



Раздзел 3

Оптыка

«Сонца, мора, іскры, цені,
блакіт неба за акном,
Усю прыроду і стварэнні
ў святле мы спазнаём».

Паводле М. І. Чайкоўскага

§ 14. Электрамагнітная прырода святла

- З антычных часоў лічылася, што святло практычна імгненна пераадоляе любы адлегласці. Пытанне аб прыродзе святла доўгі час заставалася адкрытым. Якімі ўласцівасцямі валодае святло? Як была вымерана скорасць яго распаўсюджвання?



Чым меншая скорасць распаўсюджвання святла ў асяроддзі, тым асяроддзе з'яўляецца аптычна больш шчыльным.

Оптыка — раздзел фізікі, у якім вывучаецца фізічная прырода і ўласцівасці святла, а таксама яго ўзаемадзеянне з рэчывам. Адпаведна, светлавая з'ява часта называюць аптычнымі з'явамі. Слова «оптыка» пайшло ад грэч. *οπτικός* (оптыкас) — бачны, глядзельны, паколькі асноўную частку інфармацыі аб прыродзе і з'явах, што ў ёй адбываюцца, чалавек атрымлівае пасродкам зрокавых адчуванняў, якія ўзнікаюць пад дзеяннем святла.



Пад **святлом** у оптыцы разумеюць электрамагнітныя хвалі, даўжыні якіх знаходзяцца ў дыяпазоне ад 2,0 мм да 10 нм. Гэты дыяпазон падзяляецца на інфрачырвоны (2,0 мм—0,75 мкм), бачны (ад 750 нм да 380 нм) і ультрафіялетава (380 нм—10 нм) дыяпазоны.

Сучасная оптыка заснавана на электрамагнітнай тэорыі святла. Як вам вядома (гл. § 12), у другой палове XIX ст. Дж. Максвел даказаў магчымасць распаўсюджвання электрамагнітных хваль у вакууме. Згодна з вывадам з яго тэорыі святло мае электрамагнітную прыроду, паколькі

скорасць яго распаўсюджвання роўна скорасці электрамагнітных хваль у вакууме.

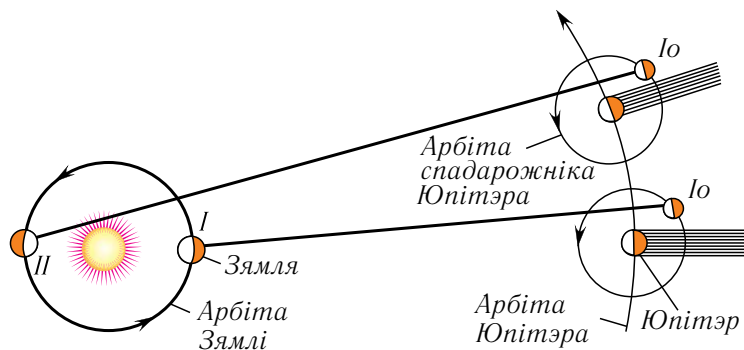
Першыя спробы вымярэння скорасці святла, зробленыя напачатку XVII ст. Г. Галілеем і іншымі вучонымі, не мелі поспеху з прычыны недастатковай дакладнасці вымярэння часу (хронаметравання). У выніку гэтых эксперыментаў Галілей прыйшоў да высновы, што вымераць модуль скорасці святла на малых адлегласцях практычна немагчыма, паколькі святло пераадолюе іх імгненна дзякуючы вялікаму значэнню скорасці распаўсюджвання.

Дэкарт адным з першых прапанаваў выкарыстоўваць для вымярэння модуля скорасці святла велізарныя (астранамічныя) адлегласці, на пераадоленне якіх святлу патрабавецца значны час, які можна вымераць з дастатковай дакладнасцю.

Гістарычна першае эксперыментальнае вызначэнне модуля скорасці святла ў вакууме ў 1672 г. зрабіў дацкі астраном Олаф Ромер, які праводзіў сістэматычныя назіранні ў тэлескоп зацямненняў спадарожніка Юпітэра — Іо. Прыкладна праз паўгода пасля пачатку назіранняў ён заўважыў, што момант зацямнення спадарожніка Іо прыпазіняецца амаль на 16 мін у параўнанні з вылічаным значэннем. Ромер растлумачыў гэта запазненне канечнасцю скорасці распаўсюджвання святла. Сапраўды, паколькі за паўгода Зямля перамясцілася са становішча I (мал. 82) у становішча II, то святлу неабходна прайсці дадатковую адлегласць, прыкладна роўную дыяметру зямной арбіты. А пры канечнасці скорасці святла для гэтага неабходна больш часу.

На падставе тагачасных даных аб дыяметрах арбіт Зямлі і Юпітэра ён атрымаў для скорасці святла значэнне:

$$c = 2,12 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$



Мал. 82. Схема назіранняў Ромера

Амерыканскі фізік Альберт Майкельсан у 1926 г. для вымярэння скорасці святла выкарыстаў устаноўку, у якой святло праходзіла паміж дзвюма горнымі вяршынямі. Ён атрымаў значэнне скорасці святла, блізкае да сучасных даных:

$$c = (299796 \pm 4) \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

У 1972 г. скорасць святла была вызначана на аснове незалежных вымярэнняў даўжыні хвалі і частаты святла. Гэта дазволіла значна павялічыць дакладнасць вымярэнняў. У якасці крыніцы быў абраны гелій-неонавы лазер. Такім чынам, было атрымана значэнне скорасці святла, якое пераўзышло па дакладнасці ўсе раней вядомыя значэнні больш чым на два парадкі. З прычыны гэтага ў 1983 г. на 17-й Генеральнай канферэнцыі па мерах і вагах значэнне скорасці святла ў вакууме прынята роўным

$$c = 299\,792\,458 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ (дакладна).}$$

Заўважым, што пры рашэнні задач, як правіла, карыстаюцца прыбліжаным значэннем модуля скорасці святла:

$$c \approx 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Менавіта гэта значэнне скорасці распаўсюджвання святла c звязвае даўжыню хвалі λ у вакууме з перыядам яе ваганняў T :

$$\lambda = cT$$

і з частатой ν :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

Вынікі вымярэнняў паказалі, што скорасць святла v у розных рэчывах заўсёды меншая за скорасць святла c у вакууме. У 1862 г. французскі фізік Жан Фуко вымераў скорасць распаўсюджвання святла ў вадзе і атрымаў значэнне $2,23 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Праз некалькі гадоў Майкельсан вызначыў скорасць распаўсюджвання святла ў серавугляродзе — $1,71 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Значыць, у вадзе скорасць распаўсюджвання святла памяншаецца ў 1,33 раза ў параўненні з вакуумам, а ў серавугляродзе — у 1,64 раза.

З курса фізікі 8-га класа вам вядома, што чым меншая скорасць распаўсюджвання святла ў асяроддзі, тым асяроддзе лічыцца аптычна больш шчыльным. Мерай аптычнай шчыльнасці рэчыва з'яўляецца яго *абсалютны паказчык праламлення*, які абазначаецца лацінскай літарай n .

Абсалютны паказчык праламлення n рэчыва характарызуе яго аптычныя ўласцівасці і паказвае, у колькі разоў скорасць распаўсюджвання святла ў дадзеным рэчыве меншая за скорасць распаўсюджвання святла ў вакууме:

$$n = \frac{c}{v}. \quad (1)$$

Паколькі скорасць распаўсюджвання святла ў любым рэчыве заўсёды меншая, чым у вакууме, то абсалютны паказчык праламлення рэчыва заўсёды большы за адзінку ($n \geq 1$). Абсалютны паказчык праламлення залежыць як ад уласцівасцей рэчыва, г. зн. яго хімічнага складу, аграгатнага стану, тэмпературы, ціску, так і ад частаты святла.

Зыходзячы з суадносіны (1), можна запісаць формулу для знаходжання модуля скорасці распаўсюджвання святла ў рэчыве:

$$v = \frac{c}{n}, \quad (n > 1). \quad (2)$$

Акрамя таго, з суадносіны (1) вынікае, што для любых асяроддзяў:

$$n_1 v_1 = n_2 v_2 = \dots = c, \quad (3)$$

дзе n_1, n_2 — абсалютныя паказчыкі праламлення асяроддзяў, v_1, v_2 — скорасці распаўсюджвання святла ў асяроддзях.

Падставім у суадносіну (3) выраз $v = \lambda \nu$, які звязвае модуль скорасці распаўсюджвання святла v у рэчыве з даўжынёй хвалі λ і частатой ν . Паколькі пры пераходзе электрамагнітнай хвалі з вакуума ў рэчыва або з аднаго рэчыва ў іншае **частата ваганняў** $\bar{E}$ электрычнага поля і індукцыі $\bar{B}$ магнітнага поля **не змяняецца** ($\nu = \text{const}$), то:

$$n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2 = \dots = \lambda,$$

дзе λ_1, λ_2 — даўжыні светлавых хваль у асяроддзях, λ — даўжыня хвалі ў вакууме.

Адсюль вынікае, што **даўжыня светлавой хвалі λ_n** пры пераходзе з аднаго рэчыва ў іншае **змяняецца**.

Даўжыня светлавой хвалі λ_n у рэчыве, абсалютны паказчык праламлення якога n , вызначаецца па формуле:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}. \quad (4)$$

Такім чынам, пры пераходзе святла з аднаго рэчыва ў іншае частата застаецца нязменнай, а змяняецца скорасць распаўсюджвання светлавой хвалі і яе даўжыня.

Белае святло ўяўляе сабой сукупнасць электрамагнітных хваль разнастайных частот бачнага дыяпазону. Хваля адной пэўнай частаты называецца **монахраматычнай** (ад грэч. *μονοσ* (монас) — адзін і *χρoμα* (хрома) — колер, г. зн. аднаколерны).

Як паказалі вынікі шматлікіх эксперыментаў, светлавое адчуванне ў чалавека выклікаюць толькі электрамагнітныя хвалі пэўнага дыяпазону ($4,0 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$) Гц, якому адпавядаюць даўжыні хваль ад $\lambda_1 = 0,76$ мкм да $\lambda_2 = 0,40$ мкм, што ўспрымаюцца вокам чалавека.

Кожнай частаце адпавядае сваё колеравае адчуванне. Так, напрыклад, святло частотой $\nu_1 = 4,0 \cdot 10^{14}$ Гц выклікае адчуванне чырвонага колеру, а $\nu_2 = 7,5 \cdot 10^{14}$ Гц — фіялетавага. Паколькі пры пераходзе святла з аднаго асяроддзя ў іншае частата не змяняецца, то пры гэтым не змяняецца і яго колеравае ўспрыманне.

► Скорасць распаўсюджвання святла ў вакууме абазначаецца лацінскай літарай *c* (ад лац. *celeritas* — скорасць).

У адпаведнасці з рэзалюцыяй на 17-й Генеральнай канферэнцыі па мерах і вагах у 1983 г. прынята новае значэнне метра як адлегласці, якую праходзіць святло ў вакууме за $1/299\,792\,458$ долю секунды.

Вынікі вымярэнняў паказваюць, што 47 % сваёй энергіі Сонца дасылае ў выглядзе інфрачырвоных прамянёў, 44 % энергіі даводзіцца на бачную частку спектра, а астатнія 9 % энергіі сонечнага выпраменьвання — на ультрафіялетавы дыяпазон.



1. Што вывучае оптыка?
2. Што такое святло? Чаму роўна скорасць распаўсюджвання святла ў вакууме?
3. Што характарызуе абсалютны паказчык праламлення рэчыва?
4. Як змяняюцца частата, скорасць распаўсюджвання і даўжыня хвалі святла пры пераходзе святла з аднаго асяроддзя ў іншае?
5. Электрамагнітныя хвалі якога частотнага дыяпазону выклікаюць зрокавае колеравае адчуванне ў чалавека?
6. Якое выпраменьванне называецца монахраматычным?

Прыклад рашэння задачы

Монахраматычнае святло з даўжынёй хвалі $\lambda_0 = 550$ нм пераходзіць са шкла ў паветра. Вызначыце, на колькі $\Delta\lambda$ пры гэтым павялічваецца даўжыня хвалі святла, калі абсалютны паказчык праламлення шкла

роўны $n = 1,40$. Знайдзіце скорасць v распаўсюджвання святла ў шкле, калі скорасць распаўсюджвання святла ў паветры $c = 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Дадзена:

$$\lambda_0 = 550 \text{ нм} = 5,50 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$n = 1,40$$

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\Delta\lambda - ? \quad v - ?$$

Рашэнне

Улічыўшы, што частата святла не змяняецца пры пераходзе з аднаго асяроддзя ў іншае, запішам:

$$\lambda_0 = \frac{v}{\nu}, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (2)$$

дзе v — скорасць святла ў шкле, λ — даўжыня хвалі святла ў паветры. З суадносін (1) і (2) вынікае:

$$\lambda = \frac{c}{v} \lambda_0.$$

Улічыўшы, што $n = \frac{c}{v}$, знойдзем:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{c-v}{v} \lambda_0 = \lambda_0 (n - 1), \quad \Delta\lambda = (1,40 - 1) \cdot 5,50 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 2,20 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

$$v = \frac{c}{n}, \quad v = \frac{c}{n} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1,40} = 2,14 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\text{Адказ: } \Delta\lambda = 0,220 \text{ мкм}, \quad v = 2,14 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Практыкаванне 10

1. Які прамежак часу τ неабходны святлу, каб дайсці ад Сонца да Зямлі, адлегласць паміж якімі $l = 1,48 \cdot 10^8 \text{ км}$?
2. Вызначыце скорасць распаўсюджвання святла v у кварцы, абсалютны паказчык праламлення якога $n = 1,54$.
3. Скорасць распаўсюджвання святла ў вадзе $v_1 = 2,250 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$, а ў шкле — $v_2 = 1,982 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Вызначыце адносіну k паказчыкаў праламлення шкла і вады.
4. Вызначыце прамежак часу τ , за які святло праходзіць адлегласць $l = 450 \text{ км}$ у вадзе, паказчык праламлення якой $n = 1,33$.
5. Назіральнік пачуў гром праз прамежак часу $\tau = 5,0 \text{ с}$ пасля выбліску маланкі. Знайдзіце, на якой адлегласці l ад назіральніка адбыўся навалынічны разрад. Скорасць распаўсюджвання гуку ў паветры $v_{\text{г}} = 3,4 \cdot 10^2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

6. Пры пераходзе святла з вакуума ў некаторае рэчыва даўжыня хвалі паменшылася на 20 %. Вызначыце паказчык праламлення n дадзенага рэчыва.

§ 15. Інтэрферэнцыя святла

- Імпульс цела можна скампенсаваць імпульсам, які мае процілеглы напрамак. А ці можна загасіць святло святлом? Пры якіх умовах два светлавя пучкі пры накладанні адзін на аднаго ўтвораць цёмныя і светлыя палосы? Як ажыццявіць такі эксперымент?



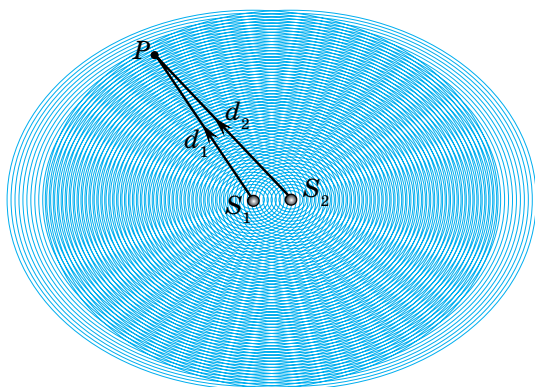
Прынцып суперпазіцыі электрычных палёў: напружанасць $\vec{E}$ электрычнага поля сістэмы кропкавых зарадаў $q_1, q_2, \dots, q_n$ у некаторым пункце прасторы роўна вектарнай суме напружанасцей палёў, якія ствараюцца ў гэтым пункце кожным з гэтых зарадаў паасобку, прычым поле кожнага не залежыць ад палёў іншых:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n.$$

Разгледзім працэс накладання светлавых хваль даўжынёй λ , якія ўзбуджаюцца кропкавымі крыніцамі святла S_1 і S_2 (мал. 83). У тым абсягу, дзе гэтыя хвалі сустракаюцца, адбываецца іх накладанне.

Паколькі светлавя хвалі маюць электрамагнітную прыроду, для іх таксама, як і для электрычных і магнітных палёў, выконваецца прынцып суперпазіцыі (ад лац. *superposition* — дадаванне). Паводле гэтага прынцыпу ваганні, выкліканыя хвалямі, складаюцца такім чынам,

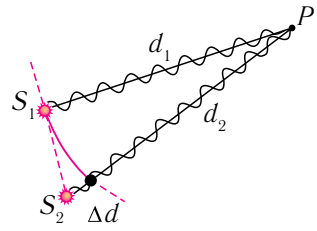
што выніковае электрамагнітнае поле роўна вектарнай суме палёў, створаных кожнай з іх: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$, $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$. Пры гэтым кожная з хваль распаўсюджваецца незалежна ад іншых. У абсягу, дзе хвалі перакрываюцца, узнікае даволі складаная карціна (гл. мал. 84). Аднак, выйшаўшы з гэтага абсягу, хвалі распаўсюджваюцца так, як быццам яны вольна «праходзяць адна скрозь адну» і пры гэтым ніяк не ўзаемадзейнічаюць паміж сабой.



Мал. 83. Працэс накладання кагерэнтных хваль. Светлыя сектары — максімуы, цёмныя — мінімуы

Калі ў пункт P ад манахраматычных крыніц частотой ω прыйшлі дзве хвалі, што прайшлі розныя адлегласці d_1 і d_2 (мал. 84), то рознасць адлегласцей $\Delta d = d_2 - d_1$ называюць *рознасцю ходу*. Паколькі пры рознасці ходу $\Delta d = \lambda$ рознасць фаз $\Delta\varphi = 2\pi$, то можна скласці прапорцыю $\frac{\Delta\varphi}{\Delta d} = \frac{2\pi}{\lambda}$. З гэтай суадносіны знаходзім:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta d}{\lambda}. \quad (1)$$



Мал. 84. Працэс накладання дзвюх кагерэнтных хваль

Такім чынам, рознасць фаз $\Delta\varphi$ вызначаецца рознасцю ходу Δd .

Хвалі аднолькавых частот, рознасць фаз ваганняў якіх у кожным пункце прасторы не змяняецца з цягам часу, называюцца **кагерэнтнымі** (ад лац. *cohaerens* — злучаны, счэплены). Адпаведна, уласцівасць, якая характарызуе ўзгодненасць праходжання ў прасторы і часе некалькіх вагальных ці хвалевых працэсаў, называецца **кагерэнтнасцю**.

Будзем меркаваць, што хвалі, якія прыходзяць, будуць мець у пункце P напружанасці электрычнага поля:

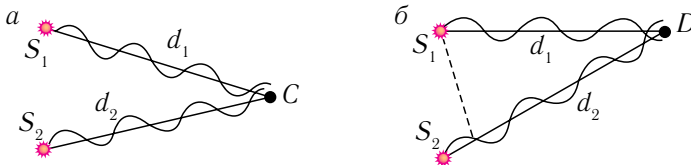
$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{01} \sin(\omega t + \alpha_1), \quad \vec{E}_2 = \vec{E}_{02} \sin(\omega t + \alpha_2), \quad (2)$$

дзе E_{01} , E_{02} — амплітуды, α_1 , α_2 — пачатковыя фазы ваганняў кожнай з хваль у пункце P .

Напружанасць выніковага электрычнага поля згодна з прынцыпам суперпазіцыі ў дадзеным пункце ў любы момант часу роўна вектарнай суме напружанасцей $\vec{E}_1$ і $\vec{E}_2$ кожнай хвалі паасобку:

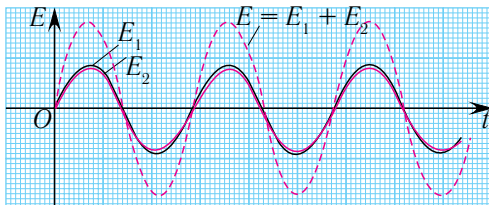
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2. \quad (3)$$

Калі рознасць ходу хваль ад крыніц S_1 і S_2 кратна даўжыні хвалі $\Delta d = m\lambda$, ($m = 0, 1, 2, \dots$), то $\Delta\varphi = 2\pi m$, і ваганні, што ўзбуджаюцца хвалямі ў пункце C (мал. 85, *a*), адбываюцца ў аднолькавай фазе. Пры гэтым грэбень адной хвалі накладваецца на грэбень другой. Адпавед-



Мал. 85. Складанне манахраматычных ваганняў дзвюх хваль:

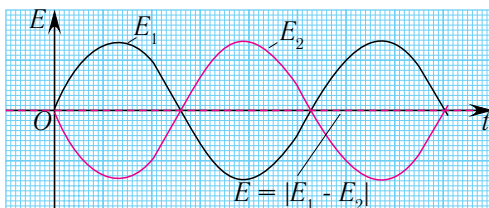
a — максімальная амплітуда ў пункце C ; b — мінімальная амплітуда ў пункце D



Мал. 86. Накладанне хваль, аднолькавых па фазе

наму ліку паўхваль $\Delta d = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$, ($m = 0, 1, 2, \dots$), то $\Delta\varphi = \pi(2m + 1)$, і ваганні адбываюцца ў проціфазе. Пры гэтым грэбень адной хвалі накладваецца на ўпадзіну другой.

Такім чынам, у гэтым выпадку амплітуда выніковага вагання роўна модулю рознасці амплітуд хваль, якія накладваюцца, і аказваецца мінімальнай (мал. 87):



Мал. 87. Накладанне хваль, процілеглых па фазе

дадзены абсяг прасторы. Параметрам, які характарызуе гэту энергію, з'яўляецца інтэнсіўнасць светлавой хвалі, якая абазначаецца лацінскай літарай I .

на, амплітуда выніковага вагання ў пункце C роўна суме амплітуд хваль, якія накладваюцца, і аказваецца максімальнай (мал. 86):

$$E_{\max} = E_1 + E_2. \quad (4)$$

Калі ж рознасць ходу хваль у пункце D (мал. 85, б) роўна няцотнаму ліку паўхваль

$$E_{\min} = |E_1 - E_2|. \quad (5)$$

Заўважым, што ва ўсіх іншых пунктах амплітуда A выніковага вагання мае прамежкавае значэнне

$$E_{\min} \leq E \leq E_{\max}.$$

Прыёмнікі выпраменьвання фіксуюць не саму светлавую хвалю, а энергію, прынесеную хваляй у

► Паводле тэорыі электрамагнетызму інтэнсіўнасць электрамагнітнай хвалі прама прапарцыянальна квадрату амплітуды вектара напружанасці яе электрычнага поля $I \sim \langle E^2 \rangle$. Сімвал $\langle \rangle$ абазначае ўсярэдненне па часе. Аналагічнае ўсярэдненне можна зрабіць і для вектара індукцыі магнітнага поля $\vec{B}$.

Зыходзячы з суадносін (4) і (5), бачна, што $I_{\max} \sim (E_1 + E_2)^2$, $I_{\min} \sim (E_1 - E_2)^2$, г. зн. інтэнсіўнасць выніковай хвалі не роўна суме інтэнсіўнасцей зыходных хваль. Гэта азначае, што хвалі інтэрфэруюць адна з адной.

З прычыны залежнасці рознасці фаз (1) ад пункта назірання ў прасторы атрымліваецца складаная карціна размеркавання інтэнсіўнасці выніковай хвалі. Устойлівае ў часе размеркаванне амплітуд ваганняў у прасторы пры інтэрферэнцыі называецца **інтэрферэнцыйнай карцінай**.

Такім чынам, **інтэрферэнцыя** (ад лац. *inter* — узаемна, паміж сабой і *ferio* — удараю, паражаю) — з’ява ўзнікнення ўстойлівай у часе карціны максімумаў і мінімумаў, што чаргуюцца, амплітуд выніковай хвалі пры складанні дзвюх (або некалькіх) кагерэнтных хваль.

Падкрэслім, што заканамернасці інтэрферэнцыі справядлівыя для хваль любой прыроды (мал. 88) (электрамагнітных, гукавых, хваль на паверхні вады і г. д.), г. зн. носяць універсальны характар.

Пры разгляданні інтэрферэнцыі свята (электрамагнітных хваль) трэба ўлічыць, што даўжыня хвалі свята ў рэчыве змяняецца ў залежнасці ад паказчыку праламлення рэчыва. Калі адна хваля распаўсюджваецца ў рэчыве з паказчыкам праламлення n_1 , а другая — з паказчыкам праламлення n_2 , то рознасць фаз ваганняў:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\delta}{\lambda},$$

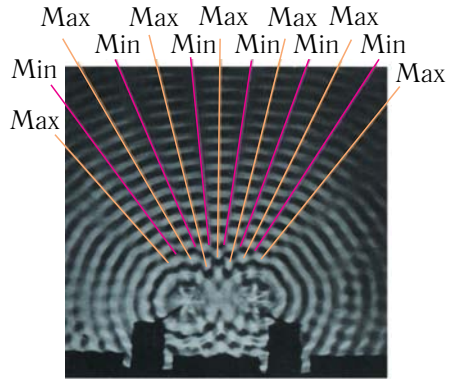
дзе

$$\delta = n_2 d_2 - n_1 d_1 = c \left(\frac{d_2}{v_2} - \frac{d_1}{v_1} \right). \quad (7)$$

Тут δ — **аптычная рознасць ходу** хваль ад крыніц да пункту назірання, а велічыня nd — **аптычная даўжыня шляху**. Гэта велічыня вызначаецца адлегласцямі d_1 і d_2 , пройдзенымі светлавымі хвалямі з улікам іх розных модулей скарасцей v_2 і v_1 распаўсюджвання ў гэтых асяроддзях з паказчыкамі праламлення n_1 і n_2 .

Такім чынам, калі аптычная рознасць ходу (7) роўна цэламу ліку даўжынь хваль у вакууме, то ўмова **максімуму інтэрферэнцыі**:

$$\delta = 2m \frac{\lambda}{2} = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (8)$$



Мал. 88. Інтэрферэнцыйная карціна папярочных хваль на паверхні вады

Хвалі прыходзяць у пункт P (гл. мал. 85) сінфазна, паколькі рознасць фаз у гэтым выпадку кратна 2π :

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} m\lambda = 2\pi m.$$

Калі аптычная рознасць ходу (7) роўна няцотнаму ліку паўхваль, то ўмова мінімуму інтэрферэнцыі:

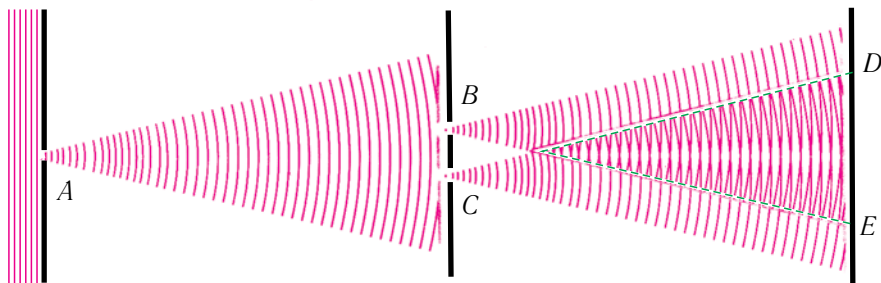
$$\delta = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (9)$$

Хвалі прыходзяць у пункт P у проціфазе, і рознасць фаз ваганняў у гэтым выпадку роўна:

$$\Delta\varphi = (2m + 1)\pi.$$

Для назірання інтэрферэнцыі святла неабходны кагерэнтныя крыніцы, якія выпраменьваюць хвалі з пастаяннай у часе рознасцю фаз. Распаўсюджаныя звычайныя крыніцы святла (лямпы напальвання, лампы дзённага святла, свечкі і г. д.) не з'яўляюцца кагерэнтнымі. Для таго каб можна было назіраць ад іх інтэрферэнцыю святла, святло ад адной і той жа крыніцы неабходна падзяліць на два пучкі і затым звесці іх разам.

Для атрымання інтэрферэнцыйнай карціны карыстаюцца класічнай **інтэрферэнцыйнай схемай (схемай Юнга)**, дзе пучок святла ад невялікай адтуліны A ў экране падзяляецца на два кагерэнтныя пучкі з дапамогай невялікіх адтулін B і C у наступным экране (мал. 89). Паколькі гэтыя пучкі створаны адной і той жа крыніцай A , яны з'яўляюцца кагерэнтнымі. Таму на трэцім экране ў абсягу DE перакрывацца пучкоў назіраецца інтэрферэнцыйная карціна.



Мал. 89. Схема эксперымента Юнга па інтэрферэнцыі святла

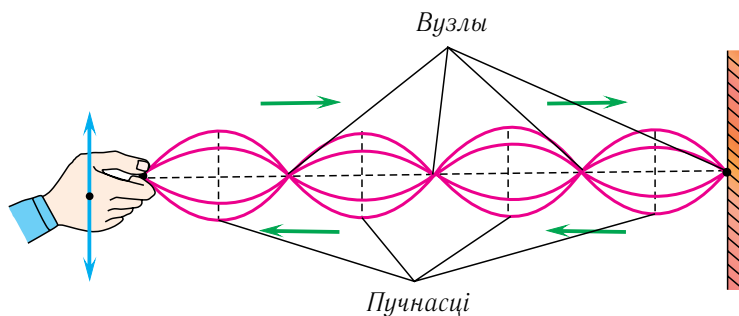
Вынаходства і распаўсюджанне кагерэнтных крыніц выпраменьвання — *лазераў* — зрабіла дэманстрацыю з’явы інтэрферэнцыі досыць прастай.

Найбольш вядомая праява інтэрферэнцыі, з якой мы часта сустракаемся ў паўсядзённым жыцці, — вясёлкавая афарбоўка мыльных бурбалак (мал. 90) ці тонкіх плёнак бензіну (нафты) на вадзе ці асфальце. Вясёлкавыя колеры ўзнікаюць на гэтых плёнках з прычыны інтэрферэнцыі святла, адбітага двюма паверхнямі плёнкі.



Мал. 90. Інтэрферэнцыя святла ў мыльнай бурбалцы

► Англіійскі вучоны Томас Юнг у 1801 г. правёў класічны эксперымент па інтэрферэнцыі святла (гл. мал. 89). Гэта дазволіла яму пераканаўча пацвердзіць хвалеваю прыроду святла і вымераць даўжыню светлавой хвалі. Адзначым яшчэ адзін распаўсюджаны выпадак інтэрферэнцыі — складанне хваль аднолькавай частаты, якія распаўсюджваюцца ў процілеглых напрамках (напрыклад, падаючай і адбітай хваль), што прыводзіць да ўтварэння ў прасторы ўстойлівай карціны чаргавання максімуў амплітуды ваганняў — «пучнасцей» і мінімуў — «вузлоў» (мал. 91). Хваля, якая ўзнікае ў выніку складання двох хваль аднолькавай частаты, што распаўсюджваюцца ў процілеглых напрамках, называецца стаячай хваляй.



Мал. 91. Стаячая хваля

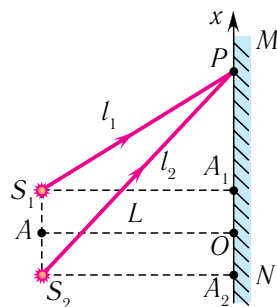
1. Што такое кагерэнтнасць? Якія хвалі называюцца кагерэнтнымі?
2. Што называюць інтэрферэнцыйнай хваляй? Пры якіх умовах адбываецца гэта з’ява?

3. Што называюць рознасцю ходу хваль? Апытнай рознасцю ходу хваль?
4. Запішыце ўмовы ўтварэння інтэрферэнцыйных максімаў і мінімаў. Якой павінна быць апытная рознасць ходу дзвюх хваль, каб іх інтэрферэнцыя прыводзіла да паслаблення (узмацнення) выніковага сігнала?
5. Чаму не ўзнікае інтэрферэнцыйная карціна ад святла дзвюх фар аўтамабіля?
6. Калі дзве хвалі інтэрферыруюць адна з адной, то ці ўплывае адна хваля на распаўсюджванне другой?
7. Чаму мыльная бурбалка на сонцы пераліваецца ўсімі колерамі вясёлкі?
8. Чаму ў тонкім слоі бензіну, які плавае на паверхні вады, узнікаюць вясёлкавыя палосы?



Прыклад рашэння задачы

Вызначыце становішчы максімаў і мінімаў інтэрферэнцыйнай карціны на экране, які знаходзіцца на адлегласці $L = AO = 2,0$ м ад дзвюх аднолькавых кагерэнтных крыніц святла S_1 і S_2 , размешчаных у вакууме на адлегласці $d = 5,0$ мм адна ад адной (мал. 92). Даўжыня хвалі выпраменьвання крыніц $\lambda = 600$ нм. Знайдзіце адлегласць Δx паміж суседнімі максімамі.



Мал. 92

Дадзена:

$$d = 5,0 \text{ мм} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$L = 2,0 \text{ м}$$

$$\lambda = 600 \text{ нм} = 6,00 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Δx — ?

Рашэнне

Да некаторага пункта P на экране кожная з хваль праходзіць розны шлях l_1 і l_2 . Максімум і мінімум будуць назірацца пры выкананні ўмоў, адпаведна:

$$\delta = l_2 - l_1 = m\lambda,$$

$$\delta = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}, \text{ дзе } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

З трохвугольнікаў S_1PA_1 і S_2PA_2 па тэарэме Піфагора знаходзім:

$$l_1^2 = L^2 + \left(x_m - \frac{d}{2}\right)^2, \quad (1)$$

$$l_2^2 = L^2 + \left(x_m + \frac{d}{2}\right)^2, \quad (2)$$

дзе x_m — каардыната пункта P .

Адкуль, адняўшы ад суадносіны (2) суадносіну (1), атрымаем:

$$l_2^2 - l_1^2 = 2x_m d.$$

З улікам таго, што $d \ll L$ і $l_1 + l_2 \approx 2L$, знаходзім:

$$(l_1 + l_2)(l_1 - l_2) \approx 2L(l_1 - l_2) = 2x_m d \Rightarrow l_1 - l_2 = \delta = \frac{x_m d}{L}.$$

З умовы максімуму вынікае:

$$m\lambda = x_{m\max} \frac{d}{L}.$$

Тады адлегласць ад цэнтра экрана да m -й светлай паласы знаходзіцца з суадносіны:

$$x_{m\max} = m\lambda \frac{L}{d}.$$

З умовы для мінімуму знаходзім становішча цёмных палос:

$$(2m + 1) \frac{\lambda}{2} = x_{m\min} \frac{d}{L}.$$

Адкуль

$$x_{m\min} = (2m + 1) \frac{\lambda L}{2d}.$$

Адлегласць паміж суседнімі максімумамі:

$$\Delta x = x_{(m+1)\max} - x_{m\max} = \lambda \frac{L}{d},$$

$$\Delta x = 6,00 \cdot 10^{-7} \text{ м} \cdot \frac{2,0 \text{ м}}{5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

З атрыманай формулы бачна, што адлегласць Δx павялічваецца пры памяншэнні адлегласці d паміж кагерэнтнымі крыніцамі.

Адказ: $x_{m\max} = m\lambda \frac{L}{d}$, $x_{m\min} = (2m + 1) \frac{\lambda L}{2d}$, $\Delta x = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$

Практыкаванне 11

- Што будзе назірацца ў некаторым пункце прасторы ў выніку інтэрферэнцыі дзвюх кагерэнтных хваль даўжынёй хвалі $\lambda = 400 \text{ нм}$, аптычная рознасць ходу якіх $\delta = 2,25 \text{ мкм}$?
- Колькі даўжын хваль N монахраматычнага выпраменьвання частотой $\nu = 800 \text{ МГц}$ змяшчаецца на адрэзку даўжынёй $l = 2,0 \text{ м}$?
- Экран MN асветлены кагерэнтнымі монахраматычнымі крыніцамі S_1 і S_2 (гл. мал. 92), перыяд ваганняў якіх T . Узмацненне ці паслабленне святла будзе назірацца ў пункце P , калі ад крыніцы S_2 святло ў яго прыходзіць пазней на прамежак часу $\tau = 2,5T$, чым ад крыніцы S_1 ? §15-1

