

УДК 535.41:681.785.57(07)

UDC 535.41:681.785.57(07)

**КОМПЛЕКСНЫ ПАДЫХОД ДА
ВЫВУЧЭННЯ ТЭМЫ «ІНТЭРФЕРЭН-
ЦЫЯ СВЯТЛА, ІНТЭРФЕРОМЕТРЫ
І ІХ ПРЫМЯНЕННЕ»****COMPLEX APPROACH TO STUDYING
THE THEME “INTERFERENCE OF
LIGHT, INTERFEROMETERS AND
THEIR APPLYING”****В. Р. Собаль,***доктар фізіка-матэматычных навук,
прафесар, загадчык кафедры фізікі
і методыкі выкладання фізікі БДПУ;***Ч. М. Федаркоў,***кандыдат педагагічных навук,
дацэнт кафедры фізікі і методыкі
выкладання фізікі БДПУ***V. Sobal,***Doctor of Physics and Mathematics,
Professor, Head of the Department of Physics
and Methods of Teaching Physics, BSPU***Ch. Fedarkou,***Candidate of Pedagogic, Associate
Professor of the Department of Physics
and Methods of Teaching Physics, BSPU*

Паступіў у рэдакцыю 12.04.16.

Received on 12.04.16.

Паказана, што практычнае прымяненне фізічных з’яў садзейнічае развіццю не толькі самой навукі і тэхнікі, але і сучаснай цывілізацыі ў цэлым. Таму прыкладны характар рэзультатаў фізічных даследаванняў і іх шырокае выкарыстанне чалавекам у сваім жыцці абавязвае сістэму адукацыі ажыццяўляць працэс навучання так, каб кожны вучань (студэнт) меў дасканалое ўяўленне аб тым, дзе, для чаго і як выкарыстоўваецца тая ці іншая фізічная з’ява. У гэтым плане з’ява інтэрферэнцыі таксама шырока выкарыстоўваецца ў сучаснай тэхніцы і асабліва ў вымяральных прыладах і прыборах. Прыборы, прынцып дзеяння якіх заснаваны на з’яве інтэрферэнцыі, называюцца інтэрферометрамі.

Ключавыя словы: навука, тэхніка, практыка, уяўленне, з’ява, веды, прыборы, інтэрферэнцыя, святло, інтэрферометры.

The article shows the practical application of physical phenomena contributes to the development not only of science itself and technology, but also the development of modern civilization in general. Therefore, the applied nature of the results of physical studies and their widespread using by man in his life requires the education system to carry out the learning process so that every pupil (student) has a complete idea of where, why and how to use one or another physical phenomenon. In this regard, the interference phenomenon is used widely in modern engineering and especially in measuring devices and appliances. The article discusses various optical schemes of interferometers.

Keywords: science, technique, practice, complete, idea, phenomenon, apparatus, interference, light, interferometers.

Фізіка – гэта навука, якая пастаянна дапаўняе нашы ўяўленні аб прыродзе. Фізікі шукаюць не толькі шляхі апісання фізічных з’яў у магчыма больш простых тэрмінах, але і распрацоўваюць спосабы і метады іх выкарыстання ў жыцці чалавека. І ў наш час ужо нікога не прыходзіцца пераконваць у тым, што фізіка з’яўляецца асновай навукова-тэхнічнага прагрэсу і фундаментам прыродазнаўчай і інжынернай адукацыі.

Гісторыя развіцця навук аб прыродзе паказвае, што менавіта фізіка больш за ўсё садзейнічае развіццю тэхнікі і з’яўленню яе новых галін. Дзякуючы свядома-

му практычнаму выкарыстанню фізічных з’яў і законаў, тэхніка ў наш час выйшла на шырокую дарогу мэтанакіраванага развіцця. Практычнае прымяненне фізічных з’яў садзейнічае развіццю не толькі самой навукі і тэхнікі, але і сучаснай цывілізацыі ў цэлым. Таму прыкладны характар рэзультатаў фізічных даследаванняў і іх шырокае выкарыстанне чалавекам у сваім жыцці абавязвае сістэму адукацыі налажваць працэс навучання так, каб кожны вучань (студэнт) меў дасканалое ўяўленне аб тым дзе, для чаго і як выкарыстоўваецца тая ці іншая фізічная з’ява.

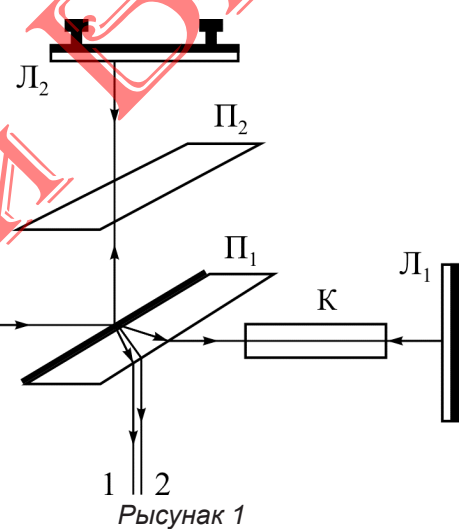
У гэтым плане з'ява інтэрферэнцыі таксама шырока прымяняецца ў сучаснай тэхніцы і асабліва ў вымяральных прыладах і прыборах. Прыборы, прынцып дзеяння якіх заснаваны на з'яве інтэрферэнцыі, называюцца інтэрферометрамі.

Работа інтэрферометраў заснавана на выкарыстанні кагерэнтных прамянёў і вялікай адчувальнасці інтэрферэнцыйнай карціны да велічыні рознасці ходу інтэрферыруючых хваль: нават вельмі малое

змяненне рознасці ходу выклікае значнае зрушэнне інтэрферэнцыйных палос. Прынцып дзеяння інтэрферометраў у асноўным адзін і той жа. Але ў залежнасці ад прызначэння ім надаюць розныя канструктыўныя варыянты. У сучасны момант шырока выкарыстоўваюцца інтэрферометры: Майкельсона, Жамена, Раждзественскага, Лінніка, Рылея, Люмера–Герке, Фабры–Перо і інш. [1–6].

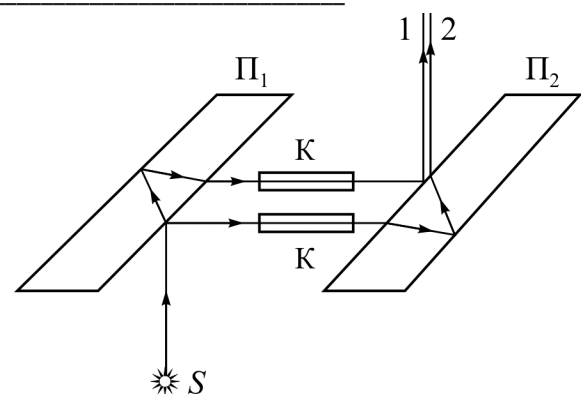
Інтэрферометр Майкельсона – у гэтым інтэрферометры інтэрферыруюць два светлавыя пучкі 1 і 2, якія ўзнікаюць пры праходжанні і адбіцці ў паўпразрачнай пласцінцы Π_1 святла, што ідзе ад крыніцы S (рысунак 1). На шляху першага пучка змяшчаецца пласцінка Π_2 , тоесная з пласцінкой Π_1 . Яна кампенсуе рознасць ходу паміж пучкамі, якая ўзнікае з-за таго, што другі пучок праходзіць пласцінку Π_1 тры, а першы – толькі адзін раз. Люстэрка L_2 служыць для першапачатковага юсіравання інтэрферометра. Кювета K даўжынёй ℓ , запоўненая вызначаным рэчывам з паказчыкам праламлення n , ставіцца на шляху аднаго з пучкоў. Пры гэтым паміж пучкамі ўзнікае дадатковая рознасць ходу $\Delta = 2\ell(n-1)$, якая прыводзіць да зрушэння інтэрферэнцыйнай карціны

адносна шкалы прыбора на N палос. З роўнасці $2\ell(n-1) = N\lambda$ можна вызначыць, напрыклад, паказчык праламлення рэчыва n .



Рысунак 1

Інтэрферометр Жамена – гэта найпростейшы тып інтэрферометра, які складаецца з дзвюх плоскапаралельных пласцін Π_1 і Π_2 аднолькавай таўшчыні (рысунак 2). Пучок святла, што зыходзіць з крыніцы S , пры адбіцці ад паверхняў пласцінкі Π_1 , разбіваецца на два – 1 і 2, якія пасля адпаведнага адбіцця ад пласцінкі Π_2 інтэрферыруюць. На шляху кожнага з пучкоў змяшчаюцца кюветы K аднолькавай даўжыні. Па зрушэнні інтэрферэнцыйнай карціны з роўнасці $\ell(n-1) = N\lambda$ можна вызначыць, напрыклад, даўжыню светлавой хвалі λ .

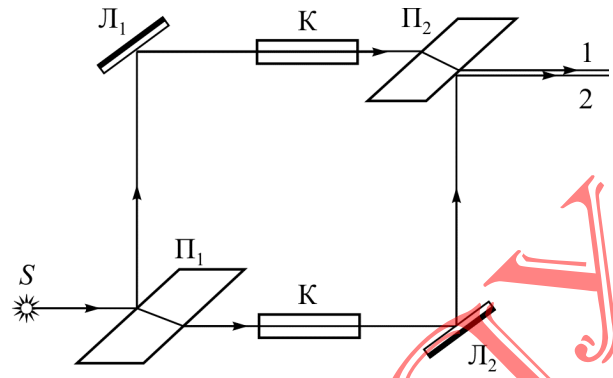


Рысунак 2

Інтэрферометр Раждзественскага прынцыпова не адрозніваецца ад інтэрферометра Жамена, толькі кожная тоўстая пласціна ў ім заменена парай паралельна

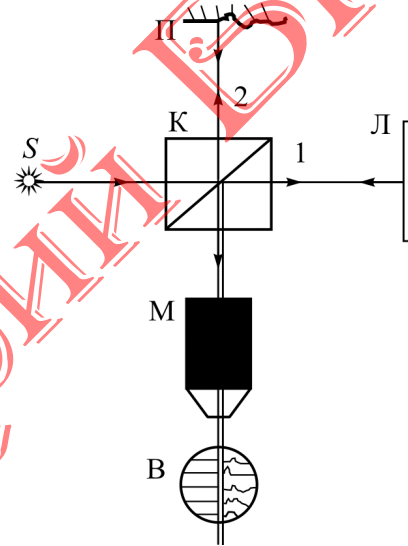
ўстаноўленых тонкай пласціны і плоскага люстэрка Π_1, L_1 і Π_2, L_2 (рысунак 3). Такая канструктыўная асаблівасць дала магчымасць ліквідаваць недахопы, якія меліся

ў інтэрферометры Жамена (цяжкасці пры вырабе тоўстых аднародных пласцін, запаволены прагрэў пласцін, што прыводзіць да самаадвольнага зрушэння інтэрферэнцыйных палос ў поле зроку акулера і амаль немагчымая работа ў ультрафіялетавай вобласці спектра). Кагерэнтныя пучкі 1 і 2, што інтэрферыруюць, узнікаюць пры адпаведным адбіцці ад пласцінак і люстэрак і праходжанні пласцінак. Як і ў іншых інтэрферометрах, значэнне вызначанай фізічнай велічыні можна знайсці з роўнасці $\ell(n - 1) = N\lambda$ па зрушэнні палос адносна адліковай шкалы прыбора.



Рысунак 3

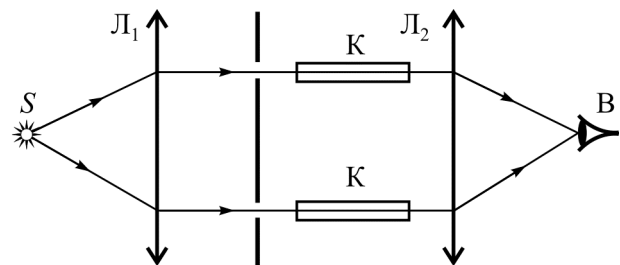
Інтэрферометр Лінніка – монахраматычны пучок святла, які зыходзіць з крыніцы S, разбіваецца на два пры адбіцці ад паўпрапрыстага слоя, што нанесены на дыяганаль куба К, і яго праходжанні. Кагерэнтныя пучкі 1 і 2 пасля адпаведнага адбіцця ад плоскага люстэрка Л і даследуемай паверхні П пападаюць у мікраскоп М. Выгляд інтэрферэнцыйнай карціны В назіраецца ў полі зроку акулера мікраскопа (рысунак 4).



Рысунак 4

Інтэрферометр Рэлея. У дадзеным інтэрферометры для атрымання кагерэнтных пучкоў выкарыстоўваецца метада Юнга. Пры праходжанні монахраматычнага святла, якое выраменьвае крыніца S, праз дзве адтуліны ў дыяфрагме D утвараюцца два кагерэнтныя пучкі, інтэрферэнцыю якіх можна назіраць вокам В (рысунак 5). Калі адну з кювет К запоўніць даследуемым рэчывам, а другую – эталонным, то па зрушэнні інтэрферэнцыйнай карціны з дапамогай роўнасці $\ell(n - n_y) = N\lambda$

можна вызначыць значэнне адпаведнай фізічнай велічыні.



Рысунак 5

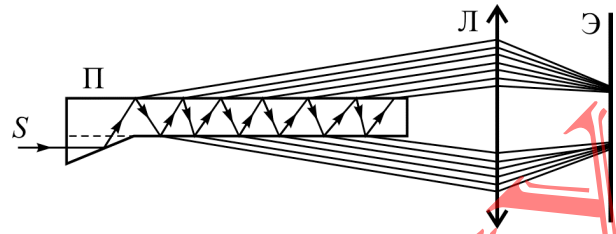
Інтэрферометр (пласцінка) Люмера–Герке – адным з галоўных элементаў інтэрферометра з'яўляецца плоскапаралельная пласцінка П з вельмі аднароднага шкла ці кварцу (рысунак 6). Для ўваходу

светлавога пучка S у пласцінку яе тарэц робіцца скошаным ці прыстаўляецца дадатковая прызмачка. У тым і другім выпадку светлавыя прамяні накіраваны перпендыкулярна паверхні шкла. Напрамак

прамянёў падбіраецца так, каб вугал падзення святла на мяжу шкло-паветра быў блізім да гранічнага вугла поўнага ўнутранага адбіцця. З умовы максімума інтэрферэнцыі і таго, што святло падае амаль пад гранічным вуглом, можна атрымаць выраз для ліку пучкоў N , што інтэрферыруюць, па адзін бок пласцінкі

$$N = \frac{L}{2d} \sqrt{n^2 - 1},$$

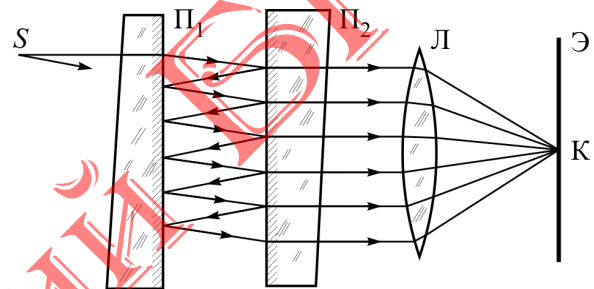
дзе L – даўжыня, d – таўшчыня, n – паказчык праламлення пласцінкі.



Рысунк 6

Інтэрферометр (эталон) Фабры-Перо. Асноўнымі элементамі гэтага прыбора з’яўляюцца дзве пласціны Π_1 і Π_2 , якія сваімі паверхнямі, звернутымі адна да другой, утвараюць плоскапаралельны паветраны зазор пастаяннай таўшчыні (рысунк 7). Пры шматлікім адбіцці святла ад люстэркавых паверхняў пласцін на экране Э ўтвараецца інтэрферэнцыйная карціна ў выглядзе канцэнтрычных кольцаў роўнага нахілу, таму што на прыбор падае пучок, які разыходзіцца, ад шырокай крыніцы святла S. Інтэрферометр Фабры-Перо можа быць выкананы і ў вы-

глядзе плоскапаралельнай шкляной ці кварцавай пласціны, на паверхні якой нанесены адбівальныя пласты.

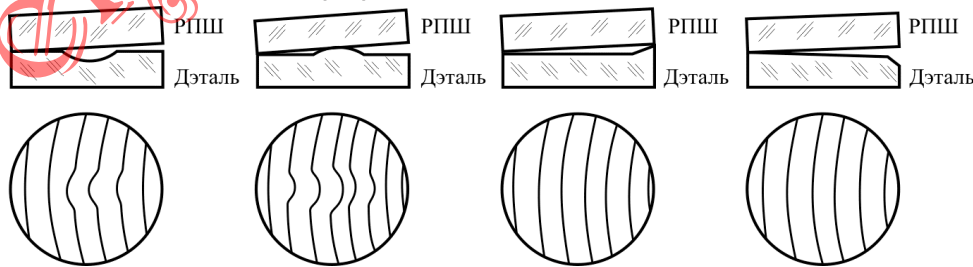


Рысунк 7

І няхай незаўсёды ў настаўніка ёсць магчымасць паказаць прыбор і паставіць адпаведную дэманстрацыю, але ён павінен на кожным уроку расказваць вучням аб практычным прымяненні фізічных з’яў ці прыбораў, работа якіх заснавана на гэтай з’яве.

З’ява інтэрферэнцыі святла знайшла шырокае прымяненне ў розных галінах навукі і тэхнікі. Напрыклад, па адлегласці паміж інтэрферэнцыйнымі палосамі ў доследзе з біпрызмам Фрэнеля ці па радыусам кольцаў Ньютана можна вызначыць даўжыню хваль светлавых прамянёў, што з’яўляецца доказам хвалевай прыроды святла.

Залежнасць колькасці інтэрферэнцыйных кольцаў і іх выгляд ад велічыні прамерка паміж паверхнямі, якія датыкаюцца, выкарыстоўваецца для кантролю дакладнасці вырабляемых паверхняў аптычных дэталей. Гэты кантроль праводзіцца з дапамогай рабочых пробных шкельцаў (РПШ). Рабочая паверхня РПШ выконваецца з высокай дакладнасцю і бывае выпуклай, увагнутай і плоскай. Радыус крывізны ў РПШ роўны па велічыні радыусу крывізны дэталі, што правяраецца, але адваротны па знаку (рысунк 8).



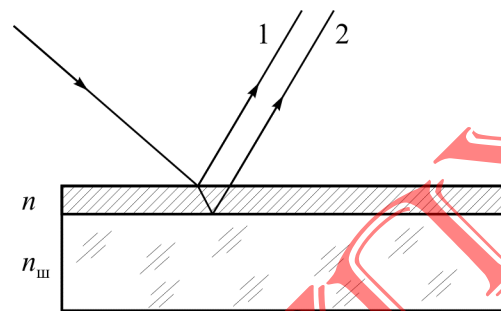
Рысунк 8

«Прасвятленне оптыкі» з мэтай памяншэння інтэнсіўнасці адбітага святла так-

сама заснавана на з’яве інтэрферэнцыі (метад Грабеншчыкава). Пры гэтым пя-

рэдня паверхня лінзы (шкла) пакрываецца спецыяльнай тонкай плёнкай. Святло, якое падае на лінзу, адбіваецца двойчы: на мяжы паветра – плёнка і на мяжы плёнка – лінза. Паказчык праламлення n і таўшчыня d плёнка падбіраюцца так, каб адбітыя прамяні былі ў супрацьлеглай фазе і гасілі адзін другога (рысунак 9). Пры гэтым знікаюць блікі, што з'яўляецца значным у ваеннай справе. І паколькі пры інтэрферэнцыі энергія святла не знікае, а толькі пераразмяркоўваецца ў прасторы, то інтэнсіўнасці праламленага прамяня, які праходзіць унутр аптычнай сістэмы, павялічваецца. З умовы мінімуму (поўнага

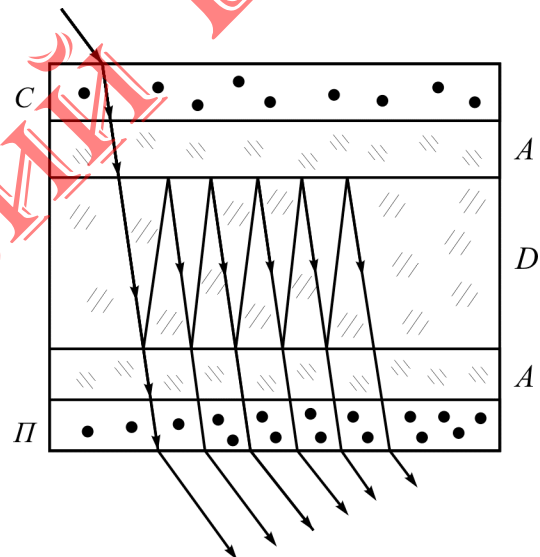
гашэння адбітых прамянёў) $2dn = \frac{\lambda}{2}$ можна вызначыць таўшчыню плёнкай.



Рысунак 9

Шырокае распаўсюджанне атрымалі інтэрферэнцыйныя святлафільтры, дзеянне якіх заснавана на з'яве шматпрамянёвай інтэрферэнцыі. Яны ўяўляюць сабой шматслойныя дыэлектрычныя пакрыцці са слаёў, што чаргуюцца, з вялікім і малым паказчыкамі праламлення. У выніку інтэрферэнцыі адбіваецца ўзмацненне выпраменьвання зададзенай даўжыні хвалі, каэфіцыент прапускання рэзка павялічваецца. На рысунку 10 паказаны вонкавы выгляд інтэрферэнцыйнага святлафільтра. На шкляную або кварцавую падложку П нанесены паўпразрысты адбівальны слой А, які пакрываецца празрыстым раздзяляльным слоём D, затым наносіцца другі адбівальны слой А. Для аховы прылады ад механічных пашкоджанняў і выразання непатрэбных палос прапускання дыэлектрычныя слаі пакрываюцца пласцінай С

з каляровага шкла (абсарцыйным святлафільтрам).



Рысунак 10

Інтэрферометр Майкельсона, як інтэрферэнцыйны рэфрактометр, выкарыстоўваецца для дакладнага вымярэння паказчыка праламлення рэчыва. З яго дапамогай можна праводзіць прэцызійныя вымярэнні, галоўным чынам лінейных памераў. Па зрушэнні інтэрферэнцыйных палос, якое можна вызначаць з вялікай дакладнасцю, упершыню быў вымераны і параўнаны з даўжынёй стандартнай светлавой хвалі міжнародны эталон метра. Магчымасць выконваць такія параўнанні з вялікай ступенню дакладнасці прывяла да таго, што светлавую хвалю зрабілі цяпер эталонам даўжыні. У сістэме СІ

асноўная адзінка даўжыні метр – гэта даўжыня, роўная $1\,650\,763,73$ даўжынь хвалі у вакууме выпраменьвання, якое адпавядае пераходу паміж узроўнямі $2p$ і $5d$ атама крыптану-86. Дослед Майкельсона–Морлі, мэтай якога было выяўленне руху Зямлі адносна эфіру, быў выкананы з дапамогай гэтага інтэрферометра. Аптычная схема інтэрферометра Майкельсона прымяняецца ў сучасных спектральных прыборах новага тыпу – фур'е-спектрометрах, якія асабліва эфектыўны для даследавання інфрачырвонай часткі спектра маламагутных крыніц выпраменьвання.

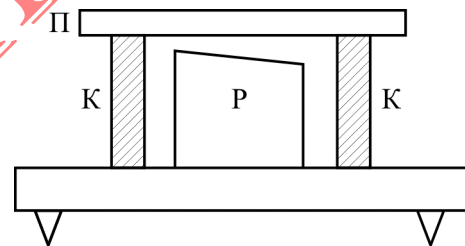
Для контролю якасці аптычных сістэм, аднароднасці шкла, з якога выраблена сістэма, і чысціні апрацоўкі металічных паверхняў высокага класу дакладнасці выкарыстоўваецца мікраінтэрферометр Лінніка. Пры гэтым дакладнасць ацэнкі складае каля 0,05 мк. Прыбор Лінніка дазваляе вымяраць глыбіню царапін, выбоін і іншых дэфектаў на паліраваных паверхнях.

У сувязі з тым, што інтэрферэнцыйная карціна вельмі адчувальна да фактараў, што змяняюць рознасць ходу светлавых пучкоў, інтэрферометры можна выкарыстоўваць для вызначэння змянення паказчыка праламлення. Інтэрферометр Рылея, ці як яго называюць – газавы інтэрферометр, дае магчымасць вызначыць Δn з дакладнасцю да сёмага знака пасля коскі. А паколькі паказчык праламлення прапайцыянальна шчыльнасці газу і залежыць ад яго хімічнага складу, то інтэрферэнцыйным метадам можна вымяраць невялікія канцэнтрацыі прымясей у газе, а таксама змяненні яго ціску і тэмпературы. З гэтай вымярэння невялікіх змяненняў паказчыка праламлення рэчыва, напрыклад, пры змяненні тэмпературы газу ці пры дабаўленні да яго пабочных прымясей, выкарыстоўваецца таксама інтэрферометр Жамена ці Раждзественскага.

Інтэрферометр Фабры–Перо дазваляе вывучаць спектральны склад святла з вялікай распазнавальнасцю спектральных ліній. Даследаванні звыштонкай структуры спектральных ліній выконваюцца, як правіла, з дапамогай гэтага інтэрферометра. Дадзены інтэрферометр, як і інтэрферометр Майкельсона, знайшоў шырокае выкарыстанне ў метралогіі (параўнанне даўжыні светлавой хвалі з даўжынёй нармальнага метра). Па прапанове рускага вучонага А. М. Прохарава інтэрферометр Фабры–Перо быў выкарыстаны ў якасці высокадабротнага адкрытага рэзанатара для электрамагнітных ваганняў аптычнага дыяпазону. Такі рэзанатар быў неабходны для стварэння аптычнага квантавага генератара (лазера).

Інтэрферэнцыйныя палосы роўнай таўшчыні, якія ўзнікаюць у клінападобных пласцінках (зазорах), выкарыстоўваюцца

для вымярэння вельмі малага змянення таўшчыні якога-небудзь слоя. З гэтай мэтай быў распрацаваны інтэрферэнцыйны прыбор, які атрымаў назву дылатометра. Прыбор складаецца з кальца К, вырабленага з плаўленага кварцу, які мае вельмі малы і дакладна вымераны каэфіцыент цеплавога пашырэння (рысунак 11). На кальцы ляжыць шкляная пласцінка П з плоскімі паверхнямі. Унутр кальца змяшчаецца даследуемае цела Р, ніжняя і верхняя паверхні якога добра адпаліраваныя. Цела Р размяшчаецца так, што паміж яго верхняй і ніжняй паверхнямі пласцінкі П утвараўся тонкі клінападобны паветраны зазор. Пры награванні прыбора, у выніку адрознення каэфіцыентаў цеплавога пашырэння цела Р і кальца К, таўшчыня паветранага слоя змяняецца і інтэрферэнцыйныя палосы роўнай таўшчыні зрушваюцца. Па гэтым зрушэнні можна вызначыць змяненне памераў цела і яго каэфіцыент цеплавога пашырэння.



Рысунак 11

У апошні час інтэрферэнцыйная рэфрактаметрыя прымяняецца ў клінічных лабараторыях для даследавання змяненняў у складзе крыві. З дапамогай інтэрферэнцыйных прыбораў можна вызначыць паказчык праламлення цвёрдага цела з дакладнасцю да восьмага дзесятковага знака.

З'ява інтэрферэнцыі, а менавіта палосы роўнай таўшчыні, выкарыстоўваецца для кантролю дакладнасці вуглоў у шкляных прызмах. Для гэтага вырабляюць стандартны шкляны вугольнік і пры налажэнні яго на грані прызмы вызначаюць зрушэнне інтэрферэнцыйнай карціны. Па гэтым зрушэнні вызначаюць значэнне вугла з дакладнасцю, якая адпавядае паветранаму кліну, катэт якога не перавышае 30 нм.

Такім чынам, разглядаючы прыборы (інтэрферометры), у аснове работы якіх ляжыць з'ява інтэрферэнцыі, і вобласці прымянення самой з'явы і дадзеных фізічных прыбораў, настаўнік (выкладчык) паказвае навучэнцам, што даследаванні

ў галіне фізікі носяць не толькі фундаментальны, але і прыкладны характар. Гэта дазваляе чалавеку больш дасканала даследаваць прыроду, яе з'явы і заканамернасці, па якіх яна існуе, што становіцца ўплывае на развіццё сучаснай цывілізацыі.

ЛІТАРАТУРА

1. *Бондар, В. А.* Курс агульнай фізікі: Оптыка : вучэб. дапам. / В. А. Бондар – Мінск : Выш. шк., 1995. – 223 с.
2. *Ландсберг, Г. С.* Оптика / Г. С. Ландсберг. – М. : Наука, 1976. – 928 с.
3. *Бутиков, Е. И.* Оптика: учеб. пособие для вузов / Е. И. Бутиков; под ред. Н. И. Калитеевского. – М. : Вышш. шк., 1986. – 512 с.
4. *Савельев, И. В.* Курс общей физики / И. В. Савельев. – М. : Наука, 1987. – Т. 3. Оптика. – 528 с.
5. Курс физики: учеб. для вузов : в 2 т. / под ред. В. Н. Лозовского. – СПб. : «Лань», 2003. – 592 с.
6. *Грабовский, Р. И.* Курс физики / Р. И. Грабовский. – 8-е изд. – СПб. : «Лань», 2005. – 608 с.

REFERENCES

1. *Bondar, V. A.* Kurs agulnay fiziki: Optyka : vucheb. dapam. / V. A. Bondar – Minsk : Vysh. shk., 1995. – 223 s.
2. *Landsberg, G. S.* Optika / G. S. Landsberg. – M. : Nauka, 1976. – 928 s.
3. *Butikov, Ye. I.* Optika: ucheb. posobiye dlya vuzov / Ye. I. Butikov; pod red. N. I. Kaliteyevskogo. – M. : Vyssh. shk., 1986. – 512 s.
4. *Savelyev, I. V.* Kurs obshchey fiziki / I. V. Savelyev. – M. : Nauka, 1987. – T. 3. Optika. – 528 s.
5. Kurs fiziki: ucheb. dlya vuzov : v 2 t. / pod red. V. N. Lozovskogo. – SPb. : "Lan", 2003. – 592 s.
6. *Grabovskiy, R. I.* Kurs fiziki. / R. I. Grabovskiy. 8-ye izd. – SPb. : "Lan", 2005. – 608 s.

РЕНОВИТОРИИ