

Юрій Дунаєв (dunaev@bg.net.ua)

ФОТОНИ, ЇХ ФІЗИЧНА СУТЬ І МЕХАНІЗМ ЇХ УТВОРЕННЯ
(разом з поясненням формули Бальмера-Ридберга)
(PHOTONS, THEIR NATURE, AND MECHANISM OF THEIR FORMATION)
(together with the clarification of the Balmer-Rydberg formula)

© Юрій Дунаєв, 2009

Реферат

Світло (видиме і невидиме) має хвильову природу і поширюється в ефірному середовищі, котре свого часу увійшло в науку під назвою «світлоносний ефір». Кванти світлової енергії утворюються завдяки орбітальному рухові електронів в атомах та молекулах шляхом відбору і наступної концентрації енергії тих елонів, або корпускул ефіру, котрі при здійсненні свого хаотичного руху завдають ударів електронам в напрямі на ядро атома, або молекули. Фотони є дискретними хвильовими формуваннями, котрі утворюються при перетинаннях зустрічних первинних хвиль. Зустрічні первинні хвилі є електромагнітними хвилями, що формуються завдяки зустрічному обертанню електронів, зокрема двох зустрічних електронів молекули водню. Первинні хвилі формуються завдяки тому, що ті елони (корпускули ефіру), котрі завдають ударів електронів ззовні вздовж радіуса, що поєднує електрон з ядром атома, чи молекули, відскакують від нього втрачаючи (принаймні частково) свою кінетичну енергію, а саме ту енергію, котра витрачається на викривлення траєкторії електрона (з прямої лінії на коло).

Вступ

Сучасна наука від часів відомого досліду Майкельсона-Морлі і тих висновків, котрі були з нього зроблені Альбертом Ейнштейном, ще й досі знаходиться в полоні своєрідного «табу», смислом якого є заборона на визнання існування ефіру, також як і на будь-які ідеї, що могли б на нього спиратися. Сучасні вчені роблять свою науку в обхід концепції ефіру, що примушує їх вдаватися до немислимих математичних побудов і хитромудрих постулатів. Всупереч здоровому глузду, безжалісно висміяному тим же Ейнштейном, сучасний теоретик може уявити собі хвилі, поширювані самі по собі при відсутності якого б то не було переносного середовища, він може уявити собі ці хвилі, поширювані на відстані в тисячі світлових років без яких би то не було втрат їх потужності, він вірить у спроможність речовини перетворюватись в енергію і можливість побудови дармового енергетичного раю, услід за біблійними і іншими релігійними віруваннями він може собі уявити початок, як так само і кінець світу, так само як і всілякі інші безглуздя.

Відмова від ефіру спричинилась до створення теорій, побудованих не стільки на фізичних моделях, скільки на математичних спекуляціях. Експериментальні дані стають об'єктами математичних підтасовок. Розуміння суті фізичних явищ замінюється математичними викладками.

Тим часом визнання ефіру може дати пояснення численних проблем, насамперед в царині електромагнітних явищ. Існування ефіру як переносного середовища для електромагнітних хвиль пояснює незмінність швидкості світла і виключає необхідність в ейнштейнових теоріях відносності. Як можна пересвідчитись з цієї статті, воно пояснює механізм утворення фотонів, і сприяє розумінню відомих експериментальних даних без допомоги ні на чому не обґрунтованих постулатів Бора і інших квантомеханічних спекуляцій.

Передісторія

Світло безсумнівно складає одну з найглибших таємниць природи, збагнути яку люди намагаються від самого зародження цивілізацій. Численними були різні теорії світла, але впродовж останніх століть для пояснення його суті вчені і філософи будували свої теорії на основі лише двох основних концепцій: корпускулярної, відповідно до якої світло утворюють найдрібніші матеріальні частки – корпускули, і хвильової, відповідно до якої світло є хвильовим рухом деякого середовища, що дістав назву «світлоносний ефір». Хвильова теорія світла, основи якої були закладені ще в 17 сторіччі голландським фізиком і астрономом Гюйгенсом, поступово набрала впливу завдяки роботам Томаса Юнга, Огюстена Френеля та інших визначних вчених, і під кінець 19 сторіччя була остаточно сформульована Джеймсом Клерком Максвелом як електромагнітна теорія світла. Відповідно до теорії Максвелла світло утворюється поперечними хвилями того ж самого середовища, в котрому відбуваються як електричні, так і магнітні явища http://en.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell. Теорія Максвелла не змогла, однак, узлагодитись з відкриттями Макса Планка і запропонованою ним у 1900 році концепцією кванта світла, що розглядався як пакет енергії під назвою фотон. Тому упродовж двох десятиріч, що наступили після проголошення зазначеної концепції, вченим довелося переопрацювати всю тогочасну фізику для її узгодження з Планковою теорією. Характерною рисою оновленої теорії було те, що енергія, у тому числі світлова енергія, розглядалась у ній складеною з уподоблених до часток квантів або фотонів.

В 1925 році Макс Борн, Ернст Паскуаль Жордан і Вернер Хайзенберг математично довели, що фотони випромінюються, або поглинаються, коли заряджені частки відштовхуються або притягаються одна до одної під дією електромагнітної сили.

Фотони переносять електромагнітну силу від однієї частки до іншої, але самі вони не мають ні маси, ні електричного заряду. Дарма що вони не мають маси, енергія фотонів породжує імпульс, тобто можливість впливати на інші частки.

Так звана Стандартна Модель, що обіймає сучасні фізико-наукові погляди, ділить частки на дві категорії: ферміони, до котрих зокрема належать електрони і протони, і бозони, асоційовані з силовими полями, що діють на ферміони. За аналогією з електромагнітним полем, що є комбінацією електричного і магнітного полів, відповідно до сучасних поглядів, існує ще більш узагальнене електрослабке поле, котре поєднує електромагнітні сили з слабкою ядерною силою, а фотон є одним з чотирьох бозонів, асоційованих з цим полем.

З вище викладеного могла б напроситися думка, що сучасні наукові погляди є поверненням до вже згаданої корпускулярної теорії світла. Парадоксальним, однак, є те, що всі відкриті у попередній період хвильові властивості світла ніхто не відміняв, і їх треба було якимось чином поєднати з новітніми ідеями. Зрештою таке поєднання вилилось в концепцію хвиле-часткового дуалізму, в котрій світло, складене з часток – фотонів, повинно було на додачу мати хвильові властивості, причому такі, що мали проявлятися за умови відсутності якого б то не було переносного середовища, бо світлоносний ефір тодішніми теоретиками був уже відмінений.

В моїй попередній статті «Наскільки міцним є фундамент квантової механіки» <http://www.wbabin.net/physics/dunaev1.pdf> вже йшла мова про те, що один із засновників квантової механіки Нільс Бор на основі емпіричних даних про співвідношення між частотами світла, випромінюваного розпеченим у газорозрядній трубці воднем, розробив модель атома водню, ігноруючи той факт, що світло, генероване в цій трубці, випромінювалось не атомарним, а молекулярним воднем. В атомі водню, пропонованому Бором, електрон залежно від величини своєї енергії мав розміщуватись на орбіталях, по-різному віддалених від протона, а фотон мав випромінюватись цим атомом в разі переходу електрона з енергетично більш насиченої до енергетично менш насиченої орбіталі.

Оскільки існуючі дані свідчать про те, що світло, випромінюване розпеченим воднем, генерується не його атомами H, а молекулами H₂, модель цього атома, так само як і модель молекули H₂ потребує докорінного переосмислення, так само як потребує такого переосмислення і принцип утворення фотонів, причому вже не в атомі, а в молекулі водню. Оскільки ж хвильова природа світла була безперечно доведена кілька-столітньою працею тисяч учених, а хвилі, поширювані поза переносним середовищем можна собі уявити не більш ніж математично, дослідження процесу фотонутворення в молекулі водню почнемо з викладення концепції «світлоносного» ефіру, маючи при цьому на увазі що його «світлоносність» є лише однією з його відомих і невідомих властивостей .

Дарма що існування ефіру продовжує заперечуватись офіційною фізичною наукою, котра на підтвердження цих заперечень продовжує посилатись і на експеримент Майкельсона-Морлі, і на роботи Альберта Ейнштейна, доцільно нагадати, що в своїй промові, виголошеній 5 травня 1920 року в Лейденівському університеті з нагоди його обрання почесним професором цього учбового закладу, той самий Ейнштейн проголосив, що „загальна теорія відносності наділяє простір фізичними властивостями; таким чином, в цьому смислі ефір існує. Відповідно до загальної теорії відносності, простір немислимий без ефіру; дійсно, в такому просторі не лише було б неможливим поширення світла, а й не могли б існувати масштаби і одиниці, і не було б ніяких просторово-часових відстаней у фізичному смислі слова” www.tu-harburg.de/rzt/rzt/it/Ether.html.

Механізм утворення фотона

Оскільки сучасна наука слугується пропонованим Бором механізмом утворення фотона, що спирається на ним же розроблену модель атома водню, і оскільки цей механізм розроблено в такий спосіб, котрий дозволяє йому узгодитись з відомою емпіричною формулою Бальмера-Ридберга http://en.wikipedia.org/wiki/Rydberg_formula, моїм завданням є розробити таку модель фотонутворення вже не в атомі, а в молекулі водню, котра б також повністю узгоджувалась з цією формулою.

Зазначена формула виглядає як

$$v = cR_H \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \quad (1),$$

і в ній v позначає частоту світла c - швидкість його поширення у вакуумі, R_H - сталу Ридберга, що дорівнює $10\,973\,731.568\,527\text{ m}^{-1}$, а n_1 і n_2 є цілими числами, з яких $n_1 > n_2$.

Услід за Лесажем http://en.wikipedia.org/wiki/Le_Sage%27s_theory_of_gravitation, запропонувавши ці ідеї в 1748 році в своїй теорії гравітації, я дотримуюсь думки, що ефір є псевдогазом, складеним з безлічі найдрібніших часток (космічних корпускул), котрі хаотично рухаються в усіх напрямках, співударяючись як між собою, так і з більшими частками, такими як електрони, нуклони і інші ферміони, причому ці «космічні корпускули» не слід плутати з тими корпускулами-переносниками світла, котрі фігурують в корпускулярних теоріях світла. Так само, як і в реальних газах, співударяння корпускул, котрих з метою уникнення зазначеної можливої плутанини в подальшому я буду називати «елони», є пружними, і якщо, наприклад, рухомий елон завдасть удару податливому електроні, котрий під впливом цього удару набере певного прискорення, сам елон зупиниться так само, як зупиняється та з бильярдних куль, котра завдала удару іншій кулі. Вільний електрон, уміщений в Лесажевий ефір, не може бути податливим тому, що ударяння елонів сприймаються ним з усіх боків, і одні з цих ударів урівноважуються іншими, що завдаються з протилежних напрямків. Елони, що ударяються об такий електрон, відскакують від нього з тими ж по величині швидкостями, що і до удару, і на стан ефіру, з точки зору хаотичності руху його елонів, перебування в ньому вільного електрона не впливає. Іншу картину спостерігатимемо в разі, коли електрон обертається навколо ядра атома. В цьому разі унаслідок екранування орбітального електрона від ударів елонів з боку ядра в ньому, не в приклад вільному електрону, деяка частина ударів, а саме таких, котрі його приштовхують до ядра, лишається некомпенсованою, що спричиняє його податливість в напрямі до

ядра. Завдяки такій податливості якраз і відбувається орбітальний рух електронів в атомах і молекулах.

Саме удари елонів, спрямовані в сторону ядра атома, примушують електрон постійно викривлювати свою траєкторію, тоді як ті елони, котрі завдали таких ударів, спинаються на кшталт тієї із згаданих більярдних куль, котра завдала удару іншій кулі. Зупинення таких елонів призводить до зміни стану ефірного простору в точках, що лежать на круговій траєкторії електрона, і стають таким чином джерелами виникнення ефірної, або (як її зараз називають) електромагнітної хвилі, котра, як відомо, поширюється зі швидкістю світла. Завдяки обертанню електрона з постійною частотою по круговій траєкторії, фронт цієї хвилі, названої мною первинною хвилею, матиме форму спіралі Архімеда, розкручуваної в площині цієї кругової траєкторії (див. фіг.1).

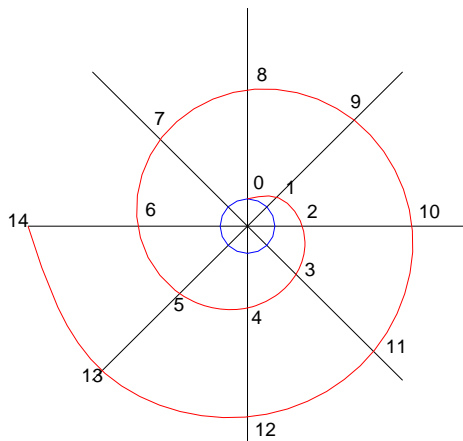


fig.1

На фіг.1 синім колом умовно позначено кругову орбіту одного з електронів молекули водню, що обертається, наприклад, проти годинникової стрілки. В якийсь момент часу, коли електрон знаходиться в точці 0, в цій же точці ініціюється первинна хвиля, позначена червоним кольором. Точки 1, 2, 3 ... 14, відповідають точкам фронту, утвореним на $\frac{1}{8}, \frac{2}{8}, \frac{3}{8} \dots \frac{14}{8}$ періоду обертання електрона раніше.

В моїй попередній статі <http://www.wbabin.net/physics/dunaev1.pdf> висловлене припущення, що частота температурного обертання молекули водню дорівнює добутку cR_H , де c є швидкість світла у вакуумі, а R_H – стала Ридберга, що становить $10\,973\,731.568\,527\text{ m}^{-1}$, тоді як сам добуток $cR_H = 3.289842 \cdot 10^{15}\text{ s}^{-1}$, що означає, що за одну секунду ці електрони роблять більш ніж 3289 мільйонів мільйонів обертів.

Кожна точка фронту первинної хвилі, частота якої має дорівнювати частоті обертання генеруючого її електрона, характеризуватиметься меншою кількістю елонів з швидкостями, спрямованими від ядра молекули, і за рахунок цього, властивістю при взаємодії з іншими ферміонами притягати їх до нього.

З огляду на радіальне поширення первинної хвилі в усіх напрямках по всій генеруючій площині, вона мала б дуже швидко і безслідно згаснути, якби природа не придумала спосіб її переформування. Зазначене переформування потребує, однак, участі в ньому іншої первинної хвилі, такої, котра б поширювалась у тій же площині, мала б те саме джерело утворення і розкручувалась у протилежному напрямі. Таким вимогам задовольняє первинна хвиля, утворена обертанням навкруг того ж самого ядра іншого електрона в напрямі, зустрічному першому. Взаємодія двох „зустрічних”

первинних хвиль призводить до утворення в місцях їх перетинання специфічних хвильових формувань, котрі, на кшталт часток, можна було б розглядати як наділені деякою формою, і котрі поширюються в просторі з швидкістю світла вздовж радіусів з початком в точці розміщення ядра атома, чи то молекули.

На фіг.2 показано дві зустрічні первинні хвилі (червона й зелена), започатковані двома зустрічними електронами молекули водню, що обертаються на спільній для них круговій орбіті, позначеній синім кольором. Хоч такий випадок в природі може бути рідкісним, зображення первинних хвиль, в котрому вони симетричні одна одній, виконано, виходячи з презумпції, що молекула по відношенню до навколишнього ефіру є нерухомою. На кресленні показано, що первинні хвилі перетинають одна одну в точках 0, 2 і далі, розміщених на одному радіусі, і в точках 1, 3 і далі, розміщених на протилежному радіусі. Зазначені точки перетинання репрезентують собою осередки утворення фотонів, поширюваних в просторі з швидкістю світла вздовж двох зазначених протилежно спрямованих радіусів. Кожен з утворених фотонів є характерним відсутністю або меншою часткою в ньому елонів, спрямованих від ядра молекули, що надає йому притягальних властивостей в напрямі до цього ядра.

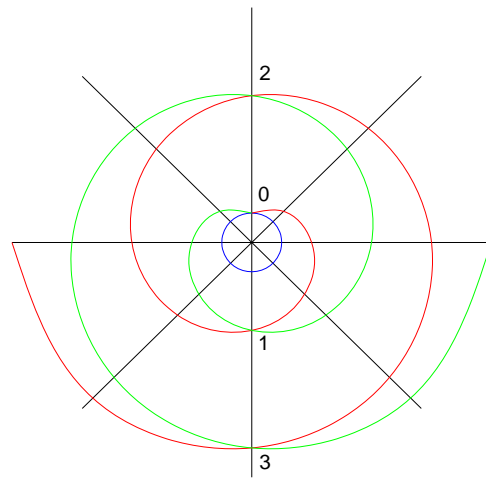


fig.2

Зустрічні первинні хвилі утворюються в атомах і молекулах атомів завдяки тому, що відповідно до моїх переконань частина їх орбітальних електронів (половина, або близько половини) обертаються в один, а інша частина – в інший бік. Всупереч Бору і його послідовникам, котрі ігноруючи III закон Кеплера www.physicsofether.kiev.ua/index/4.html твердили і продовжують твердити, що атомні електрони розміщуються на різних орбітах (або орбіталях), рознесених на різні відстані від ядра атома, я певен того, що всі вони обертаються на одній і тій самій орбіті, причому електрони однієї з зазначених частин (половин) обертаються навколо ядра атома з однією, тоді як електрони іншої половини обертаються навкруг нього з такою ж, але протинаправленою кутовою швидкістю. Такий спосіб обертання електронів надає атому, або молекулі необхідної стабільності, котру він, або вона могла б втратити в разі невідповідності кількості орбітальних електронів кількості нуклонів ядра атома, що спостерігається в радіоактивних ізотопах, або в разі суттєвої різниці в кількості електронів, що обертаються в різних напрямках (іони).

Дарма що перетинання первинних хвиль відбувається в дуже обмежених зонах простору, завдяки чому фотон повинен характеризуватися дуже великою щільністю, він має також бути витягнутим у площині обертання електронів, чим можна пояснити ефект поляризації світла.

В цьому місці слід зробити деякі застереження стосовно принципів відносності в фізиці ефіру, принципів, котрі на мою думку цілком узгоджуються з наведеним вище висловлюванням Альберта Ейнштейна. Цілком природно, що вивчаючи закономірності руху тих чи інших об'єктів, в тому числі і фотонів, ми просто не можемо обійтись від абсолютної системи координат, котрою міг би слугувати ефір. Оскільки ж нам відомо, що ефір також не є чимось нерухомим, вивчаючи такі об'єкти як атом, як абсолютною системою координат доцільно скористатись саме тим ефіром, котрий знаходиться в тій же частині евклідового простору, що і сам атом.

Уявімо молекулу водню складеною з ядра і двох електронів, що обертаються навкруг цього ядра назустріч один одному з деякою частотою $v_e = R$. Сама молекула також обертається в площині, що збігається з площиною обертання електронів, і частота цього обертання становить певну частку від частоти v_e , що можна виразити як

$$v_M = R \frac{m}{n}, \text{ де}$$

m і n - цілі числа, з яких $m < n$.

Частота обертання електронів v_e від температури молекули не залежить, тоді як відповідно до моїх переконань частоту v_M і зокрема показник $\frac{m}{n}$ слід вважати ознаками температури молекули. Вони мають зростати при її нагріванні і знижуватись при її охолодженні.

Якщо так, то частоти обертання першого і другого електронів в абсолютній системі координат, тобто відносно ефіру становитимуть $v_1 = R(1 + \frac{m}{n})$ і $v_2 = R(1 - \frac{m}{n})$. Кожному оберту електрона має відповідати один виток генерованої ним первинної хвилі, тому перша первинна хвиля матиме частоту $v_1 = \frac{R}{n}(m+n)$, а друга - $v_2 = \frac{R}{n}(n-m)$. Перетинатимуться вони з частотою

$$v = \frac{2R}{n}(n^2 - m^2) \quad (2),$$

бо для частот обох первинних хвиль $\frac{R}{n}$ є їх спільним множником, $(n^2 - m^2)$ є добутком їх нескоротних множників, а двійку взято тому, що за один оберт електронів вони зустрічаються двічі. Частота v є частотою послідовного перетинання первинних хвиль безвідносно до напрямку подальшого поширення утворюваних фотонів, унаслідок чого її доцільно назвати безвідносною частотою.

При визначенні частоти поширення фотонів у якомусь одному напрямі (радіальну частоту) ґрунтуємось на наступних міркуваннях. Якщо електрони в молекулі водню обертаються відносно неї з частотою R , частота їх зустрічей становить $2R$. Якщо сама молекула обертається при цьому з частотою $R \frac{m}{n}$, то кількість точок зустрічі електронів упродовж одного оберту молекули становитиме $2R: R \frac{m}{n} = \frac{2n}{m}$, причому кожній з цих точок зустрічі відповідатиме свій радіус поширення генерованих фотонів. Одержане число радіусів розміщується на $\frac{1}{m}$ -ній частці повного кутового простору з центром в центрі молекули. Заповнення повного кутового простору (360°) відбувається після виконання молекулою m обертів, впродовж яких відбудеться $2n$ зустрічей електронів.

На перший погляд, для того щоб одержати радіальну частоту досить було б розділити безвідносну частоту v на кількість радіусів поширення світла $2n$, але при цьому треба врахувати, що:

- 1) Для задіяння всіх $2n$ радіусів системі було б потрібно в m раз більше часу, впродовж якого зросла б у m раз сама кількість радіусів, і що
- 2) За цей час довжина хвилі (відстань між двома послідовно сформованими фотонами) на кожному з радіусів також зросла б у m раз.

З урахуванням щойно розкритого радіальна частота ν' має дорівнювати

$$\nu' = \frac{\nu}{2nm^2} = R \frac{(n^2 - m^2)}{m^2 n^2} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (3).$$

У формулі (3) можна пізнати вже наведену формулу Бальмера-Ридберга для водню, котра по суті поклала початок всій квантовій механіці, і котра наводиться Вікіпедією http://en.wikipedia.org/wiki/Rydberg_formula також у формі

$$\frac{1}{\lambda_{vac}} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (4), \text{ де}$$

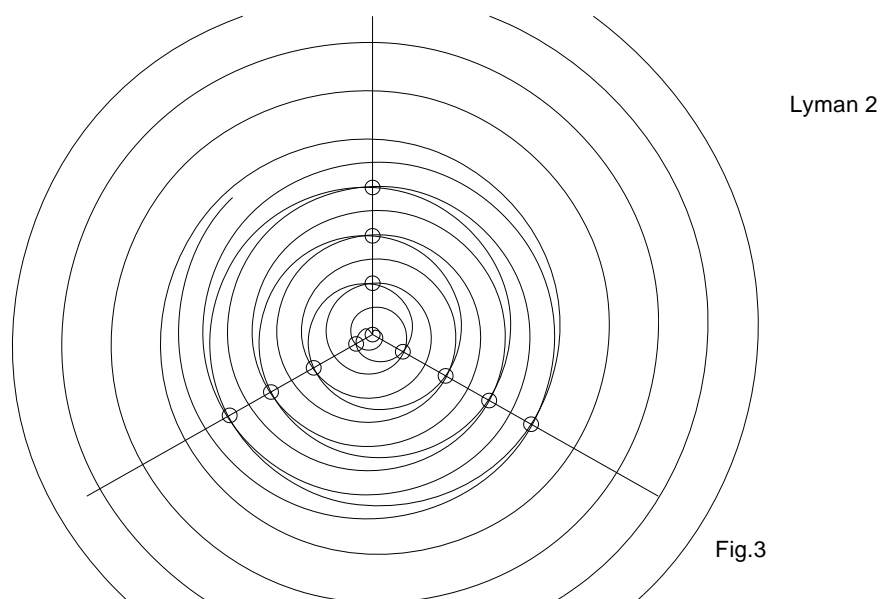
λ_{vac} є довжиною світлової хвилі, емітованої у вакуумі, R_H є сталою Ридберга для водню, n_1 і n_2 є цілими числами, з яких $n_1 < n_2$.

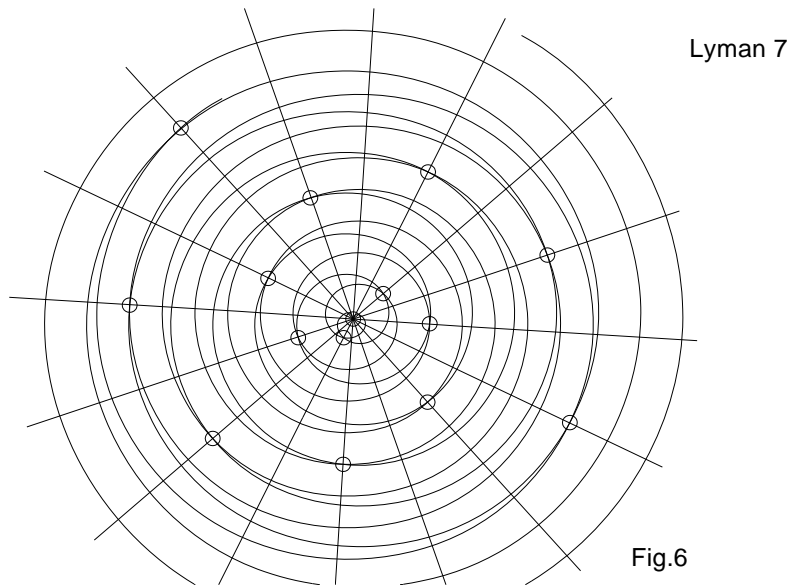
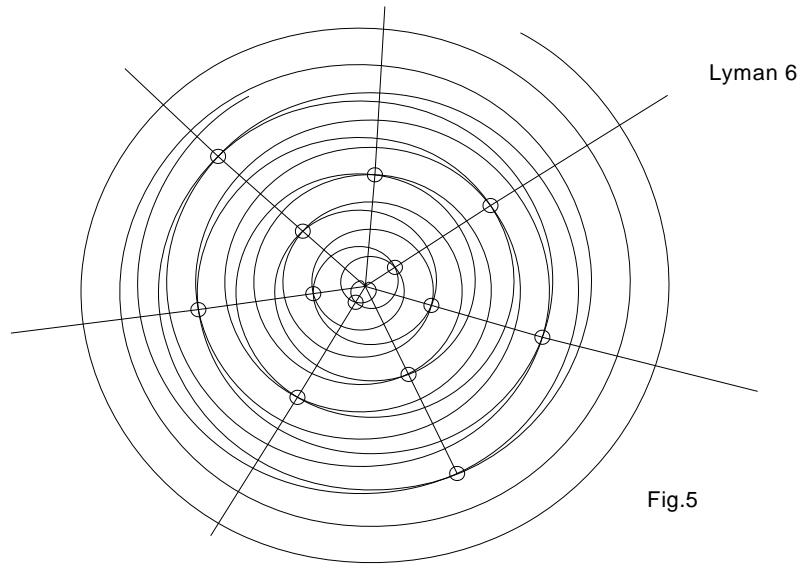
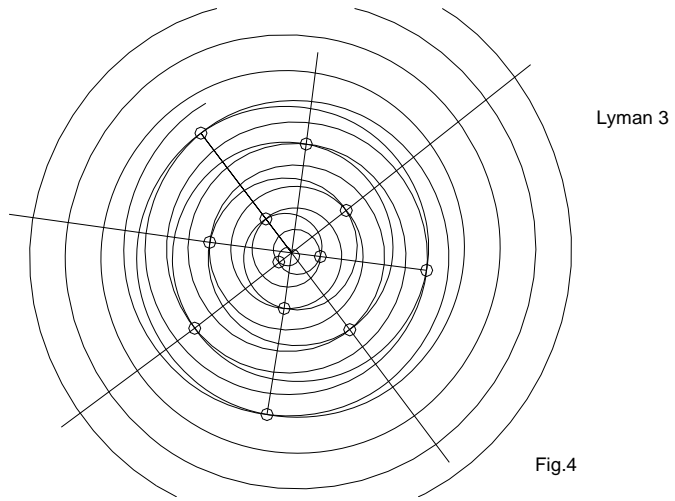
Помноживши ліву і праву частини формули (4) на швидкість світла у вакуумі c і одержавши

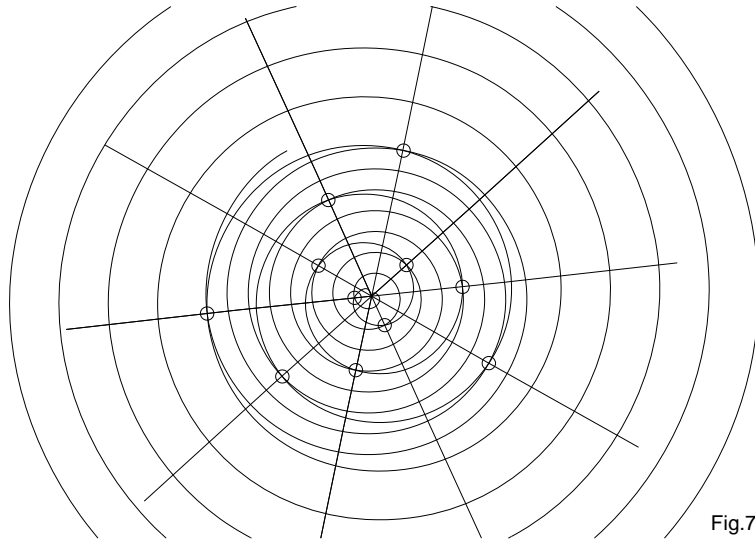
$$\frac{c}{\lambda_{vac}} = R_H c \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

переконуємось у тому, що в одержаній вище формулі (3) ν' асоціюється з частотою світла $\frac{c}{\lambda_{vac}}$, R з $R_H c$, а n_1 і n_2 з m і n .

На наведених нижче фігурах від Fig.3 до Fig.10 зображені схеми фотонотворення, що відповідають 2, 3, 6 і 7 лініям серії Лаймана, 3 і 5 лініям серії Бальмера і 7 і 8 лініям серії Пашена. Центральні точки кожної з цих схем позначають положення центру молекули водню, від якої беруть початок по 2 спіралі Архімеда, що позначають 2 зустрічні первинні хвилі. Точки перетину первинних хвиль розміщуються вздовж рівномірно прокреслених в кутовому просторі 2π радіусів, хоч для випадків, коли $(n + m)$ і $(n - m)$ парні, на кресленні можна нарахувати лише n радіусів, кожен з яких насправді є подвійним. Пояснення такому роздвоєнню можна знайти в тім, що орбіти електронів в дійсності не можуть бути ідеально круглими, унаслідок чого повного збігу двох різних точок зустрічі електронів, а відтак і відповідних радіусів, важко було б чекати.

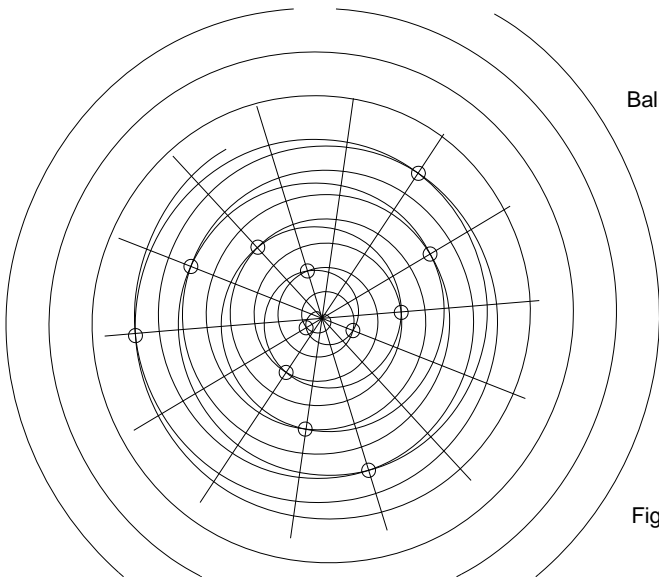






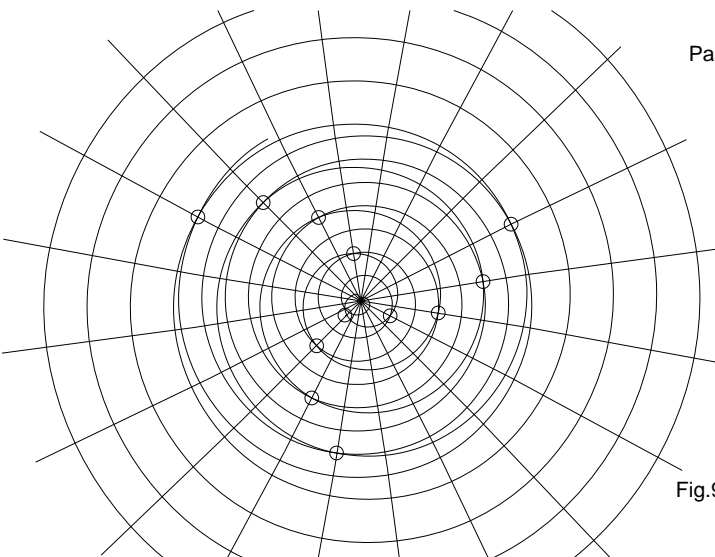
Balmer 3

Fig.7



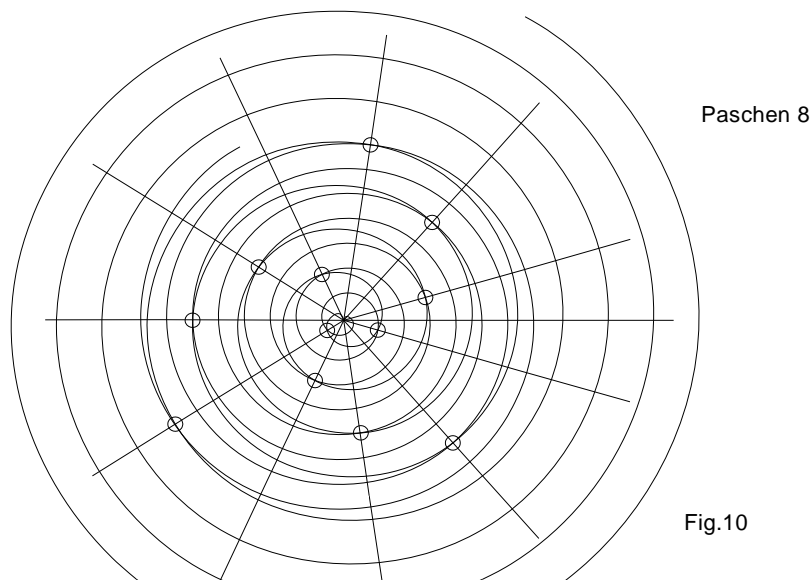
Balmer 5

Fig.8



Paschen 7

Fig.9



Висновки:

З викладеного вище напрашуються такі висновки:

- 1) Світло (видиме і невидиме) має хвильову природу і поширюється в ефірному середовищі, котре свого часу увійшло в науку під назвою «світлоносний ефір»;
- 2) Кванти світлової енергії утворюються унаслідок орбітального руху електронів в атомах та молекулах шляхом відбору і наступної концентрації енергії тих елонів, або корпускул ефіру, котрі при здійсненні свого хаотичного руху завдають ударів електронам в напрямі на ядро атома, або молекули;
- 3) Орбітальний рух електронів в атомах та молекулах породжує виникнення в оточуючому кожен з них ефірному просторі зустрічних електромагнітних хвиль, що мають форму спіралей Архімеда (первинних хвиль), а фотони є дискретними хвильовими формуваннями, що утворюються при перетинаннях зустрічних первинних хвиль;
- 4) Зустрічні первинні хвилі формуються завдяки зустрічному обертанню електронів, зокрема двох зустрічних електронів молекули водню;
- 5) Первинні хвилі формуються завдяки тому, що ті елони (корпускули ефіру), котрі завдають ударів електронів ззовні вздовж радіуса, що поєднує електрон з ядром атома, чи молекули, відскакують від нього втрачаючи (принаймні частково) свою кінетичну енергію, а саме ту енергію, котра витрачається на викривлення траєкторії електрона (з прямої лінії на коло);
- 6) Фронти первинних хвиль – це рухомі зі швидкістю світла зони ефірного простору, котрі є характерними поменшеною кількістю елонів з швидкостями в напрямі від ядра атома, чи молекули;
- 7) Дарма що перетинання первинних хвиль відбувається в дуже обмежених зонах простору, завдяки чому фотон повинен характеризуватися дуже великою щільністю, він має також бути витягнутим у площині обертання електронів, чим можна пояснити ефект поляризації світла, тоді як площина обертання електронів має слугувати площиною поляризації утвореного світла.
- 8) В формулі Бальмера-Ридберга $\nu = cR_H \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$, котра визначає частоту світла, генеровану молекулою водню, cR_H є частотою обертання електронів навкруг ядра молекули, а дріб $\frac{n_2}{n_1}$, що визначає відношення частоти обертання молекули до частоти обертання електронів є показником її температури;
- 9) Світло поширюється в площині обертання електронів, і радіальні напрямки його поширення ділять кутовий простір молекули водню в площині поширення світла, або в площині його поляризації на $2n_1 n_2^2$ рівних частин;

10) Частота послідовного формування фотонів, поширюваних в усіх напрямках, становить

$$\frac{2cR_H n_2^2}{n_1} (n_1^2 - n_2^2);$$