

Винахід відноситься до способу дослідження фізичних і хімічних властивостей матеріалів і речовин оптичними методами і може бути використаний при неруйнівному контролі їх властивостей за значенням коефіцієнта заломлення.

Відомий інтерференційний спосіб визначення показника заломлення матеріалів і речовин (див., наприклад, Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. Л. "Химия", 1974. с.232-235), що полягає в поділі оптичного когерентного випромінювання на зонduюче і опорне випромінювання, пропущенні зонduючого і опорного випромінювань відповідно через досліджуваний і еталонний матеріал, сполученні когерентних випромінювань, що пройшли через досліджуваний об'єкт, з утворенням інтерференційної картини, визначенні показника заломлення досліджуваного матеріалу чи речовини за зсувом інтерференційної картини.

Недоліком способу є невисока точність виміру показника заломлення протяжних середовищ, наприклад, кювет з досліджуваною речовиною, через неоднозначність інтерференційної картини, якщо різниця фаз зонduючого і опорного випромінювань перевищує π радіан (180°).

Відомий інтерференційний спосіб визначення показника заломлення матеріалів і речовин (див., наприклад, Нагибина Н.М. Интерференция и дифракция света - Л.; Машиностроение, 1985, с.186-188), що полягає в зондуванні досліджуваного середовища оптичними коливаннями двох і більш довжин хвиль, порівнянні цілих і дробових частин порядків інтерференції кожної з довжин хвиль і визначенні показника заломлення за зміною довжини шляху опорного випромінювання, при якому збігаються дробові частини інтерференційних смуг.

Неоднозначність фазових вимірів при різниці фаз $\Delta\varphi > \pi$ досягається підбором цілих частин порядків інтерференції, які забезпечують збіг дробових частин по всіх довжинах хвиль, що безпосередньо вимірюються. В якості істинного порядку вибирають такий цілий порядок, для якого розходження розрахункових і вимірних дробових частин мінімальні для всіх довжин хвиль.

Недоліком способу є невисока точність визначення показника заломлення, тому що абсолютного збігу дробових частин по всіх довжинах хвиль домогтися важко. Останнє зв'язано з тим, що дробові частини вимірюються з деякими похибками. Крім того, використання оптичних коливань різних частот неминуче викликає появу додаткових похибок, за рахунок дисперсії показника заломлення досліджуваного середовища.

Відомий також інтерференційний спосіб визначення показника заломлення матеріалів і речовин (а.с. СРСР №739986, МПК G01N21/46, 1980), що полягає в поділі оптичного когерентного випромінювання на зондувальний і опорний пучки, сполученні зондувального пучка, що пройшов досліджуване середовище, і опорного пучка, що пройшов еталонне середовище, з утворенням інтерференційної картини, перетворенні за допомогою фотоприймача інтенсивності інтерференційної смуги в обраній крапці картини в електричну напругу, зміні частоти оптичного випромінювання і визначенні показника заломлення за формулою. Відомий спосіб передбачає виключення еталонного середовища і зміну частоти випромінювання до одержання первісної різниці фаз.

В результаті виконання зазначених операцій одержують співвідношення

$$v_1 \left(\frac{1}{c} - \frac{l_0}{c_0} \right) = v_2 \frac{1}{c},$$

де l і l_0 - оптичні шляхи, пройдені відповідно в контрольованому і еталонному середовищах;
с і c_0 - швидкість поширення випромінювання в контрольованому і еталонному середовищах;

v_1 і v_2 - значення двох частот оптичного випромінювання при вимірі однієї і тієї ж різниці фаз.

З цього співвідношення визначають швидкість с поширення випромінювання в контрольованому середовищі:

$$c = \frac{v_1 - v_2}{v_1} \cdot \frac{l_0}{l} \cdot c_0$$

і показник заломлення цього середовища

$$n = \frac{v_1}{v_1 - v_2} \cdot \frac{l_0}{l} \cdot n_0,$$

де n_0 - показник заломлення еталонного середовища.

Однак при виборі довжини шляху в прозорій пластинці (еталонному середовищі) l_0 виникають принципи труднощі в частині забезпечення необхідної товщини і показника заломлення. Згідно відомого способу для виключення неоднозначності фазових вимірів зміна різниці фаз $\Delta\varphi_0$ при виключенні еталонного середовища повинна бути значно менше одного фазового напівциклу в π радіан ($\Delta\varphi_0 \ll \pi$). Визначимо необхідні параметри прозорої пластинки виходячи з цієї умови.

При виводі пластинки з тракту поширення опорного випромінювання відбувається заміщення її повітрям, а зміну різниці фаз можна оцінити з формули:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_0 &= 2\pi v_1 \left(\frac{l_0}{c_0} - \frac{l_0}{c_B} \right) = \\ &= 2\pi v_1 l_0 \frac{(n_0 - 1)}{c_B} = \frac{2\pi l_0 (n_0 - 1)}{\lambda_1}, \end{aligned}$$

де c_B - швидкість поширення випромінювання в повітрі;

λ_1 - довжина хвилі випромінювання в повітрі.

У випадку використання пластинки з товщиною $l=0,5\text{мм}$ з оптичного скла марки К8 з показником переломлення $n_0=1,514$ і довжині хвилі випромінювання $\lambda_1=0,63284\text{мкм}$ (гелій - неоновий лазер) зміна різниці фаз складе

$$\Delta\varphi_0 = \frac{2\pi \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} (1514 - 1)}{0,63284 \cdot 10^{-6}} \approx 100\pi.$$

Таким чином, для виконання умови $\Delta\varphi_0 \ll \pi$ еталонне середовище необхідно виконувати у виді тонкої плівки з товщиною порядку сотих часток мкм, що технологічно складно у виготовленні і забезпеченні необхідної товщини з малим допуском.

Використання лазера з регульованою частотою випромінювання припускає використання вимірника довжини хвилі випромінювання, що вимагає додаткової інтерферометричної системи з рухомими дзеркалами. І, нарешті, перестроювальні лазери мають невисоку стабільність частоти випромінювання, що не дозволяє забезпечити

малу різницю частот $\nu_1 - \nu_2$ з високою точністю.

Все це ускладнює процес визначення показника заломлення досліджуваного середовища і не забезпечує високу точність вимірювання.

В основу винаходу покладена задача створення такого інтерференційного способу визначення показника заломлення матеріалів і речовин, в якому шляхом введення нових операцій забезпечилося б спрощення процесу визначення показника заломлення матеріалів і речовин при підвищенні точності вимірювання.

Поставлена задача досягається тим, що в інтерференційний спосіб визначення показника заломлення матеріалів і речовин, що полягає в поділі оптичного когерентного випромінювання на зондувальний і опорний пучки, сполученні зондувального пучка, що пройшов досліджуване середовище, і опорного пучка, що пройшов еталонне середовище, з утворенням інтерференційної картини, перетворенні інтенсивності інтерференційної смуги в обраній крапці картини в електричну напругу за допомогою фотоприймача, зміні частоти оптичного випромінювання і визначенні показника заломлення за формулою, згідно з винаходом, на границі темної і світлої смуг інтерференційної картини фотоприймачем, фіксують середнє значення вихідної напруги фотоприймача, яка відповідає 90° зсуву фаз інтерферуючих пучків, змінюють довжину шляху, яку проходить в досліджуваному середовищі зондувальний пучок, на величину при якій вихідна напруга фотоприймача зміниться в межах лінійної ділянки характеристики, вимірюють зміну довжини шляху в досліджуваному середовищі, змінюють частоту оптичного когерентного випромінювання до значення низької частоти електричними коливаннями за допомогою електрооптичного частотного модулятора, напрямку зсуву частоти вибирають таким, щоб після виміру зміни довжини шляху наблизити вихідну напругу фотоприймача до первісного значення, при якому вимірюють частоту електричних коливань, а показник заломлення n досліджуваного середовища визначають за формулою

$$n = \frac{\pm F \cdot l_0 (n_0 - 1)}{l(\pm F \mp \frac{p \cdot c}{\lambda})} + 1,$$

де F - частота зсуву оптичного випромінювання електричними коливаннями;

l і l_0 - довжини оптичних шляхів, пройдених пучками в досліджуваному і еталонному середовищах;

n_0 - показник заломлення еталонного середовища;

c - швидкість поширення оптичного випромінювання в повітрі;

$p = \Delta l / l$ - відносна зміна довжини шляху в досліджуваному середовищі;

λ - довжина хвилі оптичного випромінювання в повітрі.

Крім того, зміну довжини шляху в досліджуваному рідкому або газоподібному середовищі здійснюють переміщенням кювети з перемінною товщиною робочого шару досліджуваного середовища, вимірюють відповідне переміщення H , при цьому відносна зміна довжини шляху в досліджуваному середовищі дорівнює

$$p = \frac{H}{l} \operatorname{tg} \alpha,$$

де α - кут нахилу однієї з торцевих стінок кювети стосовно її оптичної осі.

Крім того, зміну довжини шляху в досліджуваному зразку з твердої речовини здійснюють нахилом оптичної осі досліджуваного зразка відносно напрямку поширення зондувального пучка випромінювання, при цьому відносна зміна довжини шляху в досліджуваному середовищі дорівнює

$$p = \frac{1 - \cos \beta}{l \cdot \cos \beta},$$

де β - кут нахилу між оптичною віссю зразка і напрямком поширення зондувального пучка.

Встановлення фотоприймача на границі темної і світлої смуг інтерференційної картини з фіксацією середнього значення вихідної напруги фотоприймача, зміна і вимір довжини шляху зондувального пучка в досліджуваному середовищі при значенні вихідної напруги фотоприймача в межах лінійної ділянки характеристики, зміна частоти оптичного випромінювання до значення низької частоти електричними коливаннями за допомогою електрооптичного частотного модулятора в напрямку первісної вихідної напруги фотоприймача після виміру довжини шляху, вимір частоти електричних коливань при досягненні первинного середнього значення напруги фотоприймача, та визначення показника заломлення досліджуваного середовища за заявленою формулою забезпечує спрощення процесу визначення показника заломлення матеріалів і речовин при підвищенні точності вимірювання.

Визначення відносної зміни довжини шляху за формулою в залежності від середовища також підвищує точність визначення показника заломлення речовин і матеріалів.

На фіг.1 показана схема пристрою для реалізації інтерференційного способу визначення показника заломлення матеріалів і речовин (рідких і газоподібних); на фіг.2 - графік залежності вихідної напруги фотоприймача від товщини шару досліджуваного матеріалу і довжини хвилі оптичного випромінювання; на фіг. 3

- схема орієнтації досліджуваного зразка з твердої речовини щодо напрямку поширення оптичного випромінювання.

Пристрій містить послідовно розташовані лазер 1 (фіг.1) фіксованої частоти випромінювання, електрооптичний частотний модулятор 2 і коліматор 3, вихід якого оптично зв'язаний через напівпрозоре дзеркало 4 і віддзеркалююче дзеркало, 5 з рухливою кюветою 6 змінної товщини робочого шару досліджуваного матеріалу і з сповільнюючою пластинкою 7. Виходи кювети 6 і пластинки 7 через віддзеркалююче дзеркало 8 і напівпрозоре дзеркало 9 оптично сполучені і зв'язані з нерухомою прозорою площиною - екраном 10 формування інтерференційної картини, відносно якого переміщується щільна діафрагма 11 з фотоприймачем 12. Вихід фотоприймача 12 з'єднаний з цифровим мілівольтметром 13, а до керуючого входу електрооптичного частотного модулятора 2 підключений генератор 14 радіочастоти і цифровий частотомір 15. Переміщення кювети 6 здійснюється першим мікрометричним гвинтом 16 і фіксується по вимірнику переміщення 17. Переміщення щільної діафрагми 11 з фотоприймачем 12 здійснюється другим мікрометричним гвинтом 18.

Інтерференційний спосіб здійснюється таким чином.

Когерентне оптичне випромінювання лазера 1 частоти ν напівпрозорим дзеркалом 4 розділяється на опорний і зондувальний пучки. Зондувальний пучок направляється через досліджуваний матеріал (рідина або газ), поміщений у кювету 6, і затримується на час

$$\Delta t_1 = l(n - 1)/c, \quad (1)$$

де l - початкова середня довжина кювети; n - показник переломлення досліджуваного матеріалу; c - швидкість поширення оптичного випромінювання в повітрі.

Опорний пучок проходить через сповільнюючу пластину 7 і зазнає затримку

$$\Delta t_2 = l_0(n_0 - 1)/c, \quad (2)$$

де l_0 і n_0 - товщина і показник переломлення пластинки відповідно.

Зондувальний пучок сполучається з опорним пучком напівпрозорим дзеркалом 9, і на екрані 10 утворюється інтерференційна картина у вигляді чергуючих темних і світлих смуг однакової ширини.

В обраній крапці інтерференційної картини за допомогою фотоприймача 12 із щільною діафрагмою 11 вимірюють інтенсивність I смуги

$$I = I_1 + I_2 + 2 \cdot \gamma \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos(\Phi_1 - \Phi_2), \quad (3)$$

де I_1 і I_2 - відповідно інтенсивності інформаційного і опорного пучків;

Φ_1 і Φ_2 - фази зондувального і опорного пучків в обраній крапці інтерференційної картини, які пропорційні пройденим оптичним шляхам;

γ - коефіцієнт контрастності.

На частоті оптичного випромінювання ν фази зондувального і опорного пучків з урахуванням виразів (1) і (2) відповідно рівні:

$$\Phi_1 = 2\pi\nu \frac{l(n-1)}{c} = (k_1 + m_1)\pi, \quad (4)$$

$$\Phi_2 = 2\pi\nu \frac{l_0(n_0-1)}{c} = (k_2 + m_2)\pi, \quad (5)$$

де k_1 і k_2 - ціле число напівхвиль оптичних випромінювань до крапки сполучення;

m_1 і m_2 - дробові частини напівхвиль оптичних випромінювань. Інтенсивність I інтерференційної смуги в крапці відліку з урахуванням виразів (4) і (5) можна представити у виді:

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 + 2 \cdot \gamma \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos \frac{2\pi\nu}{c} [l(n-1) - l_0(n_0-1)] = \\ &= I_1 + I_2 + 2 \cdot \gamma \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos \frac{2\pi}{\lambda} [l(n-1) - l_0(n_0-1)], \end{aligned} \quad (6)$$

де λ - довжина хвилі лазерного випромінювання в повітрі. При дослідженні оптично прозорих середовищ (оптична щільність близька до одиниці) можна прийняти, що $I_1 = I_2 = I_0$.

Тоді вираз (6) буде

$$I = 2 \cdot I_0 \left\{ 1 + \gamma \cos \frac{2\pi}{\lambda} [l(n-1) - l_0(n_0-1)] \right\}. \quad (7)$$

За допомогою фотоприймача 12 різниця інтенсивностей (7) перетворюється в електричну напругу

$$\begin{aligned} U &= S(1 + \varepsilon) + \delta = 2S(1 + \varepsilon)I_0 \cdot \\ &\cdot \left\{ 1 + \gamma \cos \frac{2\pi}{\lambda} [l(n-1) - l_0(n_0-1)] \right\} + \delta, \end{aligned} \quad (8)$$

де S - нормована чутливість фотоприймача;

$\varepsilon = \Delta S / S$ - відносна похибка чутливості фотоприймача, яка відображує зміну нахилу градієнтовочної характеристики від впливних факторів (температура, старіння і т.п.);

$\delta = \Delta U$ - абсолютна похибка нуля, яка відображує зсув градієнтовочної характеристики від впливних факторів (фонова засвітка, дрейф темневого струму і т.п.).

Переміщенням фотоприймача 12 з діафрагмою 11 визначають границю світлої і темної смуг інтерференційної картини, що відповідає 90-градусному зсуву фаз дробових частин напівхвиль (4) і (5) зондувального і опорного пучків за середнім значенням вихідної напруги фотоприймача /фіг.2/

$$U_1 = U_{\text{mid}} = \frac{U_{\text{max}} + U_{\text{min}}}{2} = S(1 + \varepsilon_1) \frac{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}{2} + \delta_1. \quad (9)$$

Напруга відповідає 90-градусному зсуву фаз дробових частин на півхвиль $((m_1 - m_2)\pi = \pi/2)$ зондувального і опорного пучків

$$U_1 = 2S(1 + \varepsilon_1) I_0 \{1 + \gamma \cos[(k_1 - k_2)\pi \pm \pi/2 \pm \eta]\} + \delta_1, \quad (10)$$

де ε_1 і δ_1 - похибки визначення середнього значення напруги;

η - кутова похибка установки 90-градусного зсуву фаз зондувального і опорного пучків.

З істотного залежностей (8) і (10) випливає, що різниця фаз сполучених пучків буде

$$(k_1 + k_2)\pi \pm \pi/2 \pm \eta = \frac{2\pi}{\lambda} [(n-1) - I_0(n_0 - 1)] \quad (11)$$

Фіксують вихідну напругу U_1 фотоприймача 12 мілівольтметром 13, що відповідає умові (11). Потім переміщенням кювети 6 перпендикулярно її оптичній осі змінюють товщину робочого шару аналізованого середовища. При обраному куті нахилу α однієї з торцевих стінок кювети 6 і її поперечному переміщенні H довжина оптичного шляху в досліджуваному середовищі щодо початкової довжини l змінюється на величину:

$$l \pm \Delta l = l \left(1 \pm \frac{H}{l \cdot \tan \alpha} \right) (n-1) = l \cdot (1 \pm p) \cdot (n-1), \quad (12)$$

де $p = H/l \cdot \tan \alpha$ - коефіцієнт зміни товщини робочого шару досліджуваного матеріалу.

Значення коефіцієнта p вибирають таким, щоб забезпечити роботу фотоприймача 12 на лінійній ділянці характеристики в околицях встановленого 90-градусного зсуву фаз інтерферуючих пучків ($p \ll 1$).

В результаті зміни довжини шляху, пройденого зондувальним пучком через кювету 6, відбувається зсув границі обраної смуги інтерференційної картини в полі зору фотоприймача 12. В результаті цього вихідна напруга фотоприймача приймає нове значення

$$U_2 = 2S(1 + \varepsilon_2) I_0 \{1 + \gamma \cdot \cos 2\pi \cdot [(1 \pm p)(n-1) - I_0(n_0 - 1)]\} + \delta_2, \quad (13)$$

де ε_2 і δ_2 - похибки виміру зміненої напруги.

Зміщення границі є також наслідком додаткового зсуву фази $\Delta\varphi$ зондувального пучка:

$$\Delta\varphi = 2\pi \nu \frac{pl(n-1)}{c} = 2\pi \nu \frac{H \cdot \tan \alpha (n-1)}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} H \cdot \tan \alpha (n-1). \quad (14)$$

Тому умова (11) з урахуванням (12) і (14) буде:

$$\frac{2\pi}{\lambda} [(1 \pm p)(n-1) - I_0(n_0 - 1)] = (k_1 - k_2) \cdot \pi \pm \pi/2 \pm \eta \pm \Delta\varphi. \quad (15)$$

В умові (15) для однозначності фазових вимірів ($k_1 - k_2 = \text{const}$) необхідно, щоб додатковий фазовий зсув був би менше 180° $\Delta\varphi < \pi$, а для роботи на лінійній ділянці характеристики фотоприймача досить, щоб $\Delta\varphi < 0,1\pi$.

Вихідна напруга фотоприймача 12 збільшується або зменшується в залежності від напрямку переміщення кювети 6 ($\pm p$), а її нове значення U_2 фіксується мілівольтметром 13.

Далі за допомогою частотного, наприклад, електрооптичного модулятора 2 зміщують частоту оптичного випромінювання на низьку частоту електричними коливаннями радіочастотного генератора 14, частоту якого вимірюють частотоміром 15. Частоту модуляції F і напрямок зсуву ($\nu \pm F$) вибирають такими, щоб змінна вихідна напруга фотоприймача 12 наближалася до первісного значення U_1 ($\Delta\varphi \rightarrow 0$), при цьому напруга

$$U_3 = 2S(1 + \varepsilon_3) I_0 \left\{ 1 + \gamma \cos \frac{2\pi(\nu \mp F)}{c} \cdot [(1 \pm p)(n-1) - I_0(n_0 - 1)] \right\} + \delta_3, \quad (16)$$

де ε_3 і δ_3 - похибки третього виміру напруги.

При повній компенсації додаткового зсуву фаз ($\Delta\varphi = 0$) зміщенням частоти випромінювання вихідна напруга фотоприймача 12 приймає первісне значення ($U_3 = U_1$). При цьому, з огляду на те, що $\varepsilon_3 = \varepsilon_1$ і $\delta_3 = \delta_1$ через малі відхилення в околицях робочої крапки (фіг.2), різниця фаз сполучених пучків буде:

$$(k_1 - k_2) \cdot \pi \pm \pi/2 \pm \eta = \frac{2\pi(\nu \mp F)}{c} [(1 \pm p)(n-1) - I_0(n_0 - 1)] \quad (17)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (11) і (17), одержуємо

$$v[(n-1) - l_0(n_0-1)] = \\ = (v \mp F)[(1 \pm p)(n-1) - l_0(n_0-1)] \quad (18)$$

Вирішивши рівняння (18) щодо показника заломлення досліджуваного середовища n , одержимо

$$n = \frac{\pm F \cdot l_0(n_0-1)}{l(\pm F \mp p \cdot v)} + 1, \quad (19)$$

або через довжину хвилі λ

$$n = \frac{\pm F \cdot l_0(n_0-1)}{l(\pm F \mp \frac{p \cdot c}{\lambda})} + 1. \quad (20)$$

Підставивши в залежність (19) значення p з (12) одержимо значення показника заломлення для рідкого або газоподібного середовищ, розміщених у переміщуваній кюветі,

$$n = \frac{\pm F \cdot l_0(n_0-1)}{\pm F \cdot l_0 \mp H \cdot v \cdot \operatorname{tg} \alpha} + 1 \quad (21)$$

або через довжину хвилі вихідного оптичного випромінювання λ маємо

$$n = \frac{\pm F \cdot l_0(n_0-1)}{\pm F \cdot l_0 \mp c \left(\frac{H}{\lambda} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)} + 1. \quad (22)$$

У випадку визначення показника заломлення зразка з твердої речовини зміну довжини шляху в зразку (фіг.3) здійснюють нахилом оптичної осі досліджуваного зразка 16 відносно напрямку поширення зондувального пучка випромінювання. Відносна зміна довжини шляху в зразку при цьому складає

$$p = \frac{1 - \cos \beta}{\cos \beta}, \quad (23)$$

де β - кут нахилу між оптичною віссю зразка і напрямком поширення зондувального пучка.

Підставивши значення p з (23) у рівняння (20), одержимо розрахункову формулу для показника заломлення твердої речовини.

$$n = \frac{\pm F \cdot l_0(n_0-1)}{\left[\pm F \pm \frac{(1 - \cos \beta) \cdot c}{\lambda \cdot \cos \beta} \right]}. \quad (24)$$

Для підвищення точності визначення показника переломлення досліджуваного середовища, необхідно переміщення кювети 6 задавати за цифровою відміткою вимірника мікропереміщень 17, а компенсуюче значення частоти електричних коливань вимірювати за шкалою цифрового частотоміра 15.

Таким чином, за обмірюванням значенням частоти F зміщуючих коливань заданому переміщенню H або куту нахилу β кювети з досліджуванним середовищем і конструктивним параметром кювети (довжині - l) і сповільнюючої пластинки (товщині l_0 і показнику заломлення n_0) визначають показник заломлення досліджуваного середовища n на частоті оптичного випромінювання ν або довжині хвилі λ .

У порівнянні з відомим способом (прототипом) зняте обмеження на товщину (довжину) зразкового середовища, що дозволяє застосовувати стандартні сповільнюючі пластинки, виготовлені з малими відхиленнями по товщині і показнику заломлення. Застосування лазера з фіксованою частотою (довжиною хвилі λ) випромінювання виключає необхідність виміру довжини хвилі, регульованого по частоті оптичного випромінювання, і забезпечує можливість виміру малих змін частоти випромінювання при $\lambda = \text{const}$ за допомогою вимірюваних по частоті модулюючих електричних коливань. Тому використання запропонованого способу визначення показника заломлення спрощує і підвищує точність аналізу рідких і газових середовищ, а також прозорих твердих тіл в оптичному діапазоні частот.

Приклад. Для підтвердження реалізації способу проаналізовано можливість визначення показника заломлення досліджуваного середовища з $n=1,1$ при довжині хвилі оптичного випромінювання $\lambda = 0,63284 \text{ мкм}$. За еталонне середовище обрана сповільнююча пластинка, товщиною $l_0=0,5 \text{ мм}$ з оптичного скла К8 з показником заломлення $n_0=1,514$, а довжина робочої кювети $l=1 \text{ м}$. Швидкість поширення оптичного випромінювання в повітрі будемо вважати $c=2,9979 \times 10^8 \text{ м/с}$.

Спочатку з умови (14) визначаємо максимальне переміщення кювети з кутом нахилу торцевої стінки $\alpha = 0,5^\circ$ з умови, що $\Delta \varphi < 0,1\pi$

$$H = \frac{\Delta \varphi \cdot \lambda}{2\pi \cdot \operatorname{tg} \alpha (n-1)} = \\ = \frac{0,1\pi \cdot 0,63284 \cdot 10^{-6}}{2\pi \cdot 0,0087(1,1-1)} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 30 \text{ мкм}$$

Задаємо мікропереміщення кювети $H=10 \text{ мкм}$, що легко зафіксувати по шкалі вимірника переміщень типу ИГ2. Тоді необхідний зсув частоти оптичного випромінювання можна одержати з умови (21), що складає

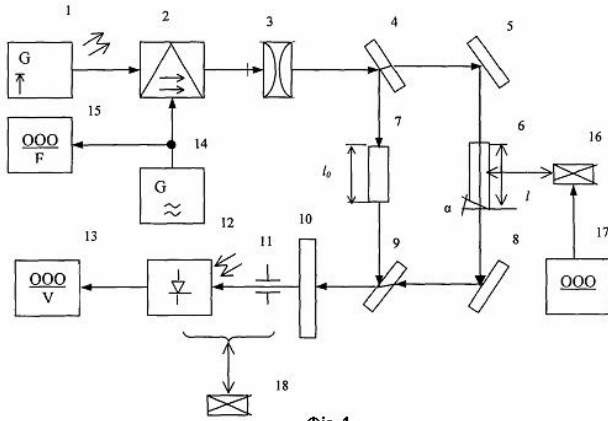
$$F = \frac{c(H/\lambda) \operatorname{tg} \alpha (n-1)}{(n-1) - (n_0-1)_0} =$$

$$= \frac{2,9979 \cdot 10^8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0087 (1,1-1)}{0,63284 \cdot 10^{-6} [(1,1-1) - (1,514-1) \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}]} =$$

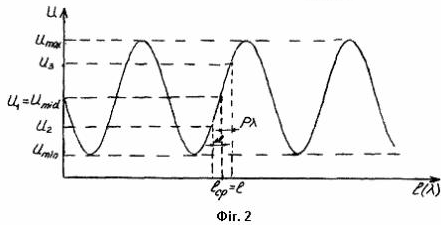
$$= 5 \cdot 10^7 \text{ Гц} = 50 \text{ МГц}$$

Такий зсув частоти легко реєструється електронно-рахунковим частотоміром ЧЗ-62.

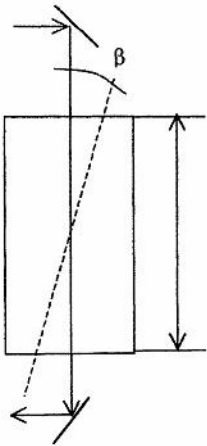
Для дослідження рідкого середовища обиралось молоко з жирністю 3,2%. По зміні показника заломлення можна з високою точністю визначити вміст жиру в молоці в межах від 0,1% до 6% з похибкою не більше $\pm 0,05\%$.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3