



## Дисперсія та число Аббе

Для виробників склоподібних матеріалів, полімерів та пластику

Залежність показника заломлення від довжини хвилі (загальноживана назва – дисперсія) допомагає охарактеризувати прозорі оптичні матеріали. Число Аббе є важливим параметром, який використовується для класифікації цих матеріалів.



### 1 Рефракція всюди навколо нас

Показник заломлення залежить від довжини хвилі світла. Ця залежність називається дисперсією. Дисперсія може використовуватися, наприклад, для розкладання білого світла в спектр кольорів за допомогою призми. Цей спектр кольорів це просто хвилі з різною довжиною, які разом утворюють біле світло. Завдяки дисперсії біле світло розкладається в райдугу, адже різні показники заломлення зумовлюють різні кути заломлення при різних довжинах хвиль.

Аналогічно, дисперсія також є причиною хроматичної аберації, яка спостерігається на фотографіях. Цю важливу властивість застосовують для характеристики всіх видів оптичних деталей.



Рис. 1 Райдуга спостерігається у зв'язку із тим, що біле світло заломлюється та розкладається у спектр кольорів.

Швидкість світла є різною при різних довжинах хвиль. Чим меншою є довжина хвилі, тим меншою є її швидкість. Тому синє світло, яке характеризується меншою довжиною хвилі, заломлюється сильніше, ніж червоне світло (із більшою довжиною хвилі). Це означає, що кожен матеріал при різних довжинах хвиль матиме різні значення показника заломлення.

У зв'язку дисперсією біле світло, яке заломлюється, наприклад, на лінзі, розкладається в спектр («призматичний ефект», або «ефект райдуги»). Цей ефект спричинено варіацією показника заломлення при зміні довжини хвилі.

Зменшення показника заломлення середовища із збільшенням довжини хвилі називають *нормальною дисперсією*. Якщо показник заломлення збільшується пропорційно довжині хвилі, то така дисперсія є *аномальною дисперсією*.

Дисперсія світла призводить до небажаної хроматичної аберації в оптичних лінзах і, як результат, веде до розмиття зображення або «кольорової окантовки».

Для повного опису явища дисперсії матеріалу потрібно розглянути залежність його показника заломлення  $n$  від довжини хвилі  $\lambda$  ( $n_\lambda$ ) (Рис. 1).

Для прозорих матеріалів більш ніж достатньо описувати дисперсію у видимому діапазоні довжин хвиль як різницю між показниками заломлення при двох різних довжинах хвиль: 486.13 нм (nF) та 656.27 нм (nC). Вираз nF-nC називається середньою дисперсією.

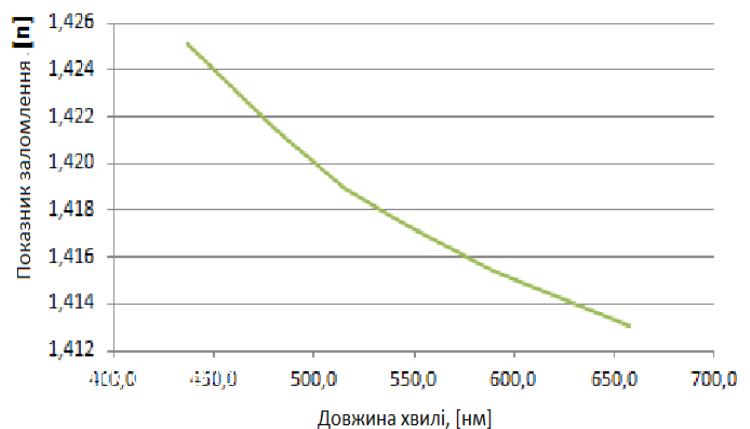


Рис. 2 Залежність показника заломлення від довжини хвилі для твердого прозорого склоподібного зразка.



Однак, існує міжнародна класифікація скла, заснована United States Military Standard, MIL-STD, MIL-SPEC Системою стандартів міністерства оборони США (*United States Military Standard, MIL-STD, MIL-SPEC*) MIL-G-174. Це шестизначний номер індивідуально для кожного типу скла відповідно до його показника заломлення  $n_d$  та числа Аббе  $v_d$  при d-лінії Фраунгофера.

Код скла складається з трьох перших цифр  $n_d - 1$ , після яких стоять три перші цифри числа Аббе, при цьому те, що стоїть до коми не враховується. Наприклад, для BK7  $n_d = 1.5168$  та  $v_d = 64.17$ , отже, шестизначний код буде таким 517642.

## 2 Застосування

Прозорі матеріали – це матеріали, які використовуються в оптиці, адже не поглинають у видимому діапазоні, наприклад:

- Лінзи або системи лінз, в яких хроматична аберація мінімізована. Ці лінзи можуть бути рідкими кристалами та рідкими лінзами, лінзами для покращення зору, які виготовляють із пластику чи скла, сонцезахисні окуляри, контактні лінзи, тощо.
- Побутове оптичне обладнання, таке як цифрова камера, мобільний телефон із вбудованою камерою. Великого попиту набув пластик, адже він дешевий, та має хороші оптичні властивості.
- Оптичне волокно. Полімерне оптичне волокно використовується у багатьох галузях. Окрім телекомунікаційної галузі, його використовують ще й у виробництві побутових речей, автомобільній галузі, розважальному секторі.
- Рідка імерсійна олія використовується для мікроскопів та інших аналогічних приладів.
- Дорогоцінні камені, в яких явище дисперсії світла часто називають «вогнем» у камені. Чим більшою є дисперсія, тим більше цей вогонь.
- Оптичні полімери, наприклад, для композитних лінзових смол.
- Матеріали для декорацій, наприклад, акрилове скло, полікарбонати чи циклоолефіни олігомери. Окрім інших факторів, показник заломлення та число Аббе цих матеріалів роблять вклад у їхній естетичний вигляд. Пластики, у яких nD приймає значення від 1.5 до 1.6 (при 25°C) а число Аббе - від 50 до 60, зазвичай знаходять більше застосування.
- Оптичні покриття для регулювання розподілу світла, тобто, анти-відблискуючі поверхні, антирайдужні, з малим відбиванням та інтерференцією.
- Оптичний клей.

## 3 Заходи безпеки

Цей метод не містить жодних інструкцій щодо заходів безпеки. Відповідальність щодо відповідних заходів з

метою збереження здоров'я, безпечного використання методу та визначення меж застосування перед його використанням, повністю лежить на користувачеві..

## 4 Обладнання

Рекомендується використовувати рефрактометр Abbemat WR-MW, який проводить вимірювання у діапазоні 1.3 – 1.72 nD, так як очікуване значення показника заломлення потрапляє у вказаний діапазон. Для твердих зразків, а також пластикових плівок, додатково потрібно використовувати затискач. Затискач забезпечує компланарну орієнтацію зразка на призмі, навіть якщо зразок є гнучким, наприклад, у випадку тонких пластикових плівок.



Рис. 4 Рефрактометр Abbemat MW виробництва компанії Anton Paar досконалий для визначення числа Аббе показника заломлення при різних довжинах хвиль.

## 5 Реагенти

Для твердих зразків потрібно використовувати контактні рідини, які не впливають (не розм'якшують, не розчиняють, не поглинають, тощо) на поверхню матеріалу протягом двох годин вимірювань. Показник заломлення контактних рідин має бути більшим (принаймні на 0.01), ніж показник заломлення зразка. Іноді, замість контактної рідини можна використовувати затискач зразка, який безпосередньо притискає зразок до призми. Для того, щоб отримати інформацію про анізотропію (різна орієнтація зразка призводить до різних значень показника заломлення через особливості будови полімеру), зразок вимірюють при різних орієнтаціях.

## 6 Методика проведення вимірювань

### 6.1 Вимірювання рідин

- Виберіть температуру вимірювання, наприклад, 20.00 °C.
- Виберіть шкалу показника заломлення.
- Ретельно почистіть вимірювальну призму. Нанесіть декілька крапель зразка на призму

- рефрактометра Abbemat.
- Виберіть потрібну довжину хвилі, наприклад, 486 нм ( $n_F$ ).
- Зачекайте поки показники стабілізуються.
- Зніміть показники.
- Перейдіть до наступної довжини хвилі, наприклад, 656 нм ( $n_C$ ).
- Зачекайте поки показники стабілізуються
- Зніміть показники.
- Розрахуйте дисперсію.
- Перейдіть до наступної довжини хвилі, наприклад, 589 нм ( $n_D$ ).
- Зачекайте поки показники стабілізуються
- Зніміть показники.
- Розрахуйте число Аббе  $v_D$  згідно формули наведеної вище
- Якщо потрібно визначити  $v_d$  чи  $v_e$ , виберіть відповідні довжини хвиль.
- Перейдіть до наступної довжини хвилі, наприклад, 656 нм ( $n_C$ ).
- Зачекайте поки показники стабілізуються
- Зніміть показники.
- Розрахуйте дисперсію.
- Перейдіть до наступної довжини хвилі, наприклад, 589 нм ( $n_D$ ).
- Зачекайте поки показники стабілізуються
- Зніміть показники.
- Розрахуйте число Аббе  $v_D$  згідно з формулою, наведеною вище
- Якщо потрібно визначити  $v_d$  чи  $v_e$ , виберіть відповідні довжини хвиль.
- Ослабьте затискач зразка, повернувши його проти часової стрілки
- Відкрийте навісний клапан.
- Видаліть зразок. Зразок може приклеюватися до вимірювальної призми завдяки контактній рідині. Видаляти досліджувану речовину треба посовуючи зразок із сторони у сторону, не потрібно витягувати його прямо вгору.

### 7 Зразки у твердому стані

Форма тестових зразків повинна відповідати вимірювальній призмі рефрактометра Abbemat. Ідеальна форма – диск, діаметром 8 мм та товщиною, принаймні, 1 мм.

Поверхня, що контактує з призмою, повинна бути рівною і добре полірованою

Використовуйте коректні контактні рідини, наприклад, монобромнафталін ( $n_D=1.65796$ ).

- Виберіть температуру вимірювання, наприклад, 20.00 °C.
- Виберіть шкалу показника заломлення.
- Ретельно почистіть вимірювальну призму
- Нанесіть декілька крапель контактної рідини на призму, або на твердий зразок (залежно від того, куди легше наносити контактну рідину).
- Покладіть зразок відполірованою поверхнею на вимірювальну призму. Намагайтесь уникнути бульбашок повітря між призмою, контактною рідиною та зразком. Цього можна досягнути, якщо використовувати пінцет, щоб обережно пересувати зразок із одного положення в інше. Усі бульбашки повітря потрібно видалити. Це можна зробити за допомогою шпателя, притиснувши зразок, або рухаючи легенько зразок.
- Закрийте навісний клапан із вмонтованим затискачем.
- Поверніть затискач на скільки це буде необхідним.
- Виберіть необхідну довжину хвилі, наприклад, 486 нм ( $n_F$ ).
- Зачекайте поки показники стабілізуються.
- Зніміть показники.

#### Примітки:

У зв'язку з анізотропією, необхідно проводити дещо більше вимірювань для досліджуваної речовини, пересуваючи його з однієї сторони в іншу так, щоб він залишався у контакті з призмою, або проводити вимірювання паралельно чи перпендикулярно формуванню тиску чи потоку. Процедуру потрібно повторити достатню кількість разів для того, щоб визначити діапазон показників заломлення. Середнє значення та діапазон отриманих значень показника заломлення потрібно контролювати, щоб відхилення від середнього значення не перевищувало точності вимірювань.

Необхідно провести низку вимірювань, щоб ознайомитись з методикою вимірювання твердих зразків, а також для вивчення досяжної відтворюваності та ін.

#### Обмеження

Вимірювання можна проводити для прозорих чистих зразків, які не абсорбують.

Деякі матеріали, наприклад, кремнієве скло, має показник заломлення  $n_D > 1.72$ , тому вимірювання для нього не можна проводити за допомогою рефрактометра Abbemat WR-MW.

Точність вимірювань та відтворюваність для твердих матеріалів є нижчою, ніж для рідин у зв'язку із складною



підготовкою та обробкою перших.

## 8 Literature

Standard Test Method for Index of Refraction of Transparent Organic Plastics, ASTM D542-00 (2006).

Optical Glass Catalogue, Abbe-Diagram Graphics, Advanced Optics, Schott AG, Germany.

Technische Optik in der Praxis, Springer Verlag, P. 127ff, ISBN 3-540-21884-X.

Borate glasses : structure, properties, applications, L. D. Pye, V. D. Frechette, N. J. Kreidl; Plenum Press, New York, 1977, ISBN 9780306400162.

Calculation of Abbe's Number for Glasses, [www.glassproperties.com](http://www.glassproperties.com).

Abbe number, Dispersion (optics), [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

Brillenglas-Kompodium, Kenngrößen, Carl Zeiss GmbH, Wetzlar.

Optics and photonics -- Microscopes -- Immersion liquids for light microscopy, ISO 8036:2006

Данна стаття є перекладом на українську оригінальної **статті (Dispersion and Abbe number )** Anton Paar GmbH <https://www.anton-paar.com>)

Переклад Донау ЛАБ УКРАЇНА <http://dlu.com.ua> - ексклюзивного дистриб'ютора продукції Anton Paar GmbH в Україні та Молдові



03028 Україна, м. Київ,  
вул. Стратегічне шосе, 16  
<http://dlu.com.ua>

Тел: +38 (044) 229-15-31

Факс: +38 (044) 229-15-30

e-mail: [sale@dlu.com.ua](mailto:sale@dlu.com.ua)