

**Релятивистский эффект внутри вещества. Получение и
применение новой дисперсионной формулы. Научные
результаты.**

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. Ссылки – 10 стр.
7. Декларация – 10 стр.

1. Аннотация.

Целью этого исследования было получение новой дисперсионной формулы. Предпосылкой этому явились внешнее сходство таких физических процессов, как преломление света в прозрачном веществе и его отклонение в гравитационном поле космических тел. Поэтому в основу получения дисперсионной формулы была положена релятивистская формула Эйнштейна для определения полной энергии движущегося тела. После проведённых преобразований из этой формулы была получена новая дисперсионная формула. Этую формулу можно применять к такому же широкому кругу прозрачных веществ, как эмпирические формулы Гартмана, Коши и др.

По новой формуле были определены 41 показатель преломления света в 12 прозрачных веществах, находящихся в трёх агрегатных состояниях. Сравнение полученных показателей с лабораторными показателями преломления света показало высокую точность дисперсионной формулы, которая составила $\pm 10^{-6} - \textcolor{red}{10}^{-5}$ в расчётных участках диапазонов волн в среднем **80-90 нм**.

Ключевые слова. Новая дисперсионная формула, формула для определения полной энергии движущегося тела, показатель плотности электронных облаков, расчёт показателей преломления света.

2. Вступление.

Прежде, чем перейти к исследованию, приведём краткую информацию о существующих в настоящее время дисперсионных формулах. Эти формулы можно разбить на два вида: физические и эмпирические формулы. При этом область применения физических формул существенно ограничена. К примеру, 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 обычно используют эмпирические дисперсионные формулы. Эти формулы применяются к широкому кругу прозрачных веществ и дают достаточно точные результаты. Например, наиболее точная эмпирическая формула Гартмана определяет показатели преломления света с точностью $\pm 10^{-6} - \textcolor{red}{\pm} 10^{-5}$ для расчётных участков диапазонов волн в несколько десятков нанометров.

3. Методы.

В этом исследовании высказывается предположение, что скорость распространения v_γ фотонов в прозрачном веществе зависит от плотности электронных облаков Q_e в прозрачном веществе: 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 Q_e электронных облаков вещества и скоростью распространения v_γ фотонов в веществе существует обратная зависимость. Для нахождения этой зависимости используем релятивистскую формулу Эйнштейна для определения полной энергии движущегося тела:

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

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

E_0 – энергия покоящегося тела.

v – скорость тела.

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

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

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 электронных облаках вещества:

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

где v_γ – скорость распространения фотонов в электронных облаках вещества. Q_e – безразмерный показатель плотности электронных облаков вещества, $0 < Q_e < 1$.

Преобразуем формулу (1-3) и получим: $\frac{c}{v_\gamma} = \frac{1}{\sqrt{1 - Q_e^2}}$

В этой формуле выражение c/v_γ является показателем преломления света в веществе $n = c/v$ (где c – скорость света в вакууме, v – скорость света в веществе). Отсюда получим формулу:

$$n = \frac{1}{\sqrt{1 - Q_e^2}} \quad (1-4)$$

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

Раскроем значение Q_e в формуле (1-4):

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

где Q_0 – безразмерный базовый показатель плотности электронных облаков. ΔQ_λ – безразмерный показатель увеличения плотности 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 $e = h\nu = hc/\lambda$. Отсюда получим формулу:

$$n = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{Q_0}{k_\lambda e}}} \quad (1-6)$$

где k_λ – коэффициент пропорциональности, Дж^{-1} .

e – энергия электромагнитной волны, Дж .

Заменим в формуле (1-6) выражение $k_\lambda h c$ на единый коэффициент k_λ . В результате получим 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), величина показателя преломления n может резко меняться, вплоть до принятия аномальных значений. Это обстоятельство вносит ограничение на использование формулы (1-7) в этих диапазонах волн.

Протестируем полученную формулу. В таблице 1 представлены лабораторные показатели преломления света в видимом диапазоне в 12 прозрачных веществах, находящихся в трёх агрегатных состояниях (Все показатели преломления проверены и находятся в широком доступе. Дополнительно к статье приложены ссылки на источники в интернете).

Табл.1

	λ нм	k_λ нм	Calculated refractive index	Laboratory refractive index	Divergence
Krypton $Q_0 = 0,0228285$	450,4		1,0002752	1,0002752	10^{-7}
	556,4	0,2827625	-	1,0002724	
	565,1		1,0002722	1,0002722	
	587,3		1,0002718	1,0002719	
	605,8		1,0002715	1,0002716	
	645,8		1,0002708	1,0002711	
Water $Q_0 = 0,649184$ $t = 20^\circ C$	447,1	7,197 863	-	1,33942	$10^{-6} - 10^{-5}$
	471,3	7,151 601	1,33795	1,33793	
	486,1	7,123 309	-	1,33712	
	501,6	7,114 003	1,33637	1,33635	
	546,1	7,087 286	-	1,33447	
	577,0	7,097 803	1,33341	1,33338	
	587,6	7,101 769	1,33307	1,33304	
	656,3	7,124 793	-	1,33115	
	670,8	7,129 728	1,33080	1,33080	

	706,5	7,141 879	1,32999	1,33002	
Trimethylpentane $Q_0 = \textcolor{red}{0,687760}$ t= 20 °C	486,1	4,960 651	-	1,39639	10^{-5}
	501,6	4,877 871	1,39547	1,39544	
	546,1	4,640 212	-	1,39316	
	589,3	4,497 612	1,39153	1,39145	
	656,3	4,276 451	-	1,38945	
Methylelohexan $Q_0 = \textcolor{red}{0,704 742}$ t= 20 °C	486,1	4,556 701	-	1,42847	10^{-5}
	501,6	4,460 476	1,42751	1,42744	
	546,1	4,184 218	-	1,42497	
	589,3	4,009 663	1,42320	1,42312	
	656,3	3,738 941	-	1,42094	
Tolnene $Q_0 = \textcolor{red}{0,724 322}$ t= 20 °C	486,1	11,844 313	-	1,50847	10^{-5}
	501,6	11,800 169	1,50634	1,50620	
	546,1	11,673 434	-	1,50086	
	589,3	11,727 017	1,49718	1,49693	
	656,3	11,810 119	-	1,49243	
Heptane $Q_0 = \textcolor{red}{0,683 582}$ t= 20 °C	486,1	5,967 364	-	1,39241	10^{-5}
	501,6	5,923 033	1,39153	1,39149	
	546,1	5,795 759	-	1,38930	
	589,3	5,756 92	1,38773	1,38764	
	656,3	5,696 684	-	1,38572	
Sylvin $Q_0 = \textcolor{red}{0,727638}$ t= 18 °C	486,1	8,283 144	-	1,4983	$10^{-6} - \textcolor{red}{10^{-5}}$
	508,6	8,238 743	1,4962	1,4961	
	546,1	8,164 741	-	1,4931	
	589,3	8,191 868	1,4905	1,4904	
	643,8	8,226 091	1,4878	1,4877	
	656,3	8,233 94	-	1,4872	
	670,8	8,243045	1,4866	1,4866	
Light crown glass $Q_0 = \textcolor{red}{0,741579}$ t=15 °C	480,0	6,1563048	1,5234	1,5235	$10^{-6} - \textcolor{red}{10^{-5}}$
	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	
	670,8	6,2085851	1,5140	1,5140	
Rock salt $Q_0 = \textcolor{red}{0,747 682}$ t=18 °C	480,0	8,541 438	1,5541	1,5541	$10^{-6} - \textcolor{red}{10^{-5}}$
	486,1	8,533 486	-	1,5534	
	508,6	8,504 154	1,5510	1,5509	
	546,1	8,455 266	-	1,5475	
	589,3	8,485 05	1,5444	1,5443	
	643,8	8,522 624	-	1,5412	
	656,3	8,554 25	1,5406	1,5407	
Fused quartz $Q_0 = \textcolor{red}{0,718008}$ t=18 °C	670,8	8,590 936	-	1,5400	$10^{-6} - \textcolor{red}{10^{-5}}$
	467,8	5,850681	-	1,46435	
	480,0	5,8377307	1,46356	1,46355	
	486,1	5,8312556	-	1,46318	
	508,6	5,8238666	1,46193	1,46191	
	533,8	5,8155909	-	1,46067	
	546,1	5,82158	1,46014	1,46013	
	589,3	5,8426149	-	1,45845	
	643,8	5,8969853	1,45675	1,45674	
	656,3	5,9094565	-	1,45640	

Fluorite (fluorspar) $Q_0=0,710975$ $t=18^\circ C$	486,1	3,462 004	-	1,4369	$10^{-6} - \textcolor{red}{10}^{-5}$
	508,6	3,421 062	1,4361	1,4362	
	540,1	3,363 743	-	1,4350	
	589,3	3,337 833	1,4338	1,4339	
	643,8	3,309 132	-	1,4327	
	656,3	3,314 376	1,4325	1,4325	
	670,8	3,320 46	-	1,4323	
	486,1	6,626 515	-	1,6678	
Calcareous $Q_0= 0,786\ 674$ $t=18^\circ C$	508,6	6,588 783	1,6653	1,6653	10^{-6}
	546,1	6,525 895	-	1,6616	
	589,3	6,526 03	1,6584	1,6584	
	643,8	6,526 201	-	1,6550	
	656,3	6,540 803	1,6544	1,6544	
	670,8	6,557 741	-	1,6537	

Жирным шрифтом выделены известные показатели преломления света, обычным шрифтом – условно неизвестные показатели, которые надо определить по формуле. В первом столбце таблицы находятся показатели Q_0 по каждому веществу. Эти показатели легко определяются через решение системы уравнений для двух длин волн λ_1, λ_2 , взятых в середине расчётного диапазона:

$$Q_0 = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{n^2}} - \frac{k_\lambda}{\lambda_{1,2}} \quad (\text{ } k_\lambda \text{ принимается постоянной величиной для двух длин}$$

волн).

Жирным шрифтом в таблице выделены опорные показатели k_λ ,

которые были вычислены по формуле: $k_\lambda = \lambda_n \left(\sqrt{\frac{n^2 - 1}{n^2}} - Q_0 \right)$ (1-8). (Как видно из таблицы, для инертного газа количество таких коэффициентов составило единицу на весь диапазон волн, для остальных веществ это количество больше. Это связано с разными амплитудами колебаний величины коэффициентов k_λ в веществах). Дальше по формуле

$$k_\lambda = k_1 \frac{(\lambda_1 n - \lambda_2) + k_2 (\lambda_1 - \lambda_n)}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \quad (1-9) \quad \text{были вычислены коэффициенты } k_\lambda \text{ для}$$

условно неизвестных показателей преломления света (эти коэффициенты представлены в таблице обычным шрифтом). В итоге по формуле (1-7) были вычислены показатели преломления n и занесены в таблицу. После этого

было произведено округление рассчитанных показателей, которое производилось в соответствии с числом цифр после запятой в лабораторных показателях преломления. В тех случаях, когда округление чисел привело к полному совпадению с лабораторными показателями, расхождение принималось 10^{-6} (за исключением инертного газа, где изначально было 7 знаков после запятой).

Необходимо отметить, что весь расчёт показателей преломления света происходит сравнительно быстро: в среднем около 20 минут в зависимости от количества определяемых показателей преломления на весь расчётный диапазон. Для получения точных результатов на диапазон до 200 нм необходимо знать не менее 3 показателей преломления света для жидкостей и твёрдых веществ. Для инертных газов достаточно одного известного показателя преломления на такой диапазон (см. табл.) Больше никаких дополнительных коэффициентов, информационных таблиц и пр. для производства расчётов не требуется. Это выгодно отличает полученную формулу от известных дисперсионных формул.

4. Результаты.

В таблице 1 представлены 12 прозрачных веществ, находящихся в трёх агрегатных состояниях. По новой формуле были определены 41 показатель преломления света. Сравнение полученных показателей с лабораторными показателями показало следующее: **в инертном газе расхождение составило 10^{-7} , в воде и твёрдых веществах $\pm 10^{-6} - \textcolor{red}{10}^{-5}$.** При этом расчётные участки диапазона волн составляли в среднем **80-90 нм** (см. табл. 1).

Для сравнения. Наиболее точная эмпирическая формула Гартмана: $n=n_{\infty}+C/(\lambda-\lambda_0)^a$, определяет показатели преломления света с точностью $\pm 10^{-6} - \textcolor{red}{10}^{-5}$. При этом расчётные участки диапазона волн **не должны превышать несколько десятков нм: $(\lambda-\lambda_0)<30-40 \text{ нм}$.** При превышении этого диапазона **потребуется произвести перерасчёт эмпирических констант**, иначе точность формулы может существенно снизиться.

Если сравнить полученную формулу с физической дисперсионной формулой Лоренца-Лорентца, то преимущество новой формулы очевидны: это высокая точность при гораздо более широком диапазоне действия среди прозрачных веществ.

5. Заключение.

В этом исследовании на основе релятивистской формулы Эйнштейна была получена новая дисперсионная формула с точностью $\pm 10^{-7} - \textcolor{red}{\pm} 10^{-5}$ в расчётных участках диапазона волн в среднем 80 нм.

Новую формулу можно применять к такому же широкому кругу прозрачных веществ, как эмпирические формулы Гартмана, Коши. При этом полученная формулам при такой же точности имеет более широкий расчётный диапазон.

Высокую точность новой дисперсионной формулы можно объяснить тем, что она была получена на базе релятивистской формулы Эйнштейна (1-

1), которая включает в себя фактор Лоренца: $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. По всей видимости,

именно этот фактор явился математической причиной высокой точности полученной формулы. Доказательством этому является тот факт, что в тех веществах, где коэффициент k_λ почти не меняется, там наблюдается практически полное совпадение расчётных и лабораторных показателей преломления света (см. табл.). Следовательно, новая дисперсионная формула максимально полно отражает дисперсию света внутри вещества.

6. Интернет-ссылки показателей преломления.

1. https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/44/jresv44n4p373_A1b.pdf
2. https://dpva.ru/netcat_files/Image/GuidePhysics/light/AbsortonRedjPrel/DPVA_Preloml_Owv.jpg
3. <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/LightAndColor/AbsortonRedjPrel/RefractionDepenceOfwaveLength/>
4. https://mipt.ru/education/chair/physics/S_IV/Opt_man/tables_opt.pdf
5. <https://mydocx.ru/1-44984.html>

6. <https://www.chem21.info/article/704679/>
7. <https://mash-xxl.info/page/187100059091053076075253173048120234101083115007/>

Декларация

1. Автор исследования: Андрей Чернов.
2. Исследование опубликовано на платформе «Research Square Preprint Platform».
<https://www.researchsquare.com/article/rs-590186/v8>
3. Цель публикации на этой платформе: донести информацию до русскоязычной аудитории.