Влияние уровня энергии внешнего электронного слоя атомов на преломление света в веществе. Результаты исследования.

Автор: Чернов Андрей Владиславович

Содержание

1. Аннотация – 2 стр.
2. Методы – 3 – 10 стр.
3. Результаты – 10 –12 стр.
4. Заключение – 12 стр.
5. Справочный раздел – 13-14 стр.
6. Декларация – 14 стр.

1. Аннотация.

В этом исследовании изучалось взаимодействие электромагнитных волн с прозрачными веществами, которое проявляется в виде преломления света. В ходе исследования была получена формула, показывающая зависимость показателя преломления света от энергии внешних электронных слоев атомов вещества. С помощью этой основной формулы было определено количество фотонов, образованных при взаимодействии электромагнитных волн с веществом и занесено в таблицу. При анализе таблицы выяснилось, что количество таких фотонов стабильно и почти не зависит от длины электромагнитных волн. Это позволило получить из основной формулы формулу для определения показателя преломления света на основе энергии фотона. Полученная формула является аналогом дисперсионной формулы. С её помощью был вычислен 44 показателя преломления света. В инертных газах расхождение с лабораторными показателями составило $\pm 10^{-8} - 10^{-7}$, в жидких и твёрдых веществах: $\pm 10^{-6} - 10^{-5}$. При этом расчётные диапазоны волн составляли: в инертных газах 140 нм и 195 нм, в жидких и твёрдых веществах: 60 – 80 нм. Полученную физическую формулу можно применять к такому же широкому кругу прозрачных веществ, как эмпирические формулы Гартмана и Коши. Высокая точность этой формулы подтвердила правильность основной формулы.

В этом исследовании была получена формула предела скорости распространения электромагнитных волн в веществе. По этой формуле были определены 12 пределов скорости распространения электромагнитных волн в прозрачных веществах и занесены в таблицу.

Исследования в этом направлении продолжаются.

Ключевые слова. Взаимодействие света с веществом, преломление света в веществе, электронный слой атома, уровень энергии электронного слоя, количество новых фотонов, новая дисперсионная формула, пределы скорости распространения электромагнитных волн в прозрачных веществах.

2. Методы

2.1. Прежде чем приступить к исследованию, внесём ясность в терминологию, которая будет использоваться в этой статье. Преломление света происходит в результате взаимодействия света (электромагнитных волн) с прозрачными веществами. При этом взаимодействии внешние фотоны поглощаются атомами, а вместо них во внешних электронных слоях атомов образуются новые фотоны. Но структурной единицей прозрачных веществ являются не только атомы, но также молекулы, которые могут состоять из множества атомов и иметь сложную структуру (например, органические вещества). В связи с этим, в этой статье вместо понятия «**внешний электронный слой атомов вещества**», применяется более универсальное понятие: «**внешний электронный слой вещества**».

В этом исследовании ниже будет представлена формула максимальной энергии электронных облаков при распространении света в веществе. Структура этой формулы полностью повторяет структуру известной релятивистской формулы Эйнштейна (формула полной энергии движущегося со скоростью v тела). Вначале приведём формулу Эйнштейна.

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

где E_{total} – полная энергия движущегося тела.

E – энергия покоящегося тела.

v – скорость тела.

c – скорость света в вакууме.

Теперь напишем формулу максимального уровня энергии внешнего электронного слоя вещества.

$$E_{\text{max}} = \frac{E}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad (1-2)$$

где v – скорость распространения электромагнитной волны в веществе.

c – скорость света в вакууме, 299792458 м/с.

$E_{\max}$ – максимальный уровень энергии внешнего электронного слоя (в любом веществе). $E_{\max}$ постоянная величина, которая равна энергии свободного электрона: $m_e c^2 = 8,1871058 \cdot 10^{-14}$ Дж (где $m_e = 9,1093837 \cdot 10^{-31}$ кг)

E – уровень энергии внешнего электронного слоя во время взаимодействия с электромагнитной волной (светом), Дж.

С учётом того, что $n = c/v$, преобразуем формулу (1-2) и в результате получим формулу для определения показателя преломления света в зависимости от величины энергии внешнего электронного слоя:

$$c/v = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{E^2}{E_{\max}^2}}} \quad \text{или} \quad n = \left(1 - \frac{E^2}{E_{\max}^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1-3)$$

E является переменной величиной и складывается из двух величин E_0 и ΔE . В результате получим формулу:

$$n = \left(1 - \frac{(E_0 + \Delta E)^2}{E_{\max}^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1-4)$$

где E_0 – базовый уровень энергии внешнего электронного слоя вещества, Дж. E_0 является индивидуальной величиной для каждого прозрачного вещества.

ΔE – увеличение энергии внешнего электронного слоя вещества при взаимодействии с электромагнитными волнами, Дж. В ходе этого взаимодействия старые фотоны поглощаются атомами, а в электронном слое образуются новые фотоны: $\Delta E = k e_\gamma$ (1-5), где e_γ – энергия фотона, Дж, k – количество новых фотонов.

В таблице 1 представлены **86** показателей преломления света в видимом диапазоне в **12** прозрачных веществах, которые находятся в трёх агрегатных состояниях: газообразном, жидком, твёрдом. (Эти показатели преломления находятся в интернете в широком доступе. В конце статьи приведены источники информации).

Табл.1

$E_0, E_{\max}$ 10^{-14} J	λ nm	k	e_γ 10^{-19} J	ΔE 10^{-14} J	E 10^{-14} J	Laboratory refractive index
1	2	3	4	5	6	7
Gases						
1. Helium $E_0 = 0,1869034$ $E_{\max} = 8,1871058$	587,7	118	3,3800337	0,0039809	0,1908843	1,0002719
	501,7	116	3,9594296	0,0045769	0,1914803	1,0002736
	492,3	115	4,0350311	0,0046469	0,1915503	1,0002738
	471,5	116	4,2130350	0,0048917	0,1917951	1,0002745
	447,3	117	4,4360112	0,0051711	0,1920745	1,0002753
2. Krypton $E_0 = 0,1868993$ $E_{\max} = 8,1871058$	645,8	120	3,0759458	0,0037038	0,1906031	1,0002711
	605,8	118	3,2790456	0,0038796	0,1907789	1,0002716
	587,3	118	3,3823358	0,0039850	0,1908843	1,0002719
	565,1	116	3,5152111	0,0040903	0,1909896	1,0002722
	556,4	116	3,5701758	0,0041605	0,1910598	1,0002724
	450,4	117	4,4104037	0,0051403	0,1920396	1,0002752
Liquids						
3. Water $E_0 = 5,3149381$ $E_{\max} = 8,1871058$ $t = 20$ °C	706,5	2949	2,8116714	0,0829289	5,397867	1,33002
	670,8	2939	2,9613086	0,0870406	5,4019787	1,33080
	656,3	2937	3,0267344	0,0888823	5,4038204	1,33115
	587,6	2922	3,3806089	0,0987908	5,4137289	1,33304
	577,0	2921	3,4427137	0,1005672	5,4155053	1,33338
	546,1	2921	3,6375129	0,1062478	5,4211859	1,33447
	501,6	2929	3,9602189	0,116000	5,4309381	1,33635
	486,1	2936	4,0864962	0,119977	5,4349151	1,33712
	471,3	2946	4,2148224	0,1241507	5,4390888	1,33793
	447,1	2966	4,4429564	0,1317995	5,4467376	1,33942
4. Heptane $E_0 = 5,5965582$ $E_{\max} = 8,1871058$ $t = 20$ °C	667,8	2348	2,9746119	0,0698613	5,6664195	1,38545
	656,3	2348	3,0267344	0,0710618	5,66762	1,38572
	589,3	2361	3,3708566	0,0795718	5,67613	1,38764
	546,1	2389	3,6375129	0,0868903	5,6834485	1,38930
	501,6	2437	3,9602189	0,0964911	5,6930493	1,39149
	486,1	2459	4,0864962	0,1005057	5,6970639	1,39241
	435,8	2563	4,5581593	0,1168035	5,7133617	1,39617
5. Trimethylpentane $E_0 = 5,6307639$ $E_{\max} = 8,1871058$ $t = 20$ °C	667,8	1750	2,9746119	0,0520684	5,6828323	1,38916
	656,3	1762	3,0267344	0,0533438	5,6841077	1,38945
	589,3	1842	3,3708566	0,0621106	5,6928745	1,39145
	546,1	1912	3,6375129	0,0695652	5,7003291	1,39316
	501,6	2006	3,9602189	0,0794475	5,7102114	1,39544
	486,1	2044	4,0864962	0,0835456	5,7143095	1,39639
	435,8	2199	4,5581593	0,1002524	5,7310163	1,40029
6. Methylohexan $E_0 = 5,7697973$ $E_{\max} = 8,1871058$ $t = 20$ °C	667,8	1527	2,9746119	0,0454308	5,8152281	1,42064
	656,3	1541	3,0267344	0,0466364	5,8164337	1,42094
	589,3	1642	3,3708566	0,0553662	5,8251635	1,42312
	546,1	1725	3,6375129	0,0627327	5,83253	1,42497
	501,6	1831	3,9602189	0,0725096	5,8423069	1,42744

	486,1	1874	4,0864962	0,0765667	5,846364	1,42847
	435,8	2042	4,5581593	0,0930691	5,8628664	1,43269
7. Toluene $E_0=5,9301397$ $E_{max} = 8,1871058$ $t= 20\text{ }^\circ\text{C}$	667,8	4881	2,9746119	0,1452014	6,0753411	1,49180
	656,3	4867	3,0267344	0,1472929	6,0774326	1,49243
	589,3	4810	3,3708566	0,1621382	6,0922779	1,49693
	546,1	4810	3,6375129	0,1749643	6,105104	1,50086
	501,6	4853	3,9602189	0,1921898	6,1223295	1,50620
	486,1	4880	4,0864962	0,199442	6,1295817	1,50847
	435,8	5034	4,5581593	0,2294439	6,1595836	1,51800
Solids						
8. Fluorite (fluorspar) $E_0= 5,8208275$ $E_{max} = 8,1871058$ $t=18\text{ }^\circ\text{C}$	670,8	1368	2,9613086	0,0405216	5,8613491	1,4323
	656,3	1365	3,0267344	0,0412998	5,8621273	1,4325
	643,8	1364	3,0855014	0,0420778	5,8629053	1,4327
	589,3	1386	3,3708566	0,0467348	5,867562 3	1,4339
	540,1	1386	3,6779223	0,0509908	5,8718183	1,4350
	508,6	1424	3,9057134	0,055 619	5,8764465	1,4362
	486,1	1427	4,0864962	0,0583115	5,879139	1,4369
9. Fused quartz $E_0= 5,8784075$ $E_{max} = 8,1871058$ $t=18\text{ }^\circ\text{C}$	656,3	2436	3,0267344	0,0737181	5,9521256	1,45640
	643,8	2429	3,0855014	0,0749573	5,9533648	1,45674
	589,3	2408	3,3708566	0,0811707	5,9595782	1,45845
	546,1	2399	3,6375129	0,0872484	5,9656559	1,46013
	533,8	2397	3,7213297	0,0891958	5,9676033	1,46067
	508,6	2398	3,9057134	0,0936577	5,9720652	1,46191
	486,1	2403	4,0864962	0,0982123	5,9766198	1,46318
	480,0	2405	4,1384288	0,0995361	5,9779436	1,46355
10. Sylvin $E_0=5,9572493$ $E_{max} = 8,1871058$ $t= 18\text{ }^\circ\text{C}$	670,8	3400	2,9613086	0,1006951	6,0579444	1,4866
	656,3	3394	3,0267344	0,1027146	6,0599639	1,4872
	643,8	3383	3,0855014	0,1043945	6,0616438	1,4877
	589,3	3365	3,3708566	0,1134309	6,0706802	1,4904
	546,1	3365	3,6375129	0,1224047	6,079654	1,4931
	508,6	3387	3,9057134	0,1323033	6,0895526	1,4961
	486,1	3414	4,0864962	0,1395142	6,0967635	1,4983
11. Rock salt $E_0= 6,1213516$ $E_{max} = 8,1871058$ $t=18\text{ }^\circ\text{C}$	670,8	3541	2,9613086	0,1048533	6,2262049	1,5400
	656,3	3532	3,0267344	0,1069151	6,2282667	1,5407
	643,8	3513	3,0855014	0,1083855	6,2297371	1,5412
	589,3	3315	3,3708566	0,1174626	6,2388142	1,5443
	546,1	3485	3,6375129	0,126762	6,2481136	1,5475
	508,6	3497	3,9057134	0,1365644	6,257916	1,5509
	486,1	3517	4,0864962	0,1437211	6,2650727	1,5534
	480,0	3520	4,1384288	0,1457172	6,2670688	1,5541
12. Calcareous $E_0= 6,4405833$ $E_{max} = 8,1871058$ $t=18\text{ }^\circ\text{C}$	670,8	2703	2,9613086	0,0816256	6,5222089	1,6537
	656,3	2696	3,0267344	0,0816256	6,5222089	1,6544
	643,8	2690	3,0855014	0,0829867	6,52357	1,6550
	589,3	2690	3,3708566	0,0906652	6,5312485	1,6584
	546,1	2690	3,6375129	0,0978405	6,5384238	1,6616
	508,6	2716	3,9057134	0,106076	6,5466593	1,6653
	486,1	2731	4,0864962	0,1116036	6,5521869	1,6678

В первом столбце таблицы 1 находятся показатели E_0 и $E_{\max}$ в 12 веществах. $E_{\max} = 8,1871058 \cdot 10^{-14}$ Дж является **одинаковой постоянной величиной для всех прозрачных веществ.**

Величина E_0 , наоборот, является индивидуальной для каждого вещества. В этом исследовании значение E_0 определялась методом подбора после расчётов систем уравнений с использованием показателей преломления света.

В шестом столбце таблицы находятся значения E . Величина E определялась на основе формулы 1-3: $E = \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}} E_{\max}$

В пятом столбце таблицы находятся значения ΔE . Величина ΔE определялась: $\Delta E = E_0 - E$.

В четвёртом столбце таблицы находятся значения энергии фотонов. Величина e_γ определялась по формуле: $e_\gamma = \frac{h c}{\lambda}$

В третьем столбце таблицы находится количество фотонов. Количество фотонов определялось по формуле: $k = \frac{\Delta E}{e_\gamma}$

Как можно видеть из таблицы 1, **количество образуемых во внешнем электронном слое фотонов относительно стабильно в видимом диапазоне каждого отдельно взятого вещества.** В ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах, а также на границе этих диапазонов, эта стабильность нарушается, поэтому такие длины волн не были включены в это исследование. (Отметим, что в отдельных случаях значительные нарушения стабильности (вплоть до аномалий) могут происходить даже внутри видимого спектра волн у некоторых веществ). Эта интересная особенность (стабильность количества фотонов) позволяет применить расширенный вариант формулы 1-4 для определения показателей преломления света в видимом диапазоне в прозрачных веществах.

$$n = \left(1 - \frac{(E_0 + k e_\gamma)^2}{E_{\max}^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1-6)$$

Например, в криптоне, где количество фотонов **k** почти одинаковое для всех длин волн (см. табл.1), для точного расчёта показателей преломления достаточно единого показателя **k** для всего спектра волн. То же самое относится к другому инертному газу – гелию.

Но в жидкостях и твёрдых веществах колебания **k** внутри спектра волн (см. табл. 1) существенно больше, чем в инертных газах. Поэтому для получения высокоточных результатов спектры в жидких и твёрдых веществах необходимо разбить на несколько расчётных диапазонов. В связи с этим была составлена вторая таблица (табл. 2), где спектры прозрачных веществ были разбиты на 2-3 расчётных диапазона (в среднем 60-80 нм).

Табл. 2

$E_0, E_{\max}$ 10^{-14} J	λ nm	k	e_γ 10^{-19} J	Calculated refractive index	Laboratory refractive index	Divergence
1	2	3	4	5	6	7
Gases						
1. Helium $E_0 = 0,1869034$ $E_{\max} = 8,1871058$ $\lim v = 299714327$ m/s	587,7	116	3,3800337	1,0002717	1,0002719	10^{-8} -10^{-7}
	501,7		3,9594296	1,0002736	1,0002736	
	492,3		4,0350311	1,0002739	1,0002738	
	471,5		4,2130350	1,0002745	1,0002745	
	447,3		4,4360112	1,0002752	1,0002753	
2. Krypton $E_0 = 0,1868993$ $E_{\max} = 8,1871058$ $\lim v = 299714330$ m/s	645,8	116	3,0759458	1,0002707	1,0002711	10^{-8} -10^{-7}
	605,8		3,2790456	1,0002714	1,0002716	
	587,3		3,3823358	1,0002717	1,0002719	
	565,1		3,5152111	1,0002722	1,0002722	
	556,4		3,5701758	1,0002724	1,0002724	
	450,4		4,4104037	1,0002752	1,0002752	
Liquids						
3. Water $E_0 = 5,3149381$ $E_{\max} = 8,1871058$ $t = 20$ °C $\lim v = 228031558$ m/s	706,5	2944	2,8116714	1,32999	1,33002	10^{-6} -10^{-5}
	670,8	2939	2,9613086	1,33080	1,33080	
	656,3	2937	3,0267344	1,33115	1,33115	
	587,6	2927	3,3806089	1,33307	1,33304	
	577,0	2925	3,4427137	1,33340	1,33338	
	546,1	2921	3,6375129	1,33447	1,33447	
	501,6	2932	3,9602189	1,33637	1,33635	
	486,1	2936	4,0864962	1,33712	1,33712	
	471,3	2947	4,2148224	1,33794	1,33793	
447,1	2966	4,4429564	1,33942	1,33942		
4. Heptane	667,8	2348	2,9746119	1,38545	1,38545	

E₀=5,5965582 E_{max} = 8,1871058 t= 20 °C lim v = 205672872 m/s	656,3	2350	3,0267344	1,38573	1,38572	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
	589,3	2361	3,3708566	1,38764	1,38764	
	546,1	2398	3,6375129	1,38938	1,38930	
	501,6	2437	3,9602189	1,39149	1,39149	
	486,1	2467	4,0864962	1,39248	1,39241	
5. Trimethylpentane E₀= 5,6307639 E_{max} = 8,1871058 t= 20 °C lim v = 217630778 m/s	667,8	1750	2,9746119	1,38916	1,38916	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
	656,3	1763	3,0267344	1,38945	1,38945	
	589,3	1842	3,3708566	1,39153	1,39145	
	546,1	1923	3,6375129	1,39325	1,39316	
	501,6	2006	3,9602189	1,39547	1,39544	
6. Methylohexan E₀ =5,7697973 E_{max} = 8,1871058 t= 20 °C lim v =212691861 m/s	667,8	1527	2,9746119	1,42064	1,42064	10 ⁻⁵
	656,3	1544	3,0267344	1,42096	1,42094	
	589,3	1642	3,3708566	1,42312	1,42312	
	546,1	1735	3,6375129	1,42506	1,42497	
	501,6	1831	3,9602189	1,42744	1,42744	
7. Toluene E₀=5,9301397 E_{max} = 8,1871058 t= 20 °C lim v = 206695464 m/s	667,8	4881	2,9746119	1,49180	1,49180	10 ⁻⁵
	656,3	4871	3,0267344	1,49247	1,49243	
	589,3	4810	3,3708566	1,49693	1,49693	
	501,6	4869	3,9602189	1,50639	1,50620	
	486,1	4880	4,0864962	1,50865	1,50847	
Solids						
8. Fluorite (fluorspar) E₀= 5,8208275 E_{max} = 8,1871058 t=18 °C lim v = 210819240 m/s	670,8	1368	2,9613086	1,4323	1,4323	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
	656,3	1366	3,0267344	1,4325	1,4325	
	643,8	1364	3,0855014	1,4327	1,4327	
	589,3	1376	3,3708566	1,4338	1,4339	
	540,1	1386	3,6779223	1,4350	1,4350	
9. Fused quarts E₀= 5,8784075 E_{max} = 8,1871058 t=18 °C lim v = 210819240 m/s	508,6	1410	3,9057134	1,4361	1,4362	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
	486,1	1427	4,0864962	1,4369	1,4369	
	656,3	2436	3,0267344	1,45640	1,45640	
	643,8	2431	3,0855014	1,45675	1,45674	
	589,3	2408	3,3708566	1,45845	1,45845	
10. Sylvin E₀=5,9572493 E_{max} = 8,1871058 t= 18 °C lim v = 205646032 m/s	546,1	2399	3,6375129	1,46013	1,46013	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
	533,8	2397	3,7213297	1,46067	1,46067	
	508,6	2400	3,9057134	1,46193	1,46191	
	486,1	2403	4,0864962	1,46318	1,46318	
	480,0	2404	4,1384288	1,46354	1,46355	
11. Rock salt E₀=5,9572493 E_{max} = 8,1871058 t= 18 °C lim v = 205646032 m/s	670,8	3398	2,9613086	1,4866	1,4866	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
	656,3	3394	3,0267344	1,4872	1,4872	
	643,8	3391	3,0855014	1,4878	1,4877	
	589,3	3376	3,3708566	1,4905	1,4904	
	546,1	3365	3,6375129	1,4931	1,4931	
11. Rock salt E₀=5,9572493 E_{max} = 8,1871058 t= 18 °C lim v = 205646032 m/s	508,6	3396	3,9057134	1,4962	1,4961	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
	486,1	3414	4,0864962	1,4983	1,4983	
11. Rock salt E₀=5,9572493 E_{max} = 8,1871058 t= 18 °C lim v = 205646032 m/s	670,8	3541	2,9613086	1,5400	1,5400	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
	656,3	3526	3,0267344	1,5406	1,5407	

E₀ = 6,1213516 E_{max} = 8,1871058 t=18 °C lim v = 199079265 m/s	643,8	3513	3,0855014	1,5412	1,5412	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵
	589,3	3497	3,3708566	1,5444	1,5443	
	546,1	3485	3,6375129	1,5475	1,5475	
	508,6	3505	3,9057134	1,5510	1,5509	
	486,1	3517	4,0864962	1,5534	1,5534	
480,0	3520	4,1384288	1,5541	1,5541		
12. Calcareous E₀ = 6,4405833 E_{max} = 8,1871058 t=18 °C lim v = 185082455 m/s	670,8	2703	2,9613086	1,6537	1,6537	10 ⁻⁶
	656,3	2696	3,0267344	1,6544	1,6544	
	643,8	2690	3,0855014	1,6550	1,6550	
	589,3	2690	3,3708566	1,6584	1,6584	
	546,1	2690	3,6375129	1,6616	1,6616	
	508,6	2716	3,9057134	1,6653	1,6653	
486,1	2731	4,0864962	1,6678	1,6678		

Как видим, в таблице 2 в каждом веществе присутствуют 3-4 опорных показателя **k**: они выделены жирным шрифтом и серым цветом. (Исключением являются только инертные газы, где показатель **k** один на весь видимый спектр). Через эти опорные показатели рассчитывались неизвестные показатели **k** в расчётных диапазонах волн (обычный шрифт, столбец 3). В основу этих расчётов было положено пропорциональное изменение количества фотонов в зависимости от изменения длины волны в расчётном диапазоне: $\frac{d\lambda}{dk} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{k_1 - k_2} = \text{const}$. В результате была получена формула для определения количества фотонов в расчётных диапазонах: $k_n = \frac{k_1(\lambda_n - \lambda_2) + k_2(\lambda_1 - \lambda_n)}{(\lambda_1 - \lambda_2)}$ (1-7)

Например, необходимо определить в каменной соли (Rock salt) число фотонов **k** для волны $\lambda = 589,3$ нм. Здесь $\lambda_1 = 643,8$ нм, $\lambda_2 = 546,1$ нм, расчётный диапазон $\lambda_1 - \lambda_2 = 97,7$ нм, $k_1 = 3513$, $k_2 = 3485$. В результате по формуле (1-7) получим $k = 3497$.

По формуле 1-7 были получены показатели **k_n** (нежирный шрифт, столбец 3). Затем по формуле 1-6 были определены неизвестные показатели преломления света. 44 полученных показателя преломления были занесены в таблицу 2 (столбец 5). Потом было произведено сравнение с экспериментальными показателями преломления света (столбец 6). Для корректного сравнения полученные показатели преломления света округлялись до количества знаков, равных количеству знаков лабораторных показателей. В

том случае если после округления показатели преломления полностью совпадали, то для жидкостей и твёрдых веществ расхождение принималось равным 10^{-6} , для инертных газов – 10^{-8} . Анализ полученных результатов находится в разделе «Результаты».

В этой работе на основе формулы 1-4 была получена формула предела скорости распространения электромагнитных волн в прозрачном веществе. Этот предел скорости в веществе наступает, когда длина волны $\lambda \rightarrow \infty$ и поэтому значение ΔE в формуле (1-4) стремится к нулю. С учётом этого, после преобразования из формулы 1-4 была получена формула предела скорости распространения электромагнитных волн в прозрачном веществе:

$$\lim v = c \sqrt{1 - \frac{E_0^2}{E_{\max}^2}} \quad (1-8)$$

где $c = 299\,792\,458$ м/с.

По формуле 1-8 были вычислены пределы скорости распространения электромагнитных волн в 12 прозрачных веществах и занесены в таблицу 2. (Анализ полученных результатов находится в разделе «Результаты»).

3. Результаты.

В этом исследовании была получена формула 1-4, показывающая зависимость показателя преломления света от энергии внешних электронных слоев атомов вещества. С помощью этой основной формулы было определено количество фотонов, образованных при взаимодействии электромагнитных волн с веществом и занесено в таблицу 1 (столбец 3). При дальнейшем анализе выяснилось, что количество таких фотонов **стабильно и почти не зависит от длины электромагнитных волн**. Это обстоятельство позволило получить из формулы 1-4 формулу для определения показателя преломления света на основе энергии фотона (1-6). Как видим из таблицы 2, по формуле 1-6 были определены **44** показателя преломления света. Сравнение полученных показателей преломления света с лабораторными показателями показало высокую точность полученных результатов. **В инертных газах расхождение с**

лабораторными показателями преломления света составило $\pm 10^{-8} - 10^{-7}$, в жидких и твёрдых веществах: $\pm 10^{-6} - 10^{-5}$. При этом расчётные диапазоны волн составляли: в инертных газах 140 нм и 195 нм, в жидких и твёрдых веществах: 60 – 80 нм.

Для сравнения. Наиболее точная эмпирическая формула Гартмана: $n = n_{\infty} + C/(\lambda - \lambda_0)^a$, определяет показатели преломления света с точностью $\pm 10^{-6} - 10^{-5}$. При этом для достижения такой точности, расчётные участки диапазонов волн для этой формулы не должны превышать несколько десятков нм, то есть 30 – 40 нм.

Большое количество точных результатов (44) подтверждает действие формулы 1-6. Это свидетельствует о том, что структура основной формулы 1-4, которая повторяет структуру релятивистской формулы 1-1, была выбрана правильно.

Необходимо отметить, что формула 1-4 является физической формулой, потому что в её основе находится энергия: $E_{\max}$, E_0 , ΔE . $E_{\max}$ и E_0 являются постоянными величинами, а $\Delta E = k e_{\gamma}$ является переменной величиной. При этом k является стабильной величиной и почти не зависит от длины волны (см. табл.1). (Стабильность количества образуемых в электронных слоях фотонов является скрытой причиной действия всех эмпирических дисперсионных формул).

Как видно из таблицы 1, величина E_0 является индивидуальной для каждого вещества. Наименьшая величина E_0 приходится на инертные газы: гелий – $0,1869034 \cdot 10^{-14}$ Дж и криптон – $0,1868993 \cdot 10^{-14}$ Дж. Наибольшая величина E_0 приходится на каменную соль – $6,1213516 \cdot 10^{-14}$ Дж и известковый шпат – $6,4405833 \cdot 10^{-14}$ Дж. При этом E_0 в инертных газах меньше E_0 в жидкостях и твердых веществах в 30-33 раза.

Также из таблицы 1 видно, что наибольшее количество фотонов приходится на каменную соль – 3541 и толуол – 4881, а наименьшее количество

приходится на гелий –115 и криптон – 116. При этом в инертных газах количество фотонов в 12-40 раз меньше, чем в жидкостях и твёрдых веществах.

В этом исследовании была получена формула предела скорости распространения электромагнитных волн в прозрачных веществах 1-8. В первом столбце табл.2 находятся пределы скорости распространения электромагнитных волн в прозрачных веществах. При этом, чем больше E_0 , тем меньше $\lim v$ в веществе. Наибольший предел скорости распространения электромагнитных волн в гелии ($\lim v = 299\,714\,327$ m/s), а наименьший предел скорости – в известковом шпате ($\lim v = 185\,082\,455$ m/s).

4. Заключение.

В предыдущем разделе были перечислены результаты проведённого исследования. В заключительной части хотелось бы выделить одну из особенностей этого исследования, которая связана с количеством фотонов, образуемых во внешних электронных слоях атомов прозрачных веществ. Суммарная энергия этих фотонов влияет на показатели преломления света в веществе. Эта характерная особенность является визитной карточкой этого исследования и основным полученным результатом.

Необходимо отметить, что в этом исследовании не рассматривались ультрафиолетовые и инфракрасные диапазоны волн (а также границы этих диапазонов) из-за нестабильности количества фотонов. Но это обстоятельство не исключает действия основной формулы 1-4 в этих диапазонах.

Полученные в этом исследовании выводы и результаты не являются окончательными. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

5. Справочный раздел.

1. Alphonse F. Forziati. Refractive Index as a Function of Wavelength for Sixty API-NBS Hydrocarbons. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 1950, Vol. 44, p. 373-385. (Here are tables with the refractive indices as a function of wavelength for Trimethylpentane, Methylcyclohexane, Toluene, Heptane).

2. B.V. Ioffe. Refractometric methods of chemistry. *Chemistry*, 1983, p. 307. (in Russian). (Here are table with the refractive indices as a function of wavelength for Water).
3. Brief physical and technical reference book, volume 1, 1960, p. 371-372. (in Russian). (Here are tables with the refractive indices as a function of wavelength for Sylvin, Rock salt, Fused quartz, Fluorite (fluorspar), Calcareous).
4. Encyclopedia of Mechanical Engineering, *Mechanical engineering*, 1994-2015, p.792. (in Russian). (Here are tables with the refractive indices as a function of wavelength for Krypton, Helium).

6. Декларация.

Автор исследования: Андрей Чернов.