

Получение релятивистской дисперсионной формулы и практика её применения

Автор: Чернов Андрей Владиславович

Содержание

1. Аннотация – 2 стр.
2. Вступление – 3 стр.
3. Методы – 3- 8 стр.
4. Результаты – 8-9 стр.
5. Заключение – 9 стр.
6. Табл. – 10 стр.
7. Декларация – 11 стр.

Аннотация.

Целью этого научного исследования было получение новой физической формулы для определения показателей преломления света в зависимости от длины волны, которую можно применять к самому широкому диапазону прозрачных веществ. В основу этого исследования была положена гипотеза о зависимости скорости распространения фотонов внутри вещества от плотности электронных облаков атомов вещества. В процессе исследования на базе релятивистской формулы Эйнштейна эта дисперсионная формула была получена. По новой формуле были рассчитаны 26 показателей преломления света в 5 прозрачных веществах, находящихся в трёх агрегатных состояниях. Сравнение полученных показателей с лабораторными показателями показало высокую точность новой дисперсионной формулы, которая составила $\pm 10^{-7} - 10^{-5}$ в расчётных диапазонах длин волн более 100 нм.

Успешное применение релятивистской формулы к процессам, происходящим на атомном уровне, позволяет под новым углом зрения взглянуть на природу взаимодействия света и вещества.

Ключевые слова. Релятивистская дисперсионная формула, новая дисперсионная формула, эмпирические дисперсионные формулы, формула для определения полной энергии движущегося тела, показатель плотности энергии электронных облаков, расчёт показателей преломления света.

Вступление.

В настоящее время не существует **физических дисперсионных** формул, которые можно применять к широкому диапазону прозрачных веществ. Например, известная физическая формула Лоренца-Лорентца, которая построена на зависимости показателя преломления света **от плотности вещества**, справедлива только для изотропных сред (газы, неполярные жидкости, кубические кристаллы) и не применима для большинства прозрачных веществ. Поэтому на практике для расчёта показателей преломления света используют **эмпирические дисперсионные** формулы (Коши, Гартмана, Вальдмана и др.). Эти формулы дают достаточно точные результаты, но при этом они не являются **физическими** формулами.

Методы.

Начнём с хорошо известной формулы, где показатель преломления света в прозрачном веществе $n = c/v$, где c – **скорость света в вакууме**, v – **скорость света в веществе**.

В этой работе высказывается гипотеза, что скорость распространения v_γ фотонов в прозрачном веществе зависит от энергии электронных облаков Q_e атомов вещества: чем больше плотность электронных облаков, тем меньше скорость фотонов и наоборот. При этом, чем больше энергия поступающих в вещество фотонов, тем больше «уплотняются» этой

энергией электронные облака атомов вещества. Вследствие этого обстоятельства электромагнитные волны, имеющие разную длину волны, в одном и том же прозрачном веществе распространяются с разной скоростью. Таким образом, между плотностью энергии Q_e электронных облаков атомов вещества и скоростью распространения v_γ фотонов в веществе существует обратная зависимость. Для определения этой зависимости и последующего получения дисперсионной формулы используем в этом исследовании релятивистскую формулу Эйнштейна для определения полной энергии движущегося тела:

$$E_{\text{полн.}} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{или} \quad E_{\text{полн.}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1-1)$$

где $E_{\text{полн.}}$ – полная энергия движущегося тела.

E_0 – энергия покоящегося тела.

v – скорость тела.

Преобразуем формулу (1-1) и в результате получим:

$$v = c \sqrt{1 - \frac{E_0^2}{E_{\text{полн.}}^2}} \quad \text{или} \quad v = c \sqrt{1 - Q_b^2} \quad (1-2)$$

где Q_b – показатель отношения энергии покоящегося тела к полной энергии движущегося тела. При этом $0 < Q_b < 1$.

Теперь применим формулу (1-2) к скорости распространения фотонов в прозрачном веществе:

$$v_\gamma = c \sqrt{1 - Q_e^2} \quad (1-3)$$

где v_γ – скорость распространения фотонов в электронных облаках атомов вещества.

Q_e – безразмерный показатель плотности энергии электронных облаков прозрачного вещества, $0 < Q_e < 1$.

Преобразуем формулу (1-3) и получим:

$$\frac{c}{v_\gamma} = \frac{1}{\sqrt{1-Q_e^2}} \quad \text{или} \quad n = \frac{1}{\sqrt{1-Q_e^2}} \quad (1-4)$$

где n – показатель преломления света в веществе ($n = c/v_\gamma$).

Раскроем значение Q_e в формуле (1-4):

$$n = \frac{1}{\sqrt{1-(Q_0+\Delta Q_\lambda)^2}} \quad (1-5)$$

где Q_0 – безразмерный базовый показатель плотности энергии электронных облаков вещества.

ΔQ_λ – безразмерный показатель увеличения плотности энергии электронных облаков.

Показатель Q_0 является постоянной величиной (при постоянной температуре и давлении). Показатель ΔQ_λ напротив, является переменной величиной. Он зависит от энергии электромагнитной волны, где $e = h\gamma = hc/\lambda$. Отсюда получим формулу:

$$n = \frac{1}{\sqrt{1-(Q_0+k_\gamma hc/\lambda)^2}} \quad (1-6)$$

где k_γ – коэффициент пропорциональности, Дж⁻¹.

Заменим в формуле (1-6) выражение $k_{\gamma} h c$ на единый коэффициент k_{λ} . В результате получим новую дисперсионную формулу:

$$n = \frac{1}{\sqrt{1-(Q_0+k_{\lambda}/\lambda)^2}} \quad (1-7)$$

Где k_{λ} – коэффициент пропорциональности, нм.

λ – длина волны, нм.

Коэффициент k_{λ} является индивидуальным для каждого вещества и зависит от поглощения атомами электромагнитных волн. Он относительно стабилен в видимом диапазоне спектра электромагнитных волн. Но в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах коэффициент k_{λ} может существенно изменять свою величину, вследствие изменения поглощения электромагнитных волн веществом. По этой причине, согласно ф. (1-7), может резко меняться величина показателя преломления n вплоть до принятия аномальных значений. Это обстоятельство вносит ограничение на использование формулы (1-7) в этих диапазонах волн.

Проверим точность новой дисперсионной формулы. В таблице 1 представлены 39 лабораторных показателей преломления света в видимом диапазоне спектра в пяти прозрачных веществах. Жирным шрифтом выделены 13 условно известных показателей преломления света, обычным шрифтом – 26 условно неизвестных показателей, которые надо определить по новой формуле, зная длину волны. (Все эти показатели преломления являются общеизвестными и широкодоступны в интернете). В первом столбце таблицы находятся базовые показатели Q_0 по каждому веществу

(они определялись через решение системы уравнений и последующим подбором оптимальной величины Q_0). Жирным шрифтом в таблице выделены показатели k_λ , которые были вычислены по формуле $k_{1,2} = \lambda_n (Q - Q_0)$ или $k_{1,2} = \lambda_n \left(\sqrt{\frac{n^2-1}{n^2}} - Q_0 \right)$ (1-8). Эти коэффициенты будут использованы при интерполировании. Как видно из таблицы, для инертного газа количество таких коэффициентов составило единицу на весь диапазон волн, для остальных веществ – 3. (Это связано с разными амплитудами колебаний величины коэффициентов пропорциональности в этих веществах). По формуле $k_\lambda = \frac{k_1(\lambda_n - \lambda_2) + k_2(\lambda_1 - \lambda_n)}{(\lambda_1 - \lambda_2)}$ (1-9) были вычислены коэффициенты k_λ (они представлены в таблице обычным шрифтом) и затем по формуле (1-7) вычислены показатели преломления света.

После этого было произведено округление рассчитанных показателей, которое производилось в соответствии с числом цифр после запятой в лабораторных показателях преломления. Поэтому для инертного газа показатели преломления света округлялись до 7 знака после запятой, для воды – до 5 знака, для твёрдых веществ – до 4 знака. Надо заметить, что в тех случаях, когда округление чисел привело к полному совпадению показателей преломления, то точность принималась на один порядок больше, чем у остальных показателей преломления. Так, например, в стекле после округления полностью совпали два показателя преломления для длины волны 670,8 и 643,8 нм. Точность здесь была принята, как 10^{-6} . То

есть на порядок больше, чем по остальным показателям преломления в стекле, где точность составила 10^{-5} . Этот метод был применен к остальным показателям в других веществах. (Такой подход наиболее правильный, потому что известные лабораторные показатели после их получения экспериментальным путём тоже были округлены до определенного знака). Отсюда следует, что при сравнении показателей преломления должно соблюдаться равенство запятых после нуля, потому что в противном случае могут безосновательно возрасти или наоборот, уменьшиться показатели точности расчётов.

После округления рассчитанных показателей, было произведено их сравнение с лабораторными показателями преломления и определено расхождение между ними. Результаты были занесены в таблицу.

Результаты.

В таблице 1 представлены 26 вычисленных по новой физической формуле показателей преломления света в 5 прозрачных веществах.

Сравнение вычисленных по формуле показателей с лабораторными показателями показало следующее: **в инертном газе расхождение составило 10^{-7} , в воде и твёрдых веществах $\pm 10^{-6} - 10^{-5}$** . При этом расчётный диапазон электромагнитных волн составлял более **100 нм**.

Для сравнения, наиболее точная эмпирическая формула Гартмана имеет **четыре** константы и показывает точность $\pm 10^{-6} - 10^{-5}$ на участках диапазонов волн, которые **не превышают несколько десятков нм**.

Если сравнить новую дисперсионную формулу с физической формулой Лоренца-Лорентца, то преимущество новой формулы очевидно. Это высокая точность и гораздо более широкий диапазон действия среди прозрачных веществ, который равен диапазону известных эмпирических формул.

Заключение.

В этом исследовании на основе релятивистской формулы Эйнштейна была получена новая дисперсионная формула с точностью $\pm 10^{-7} - 10^{-5}$ в пределах волнового диапазона **100 нм**. Вследствие высокой точности и универсальности новую физическую формулу можно применять для определения показателей преломления света практически ко всем прозрачным веществам, что раньше выполняли только эмпирические формулы.

Сам факт возможности применения релятивистской формулы к физическим процессам, происходящим на атомном уровне, позволяет под новым углом зрения взглянуть на природу взаимодействия света и вещества.

Табл. 1

| | λ nm | k_λ nm | Calculated refractive index | Laboratory refractive index | Divergence |
|---|-----------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Krypton $Q_0 = 0,0228741$ | 450,4 | | 1,0002750 | 1,0002752 | 10^{-7} |
| | 556,4 | 0,2573906 | - | 1,0002724 | |
| | 565,1 | | 1,0002723 | 1,0002722 | |
| | 587,3 | | 1,0002719 | 1,0002719 | |
| | 605,8 | | 1,0002715 | 1,0002716 | |
| | 645,8 | | 1,0002709 | 1,0002711 | |
| Water $Q_0 = 0,648752$ t= 20 °C | 447,1 | 7,3594178 | 1,33931 | 1,33942 | $10^{-6} - 10^{-5}$ |
| | 471,3 | 7,3504891 | - | 1,33793 | |
| | 486,1 | 7,3450358 | 1,33716 | 1,33712 | |
| | 501,6 | 7,3393246 | 1,33640 | 1,33635 | |
| | 546,1 | 7,322928 | - | 1,33447 | |
| | 577,0 | 7,3469439 | 1,33342 | 1,33338 | |
| | 587,6 | 7,3551824 | 1,33308 | 1,33304 | |
| | 656,3 | 7,4085769 | - | 1,33115 | |
| | 670,8 | 7,419 8465 | 1,33080 | 1,33080 | |
| Sylvin $Q_0 = 0,727035$ t= 18 °C | 480,0 | 8,5850021 | 1,4989 | 1,4990 | $10^{-6} - 10^{-5}$ |
| | 486,1 | 8,5766026 | - | 1,4983 | |
| | 508,6 | 8,5456209 | 1,4962 | 1,4961 | |
| | 546,1 | 8,4939848 | - | 1,4931 | |
| | 589,3 | 8,5471312 | 1,4905 | 1,4904 | |
| | 643,8 | 8,6141794 | 1,4876 | 1,4877 | |
| | 656,3 | 8,6295574 | - | 1,4872 | |
| Light crown glass $Q_0 = 0,741579$ t=15 °C | 480,0 | 6,1563048 | 1,5234 | 1,5235 | $10^{-6} - 10^{-5}$ |
| | 486,1 | 6,1545121 | - | 1,5230 | |
| | 546,1 | 6,1372274 | 1,5192 | 1,5191 | |
| | 589,3 | 6,1241824 | - | 1,5170 | |
| | 643,8 | 6,1806235 | 1,5149 | 1,5149 | |
| | 656,3 | 6,1935687 | - | 1,5145 | |
| Rock salt $Q_0 = 0,747572$ t=18 °C | 480,0 | 8,5940181 | 1,5541 | 1,5541 | $10^{-6} - 10^{-5}$ |
| | 486,1 | 8,5867621 | - | 1,5534 | |
| | 508,6 | 8,5599976 | 1,5510 | 1,5509 | |
| | 546,1 | 8,5153919 | - | 1,5475 | |
| | 589,3 | 8,5653435 | 1,5445 | 1,5443 | |
| | 643,8 | 8,6283611 | 1,5413 | 1,5412 | |
| | 656,3 | 8,6428147 | - | 1,5407 | |
| | 670,8 | 8,6360523 | 1,5399 | 1,5400 | |

Декларация

1. Автор исследования: Андрей Чернов.
2. Исследование опубликовано на платформе «Research Square Preprint Platform» на английском языке.
<https://www.researchsquare.com/article/rs-590186/v4>
3. Цель публикации на этой платформе: донести информацию до русскоязычной аудитории.