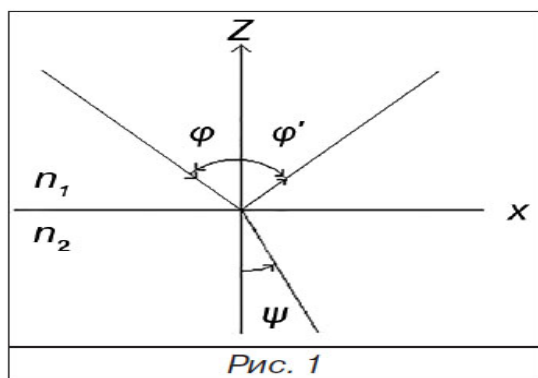


В. А. Одарич

## Молекулярна оптика

**МОЛЕКУЛЯРНА ОПТИКА** – розділ фізичної оптики, де вивчають оптичні явища, що виникають у результаті взаємодії світла з матеріальним середовищем і в головних рисах визначаються молекулярною будовою середовища. У М. о. розглядають явища поглинання, дисперсії, розсіювання, заломлення та відбивання світла, оптич. активності, оптичні явища, пов'язані із дією на середовище магніт. і електрич. полів, ефектів Фарадея, Керра, Коттона–Мутона (див. Магнітооптика) тощо. Заломлення та відбивання світла – явища зміни напрямку поширення світл. хвилі при переході з одного середовища в інше.



На Рис. 1 показано падіння світл. променя на межу поділу двох середовищ. При цьому в першому середовищі з'являється відбитий промінь, а у другому – промінь заломлений. Закон відбивання: падаючий і відбитий промені лежать в одній площині з нормаллю  $z$  до межі поділу в точці падіння (цю площину називають площиною падіння); кут падіння  $\varphi$  дорівнює куту відбивання  $\varphi'$ . Закон заломлення: заломлений промінь лежить у площині падіння, а відношення синуса кута падіння  $\varphi$  до синуса кута заломлення  $\psi$  є величиною сталою, яку називають показником заломлення другого середовища відносно першого

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = \frac{V_2}{V_1} = n_{21}.$$

Явища заломлення та відбивання пояснюють тим, що швидкості поширення хвилі в різних середовищах різні (принцип Гюйгенса). Швидкість поширення хвилі в речовині характеризується показником заломлення. Абсолют. показником заломлення середовища

називають відношення швидкості поширення світла  $c$  у вакуумі до його швидкості поширення  $V$  в даному середовищі  $n = c/V$ . Відбита хвиля поширюється у першому середовищі та має таку ж швидкість, як і падаюча. Звідси випливає рівність кутів падіння і відбивання. В анізотроп. середовищах показник заломлення залежить від поляризації хвилі та її напрямку поширення, тому за певних умов у середовищі спостерігається явище подвій. променезаломлення. Розподіл енергії між заломленою та відбитою хвилею залежить від показників заломлення та кута падіння через формули Френеля. Поглинання світла – явище зменшення інтенсивності світла при проходженні через поглинаюче середовище. Згідно із законом поглинання (закон Бугера) інтенсивність світлової хвилі при проходженні шляху  $d$  в поглинаючому середовищі зменшується за експоненцій. законом  $I = I_0 e^{-\alpha d}$ , де  $I_0$  – інтенсивність світла, що входить у шар речовини,  $I$  – інтенсивність світла після проходження шару товщиною  $d$ ,  $\alpha$  – константа, що називається коефіцієнтом поглинання. Коефіцієнт поглинання залежить від природи речовини, а в розчинах – від її концентрації  $\alpha = A c$ , де  $A$  – новий коефіцієнт, що не залежить від концентрації  $c$  і визначається властивостями молекули поглинаючої речовини (закон Бера).

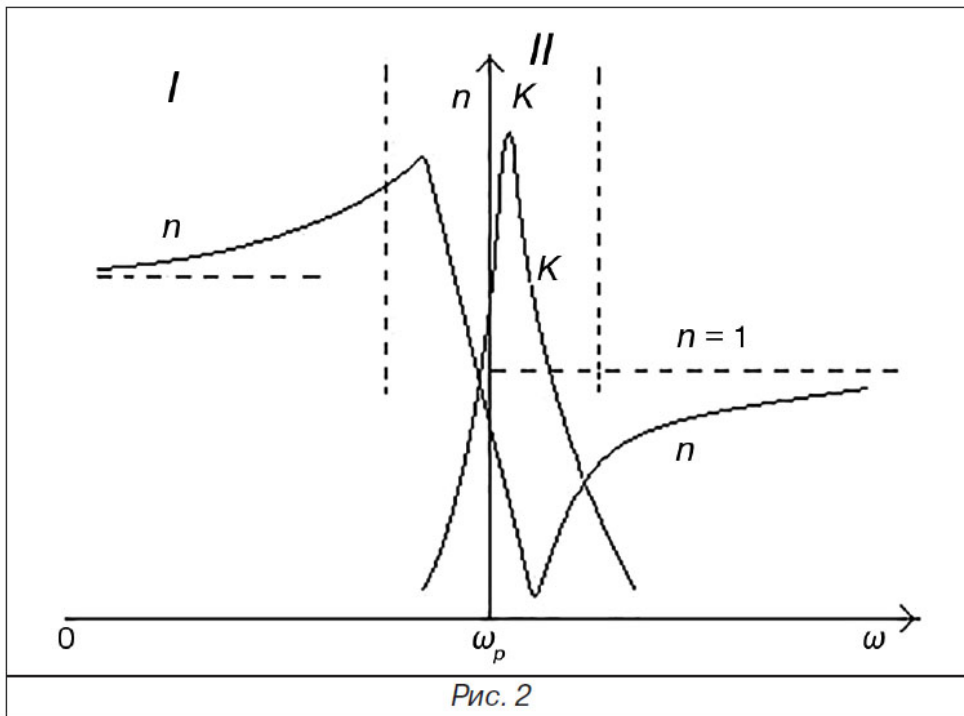
Дисперсія – залежність оптич. характеристик середовища, найчастіше показника заломлення, від частоти світлових коливань. Дисперсія у вузькому сенсі – величина  $\Delta n / \Delta \nu$ , що є мірою залежності показника заломлення від частоти  $\nu$ . Дисперсія показника заломлення є однією з причин дисперсії світла – явища просторового розкладання світла з різними частотами (немонохроматич. світла) на монохроматичні складові. М. о. пояснює дисперсію показника заломлення, а також явища заломлення, відбивання, поглинання взаємодією світл. хвилі з атомами (молекулами) речовини. Молекула речовини складається із кількох важких додатньо заряджених частинок (ядер атомів), навколо яких обертаються від'ємно заряджені легкі частинки – електрони (див. Атом). У нейтрал. молекулах заряди електронів компенсують заряди ядер. У неполяр. молекулах центри додат. (ядер.) і від'єм. (електрон.) зарядів збігаються, і молекули не мають електрич. дипол. моменту. Під дією зовн. електрич. поля електромагніт. (зокрема світл.) хвилі електрони і ядра в неполяр. молекулі зміщуються у протилежні сторони один відносно одного, кожна молекула набирає електрич. дипол. моменту (стає диполем) і речовина в цілому поляризується. Це призводить до виникнення в речовині електрич. поля, спричиненого наведеними диполями, що направлене протилежно тому полю, що цю поляризацію викликало. Результирує поле (макроскопічне поле) відрізняється від зовн. поля завдяки поляризації речовини. Мірою поляризації є діелектрична проникність  $\epsilon$ , що згідно з електромагніт. теорією Максвелла для немагніт. матеріалів зв'язана із показником заломлення  $n$  простим співвідношенням  $\epsilon = n^2$ , причому показник заломлення показує, у скільки разів швидкість поширення світл. хвилі  $V$  у середовищі менша від її швидкості  $c$  у вакуумі  $n = c/V$ .

Отже, світл. електромагнітна хвиля, надходячи із вакууму зі швидкістю  $c$ , проникає у речовину та збуджує вимушені коливання електрич. зарядів у молекулах, що стають

джерелом вторин. хвиль. Вторинні хвилі, складаючись із зовн. хвилею, утворюють у поляризованій речовині заломлену хвилю, що поширюється зі швидкістю  $V$ , а у вакуумі (деполяризація відсутня) – відбиту хвилю, що поширюється зі швидкістю  $c$ . Через різницю швидкостей хвилі у вакуумі та в речовині виникають закономірності відбивання та заломлення, зазначені вище (принцип Гюйгенса). Залежність показника заломлення від частоти в М. о. одержують, розглядаючи рух зв'язаного електрона в електрич. полі світл. хвилі (дією магніт. поля через малу швидкість руху електрона в атомі можна знехтувати). Для визначення залежності показника заломлення від частоти поля в М. о. знаходять зміщення кожної зарядженої частинки відносно положення рівноваги. Це дає можливість обчислити дипол. момент і врешті результуюче макроскопічне поле у речовині, а значить, і показник заломлення. Строге визначення ефектив. зміщення ядер і електронів під дією електрич. сили поля є склад. задачею квант. механіки. Однак із сильним наближенням електрони в молекулі під дією періодич. поля ведуть себе так, наче на них діє квазіпружна сила, що повертає їх у положення рівноваги. Окрім того, враховують гальмівну силу, що пов'язана із втратами енергії колив. електрона на випромінення ним електромагніт. хвилі, на співудари між атомами тощо. У результаті дії усіх цих сил електронна система молекули здійснює вимушені коливання. При розгляді оптич. явищ внутр. електронами, що сильно зв'язані з ядром, можна знехтувати. Тоді в рамках М. о. в наближенні розріджених речовин і у випадку, коли в атомі є лише один зовн. електрон, одержимо вираз для показника заломлення у вигляді

$$n^* = 1 + \frac{1 + 4\pi e^2 N / m}{\omega_p^2 - \omega^2 + 2i\gamma\omega},$$

де  $e$  і  $m$  – відповідно заряд і маса електрона,  $N$  – концентрація молекул,  $\omega$  – частота світла,  $\omega_p$  – частота влас. коливань електрона, що відповідає електрон. переходам між енергетич. рівнями атома,  $\gamma$  – коефіцієнт затухання, пов'язаний із гальмів. силою,  $i$  – уявна одиниця. Права частина рівняння є комплексною через наявність уявної одиниці, що, в свою чергу, з'являється внаслідок гальмування коливань. Тому показник заломлення в лівій частині рівняння також комплексний і розпадається на дійсну та уявну частини згідно із виразом:  $n^* = n + k$ , де  $n$  – дійсна частина (власне показник заломлення, що визначає фазову швидкість світлової хвилі), а  $k$  – показник поглинання (затухання), що визначає втрати світл. енергії при проходженні через поглинаюче середовище. Отже, М. о. встановлює зв'язок властивостей середовища із законом поглинання Бугера. Коефіцієнт поглинання  $\alpha$  в законі Бугера зв'язаний із показником поглинання  $k$  співвідношенням:  $\alpha = 4\pi k / \lambda$ .



На Рис. 2 подано вигляд кривих дисперсії показника заломлення в речовині. Залежність показника заломлення від частоти умовно ділять на дві області. В області I, де практично відсутнє поглинання, показник заломлення зростає із збільшенням частоти. Цю область називають областю нормал. дисперсії. В області II, де стрімко зростає поглинання, показник заломлення спадає і її називають областю аномал. дисперсії. Рефракція речовини – характеристика речовини, що зв'язує її показник заломлення із поляризованістю атомів чи молекул. Залежно від структури речовини розрізняють питому  $R$ , атомну  $R_a$  і молекулярну  $R_m$  рефракції

$$R = \frac{1}{\rho} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}, \quad R_a = \frac{A}{\rho} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2},$$

$$R_m = \frac{M}{\rho} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2},$$

де  $A$  і  $M$  – відповідно атомна і молекулярна маси,  $\rho$  – густина речовини,  $n$  – показник заломлення. Рефракція речовини з'являється при розгляді поведінки атомів чи молекул у зовн. електрич. полі. Зовн. поле в речовині накладається на поле наведених диполів і формує сумарне макроскопічне поле. У розріджених речовинах (напр., газах) саме це поле діє на кожен окрему молекулу чи атом. Але у конденсов. речовинах через малу відстань між молекулами і взаємодію між ними виникає ефект екранування макроскопіч. поля з боку найближ. сусідів. Тому на кожен молекулу (атом) діє мікроскопічне поле, що відрізняється від макроскопічного. Величина мікроскопіч. поля залежить від взаєм. розташування молекул та їх розмірів. Наведені вирази для рефракції справедливі у тому випадку, коли молекули розташовані хаотично (рідини) або у вузлах кубіч. ґратки і їх розмір набагато менший за відстань до розглядуваної молекули. У випадку рефракції склад. речовин

справджується закон адитивності, згідно з яким рефракція речовини в цілому дорівнює сумі рефракцій її складників. Так, напр., питома рефракція розчину дорівнює сумі питомих рефракцій складових, зокрема прямо пропорційна концентрації розчиненої речовини. Питома рефракція не залежить від густини, вона залишається практично сталою при переході речовини із пароподіб. стану у рідину. Молекулярна рефракція сполуки дорівнює сумі атом. рефракцій атомів, з яких складається молекула. Фіз. підґрунтям для виконання закону адитивності є незалежність поляризованості молекул від їх оточення, тобто незмінність конфігурації електрон. оболонки молекули та ін. її характеристик, що визначають поляризованість, при утворенні молекули, при розчиненні тощо.

## Рекомендована література

1. Ландсберг Г. С. Оптика. К., 1961;
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. Москва, 1973;
3. Горбань І. С. Оптика. К., 1979;
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Оптика. Москва, 1980;
5. Білий М. У., Скубенко А. Ф. Загальна фізика. Оптика. К., 1987.

### Бібліографічний опис:

Молекулярна оптика / В. А. Одарич // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2019. – Режим доступу:

<https://esu.com.ua/article-69782>

2001-2024 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України ([докладніше](#)).