значень $\mu_e = I/I_0$ з розрахованими теоретично μ_{τ} свідчить про те, що в межах похибок експерименту вони співпадають. Отже, цей результат підтверджує справедливості запропонованого методу визначення висотної за-

лежності коефіцієнта екстинкції в неоднорідному середовищі поблизу критичної точки

Таким чином, запропонований спосіб визначення коефіцієнту екстинкції $\tau(z, T)$ дозволяє підвищити точність вимірів, є простим і надійним і може бути успішно використаний для дослідження оптичних та термодинамічних властивостей неоднорідних систем в околі критичного стану

Джерела інформації

1 Беридзе Д К, Шапаронов М И. Некоторые результаты исследований релеевского рассеяния света в критической области расслаивания растворов // УФЖ – 1962 - №7 - 771 с

2 Альохін О Д, Остапчук Ю Л "Спосіб визначення коефіцієнта екстинкції" Заявка № 99031450 від 16 03 99 Рішення про видачу патенту від 18 08 99

Таблиця

z, см	$t=1,91 \cdot 10^{-3}$, $\mu_e=0,74$, $\mu_r=0,758$		$t=2,46 \cdot 10^{-3}$, $\mu_e=0,75$, $\mu_r=0,762$		$t=3,65 \cdot 10^{-3}$, $\mu_e=0,8$, $\mu_r=0,808$		$t=5,63 \cdot 10^{-3}$, $\mu_e=0,84$, $\mu_r=0,859$	
	$I(z)$	$\tau, \text{см}^{-1}$	$I(z)$	$\tau, \text{см}^{-1}$	$I(z)$	$\tau, \text{см}^{-1}$	$I(z)$	$\tau, \text{см}^{-1}$
-1,95	64,08	0,02716	82,72	0,03129	76,60	0,02850	71,94	0,03058
-1,65	78,64	0,03300	101,07	0,03826	87,09	0,03456	75,15	0,03342
-1,35	97,57	0,04025	120,87	0,04764	99,03	0,04565	79,51	0,03641
-1,05	122,62	0,05248	142,14	0,06101	115,05	0,05703	83,59	0,03925
-0,75	159,03	0,06983	167,48	0,07723	128,74	0,06770	87,67	0,04181
-0,55	186,99	0,08747	184,95	0,09003	137,18	0,07381	90,58	0,04324
-0,35	248,74	0,11776	206,21	0,10482	143,59	0,07822	93,50	0,04395
-0,25	295,05	0,13852	218,41	0,11349	145,63	0,07993	94,66	0,04423
-0,15	339,90	0,16028	224,27	0,12146	146,21	0,08107	95,24	0,04452
-0,05	346,89	0,16825	226,60	0,12630	145,63	0,08178	94,37	0,04452
0	345,90	0,16880	226,70	0,12690	144,50	0,08220	94,50	0,04470
0,05	334,90	0,16839	223,11	0,12570	143,59	0,08178	92,91	0,04466
0,15	254,27	0,15872	205,34	0,11733	138,93	0,08107	90,29	0,04437
0,25	191,65	0,13468	180,58	0,10923	133,40	0,07979	88,25	0,04409
0,35	156,12	0,11548	154,37	0,10098	128,70	0,07751	85,34	0,04380
0,55	119,42	0,08718	121,75	0,08718	111,26	0,07239	79,51	0,04267
0,75	92,91	0,06898	102,52	0,07353	94,66	0,06556	73,11	0,04110
1,05	70,49	0,04978	82,14	0,05931	72,23	0,05333	64,95	0,03840
1,35	51,26	0,03812	65,24	0,04708	55,63	0,04295	55,34	0,03570
1,65	36,12	0,03072	53,01	0,03783	41,94	0,03413	48,06	0,03314
1,95	28,00	0,02560	41,60	0,03072	33,80	0,02773	39,70	0,03115

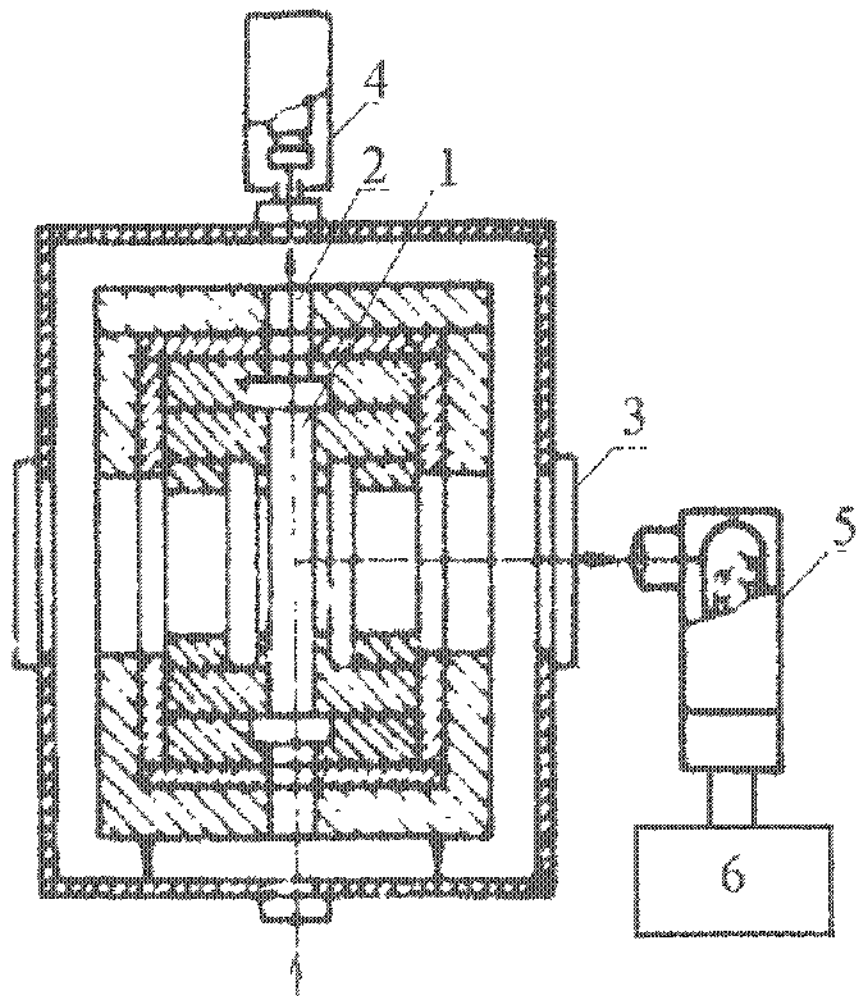


Fig. 1

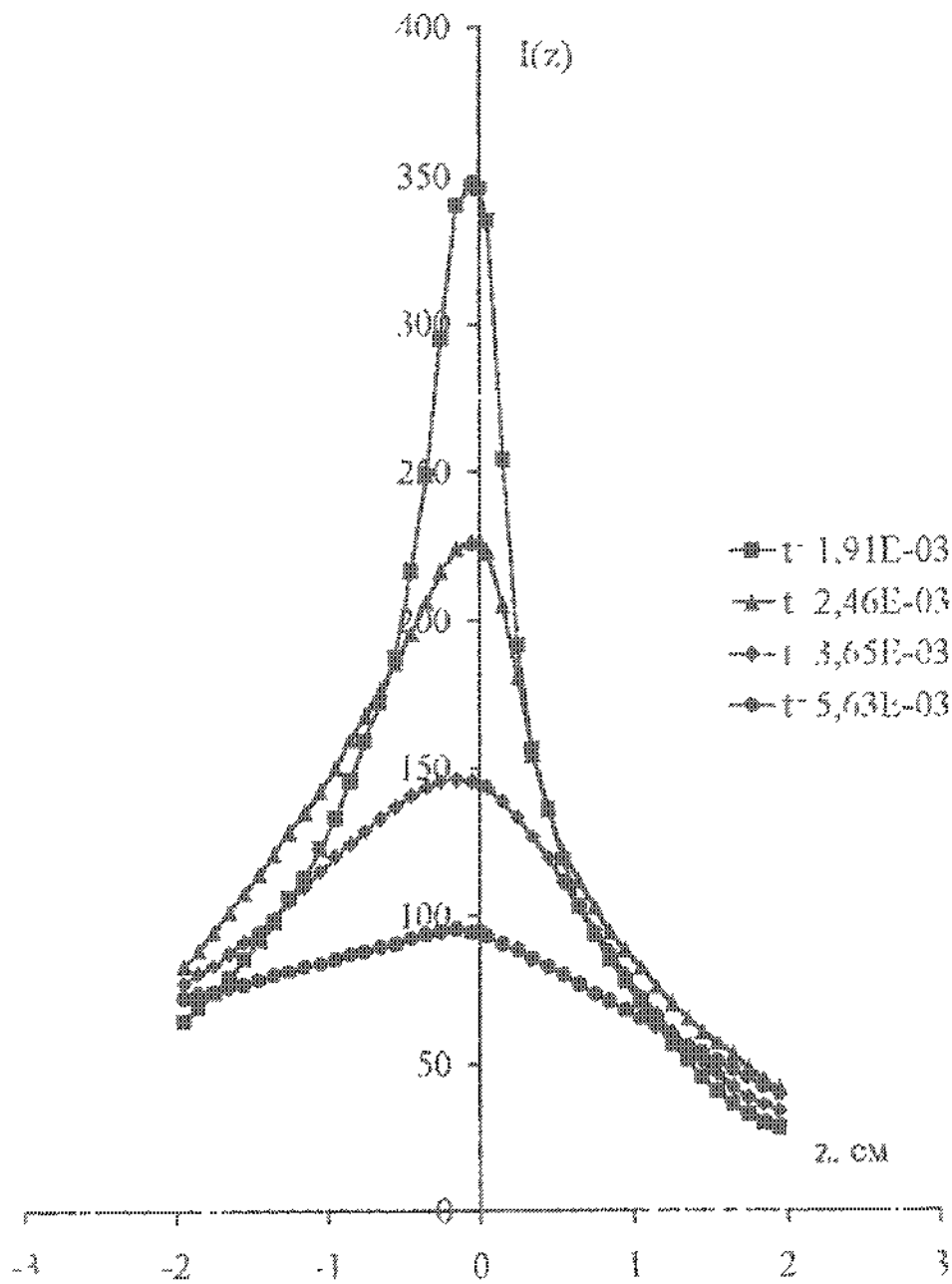
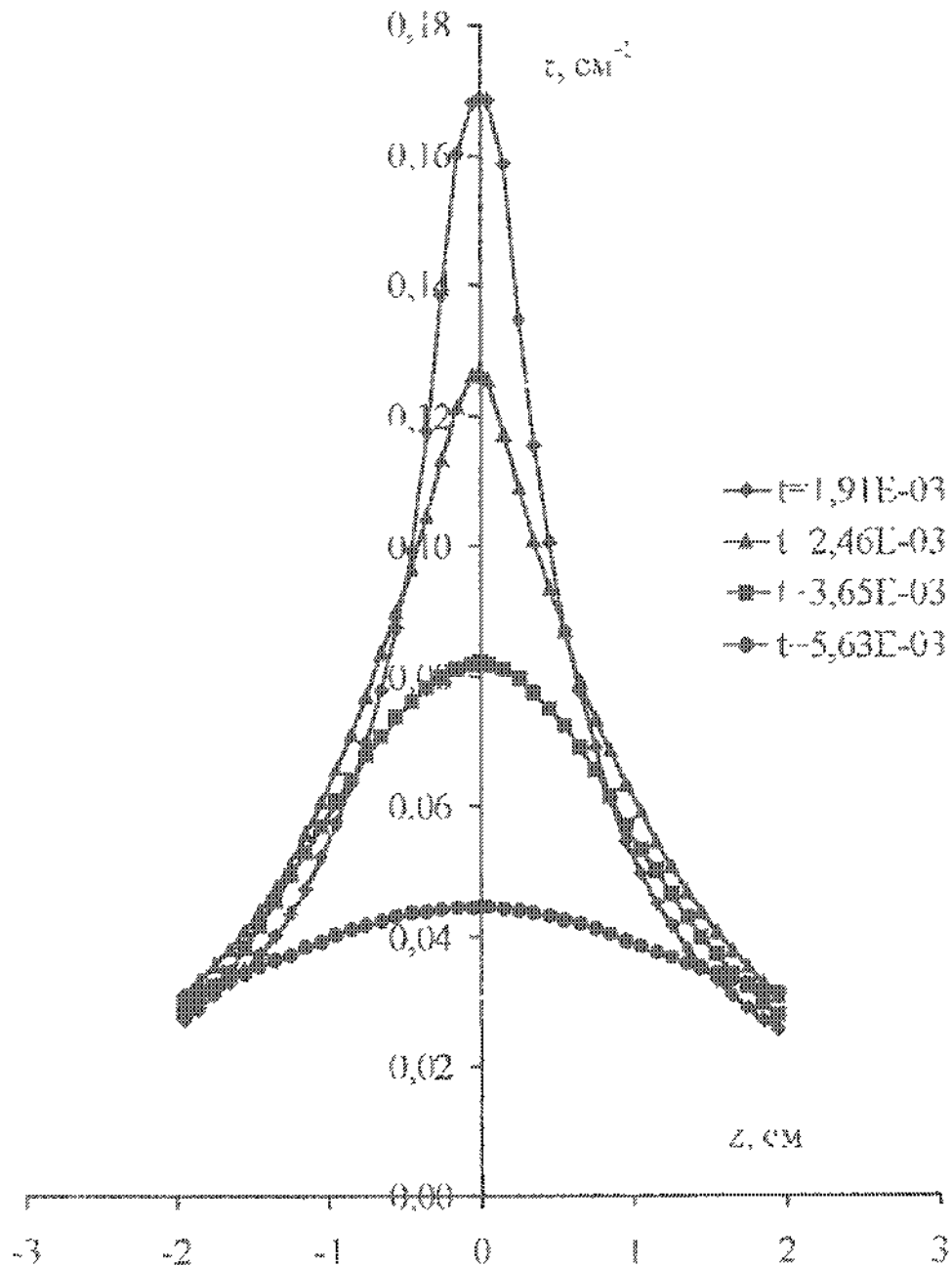


Fig. 2



Фіг. 3

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 60x84 1/8,
 Обсяг _____ обл.-вид, арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

Укр1НТЕ1, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180,
 (044) 268-25-22