

## 5. О природе света

### 5.1. Фотоны – положительно заряженные частицы

Свет - это поток положительно заряженных частиц – фотонов (см.п.2.1). Пока что, примем это как аксиому, которая, в дальнейшем, не вступит в противоречие ни с одним из фактов и будет подтверждена доказательствами. В качестве тому подтверждения можно привести факт приобретения положительного заряда некоторыми материалами под действием света. Или, скажем, переход электрона на более низкую орбиту при излучении кванта света, что говорит об увеличении отрицательного заряда электрона, который сильнее притянулся к положительному ядру, что, в силу закона сохранения заряда, свидетельствует о положительном заряде излученного фотона.

Да, и само определение света как электромагнитной волны, говорит о присущей ему электрической природе. Кстати, заряд фотона осторожно определяют, как:  $q < 10^{-35}e$ , но не  $q=0$ !

Перейдем теперь к световым явлениям, ранее необъяснимым корпускулярной теорией света: преломлению, дисперсии, дифракции, поляризации.

### 5.2. Преломление и дисперсия

У диэлектриков (стекло, вода) на поверхности существует положительный электрический заряд, вызванный смещением поверхностных электронов вглубь тела. Между положительным поверхностным зарядом и отрицательным зарядом смещенных вглубь электронов образуется разность потенциалов - своего рода, конденсатор.

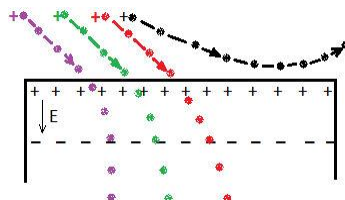


Рис.5.1

У фотонов фиолетового цвета заряд (или  $q/m$ ) больше, чем у красного, и потому в поле конденсатора они отклоняются сильнее. Происходит дисперсия света.

При скользком же угле падения (на рис.5.1-черный цвет) вследствие длительного взаимодействия с отталкивающим положительным поверхностным зарядом фотоны не успевают проникнуть внутрь конденсатора и отражаются от поверхности.

Этот угол полного отражения отличается у фотонов разного цвета. Поэтому часто можно наблюдать радуугу при отражении белого света от поверхности.

### 5.3. Дифракция на одиночной щели

Пучок света падает на узкую щель. На фотоны в пучке действует сила взаимного электрического отталкивания фотонов, стремящаяся расширить пучок. Кроме того, на них действуют амперовы силы взаимного магнитного притяжения фотонов друг к другу, удерживающие фотоны в узком пучке.



Рис.5.2

После прохождения узкой щели (вот для чего она нужна) пучок становится настолько тонким, что магнитные силы притяжения теряют свое доминирование, и от пучка начинают отрываться крайние фотоны (которые слабее других удерживаются магнитными силами, и сильнее других отталкиваются электрическими, - крайние, одним словом). За ними отрываются следующие, ставшие теперь крайними фотоны. Но на эти фотоны действуют уже силы отталкивания, как со стороны пучка, так и со стороны ранее оторвавшихся фотонов. В результате, они оказываются где-то посередине между ними. Так же происходит и с последующими оторвавшимися от пучка фотонами, которые, в итоге, попадают на экран с равными интервалами между ними. В то же время, основная масса фотонов попадает в центр экрана, так и не успев рассеяться на пути к нему.

Чем больше заряд фотонов, тем дольше, благодаря магнитным силам, они удерживаются в пучке и рассеиваются на меньший угол. Поскольку фотоны фиолетового цвета имеют больший заряд, они образуют более плотную дифракционную картину с меньшими интервалами между максимумами.

Вот так образуется дифракционная картина.

#### 5.4. Дифракция единичных фотонов

Казалось бы, непреодолимую трудность для корпускулярного объяснения должна представлять дифракция единичных фотонов. Как может сам с собой интерферировать фотон?! Ведь даже волновая теория тут спасовала и прибегла к помощи неопределенно-статистического толкования положения частицы, которая, оказывается, может находиться где угодно с какой-то вероятностью. Мягко выражаясь, предположения очень неубедительного, - даже для Эйнштейна, сказавшего: «Бог не играет в кости!».

Попробуем объяснить это явление.

Дело в том, что заряженные частицы, попадая на экран, там и остаются, и начинают взаимодействовать с вновь прибывающими частицами. А, именно, они отталкивают их от себя. Отталкивают в шахматном порядке: вверх – вниз, формируя знакомую нам дифракционную картину.

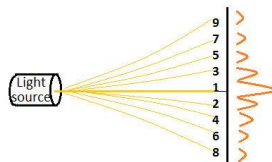


Рис.5.3

Математическое моделирование этого процесса показало, что частицы будут располагаться на кратных расстояниях от центра картины. На рис.3 эти частицы пронумерованы в порядке их попадания на экран.

Расстояние между максимумами зависит от заряда, массы и скорости частиц. Физически это происходит следующим образом.

Первая частица попадает в центр экрана. Вторая частица (как, впрочем, и любая другая), имея ничтожно малое первоначальное отклонение при вылете из источника, скажем, вниз, начнет увеличивать это отклонение под действием силы отталкивания от первой частицы на экране. На третью частицу будут действовать силы первых двух, отталкивающие ее вверх. Четвертая может отклониться как вверх, так и вниз, поскольку на экране перед ней симметрия зарядов относительно центральной оси. Это не меняет сути. Для простоты и наглядности (четные - снизу, нечетные - сверху) на рис.3 показано ее отклонение вниз. Теперь перевес сил отталкивания будет у нижней стороны, и пятая, безоговорочно, отклонится вверх. И так далее, с равными интервалами между точками попадания на экран.

Это в упрощенном виде. Теперь несколько деталей. Вначале по центру экрана накапливается некая критическая масса зарядов из-за слабости одиночных сил отталкивания. Такой себе - кластер частиц. Впоследствии он будет играть главную роль в модуле силы отталкивания новой частицы, а вот направление ее движения (перевод стрелок вверх - вниз) будет определяться чередующейся асимметрией зарядов на экране.

Частица на выходе из источника излучения находится в состоянии неустойчивого равновесия, как шарик на вершине конуса, и выбор направления определяется любым ничтожно малым перевесом сил. Но, повторим, этот выбор не определяет ничего в итоговом расположении частиц на экране: они будут расположены на тех же местах, с теми же интервалами только в другой последовательности!

Необходимо проделать аналогичные опыты по дифракции одиночных электронов, но только уже с заземленным экраном (для снятия зарядов) или с поодиночной фиксацией электронов и последующим стиранием их следов с экрана. Возможно, что никакой дифракционной картины тогда не будет.

#### 5.5. Скорость света в разных средах

Классическая теория ничего внятного по этому поводу не говорит, кроме констатации того факта, что скорость света в данной среде зависит от показателя преломления этой среды, а показатель преломления зависит от скорости света в среде!

Неуклюжим выглядит и «ломовое» объяснение Эйнштейном в «Эволюции физики» преломления света. Если, мол, представить фронт световой волны в виде лома, то, двигаясь к более плотной среде, скажем, песку, под углом, он сначала ближним своим концом заденет за эту среду, затормозится, а дальний его конец начнет поворачиваться вокруг этой точки соприкосновения. В результате, лом замедлится и изменит свой курс.

Здорово! Если бы нам еще объяснили, каким образом лом нарастит свою скорость при выходе из этой среды!

А все объясняется достаточно просто. Свет вообще не меняет своей скорости, ему просто приходится преодолевать более долгий и извилистый путь между атомами вещества. Аналогично, при выходе из этой среды ему незачем (да и каким образом!) наращивать свою скорость, потому что она и не менялась.

А внешне это выглядит как изменение скорости прохождения среды!



Рис.5.6

Такая извилистая траектория движения фотонов объясняет и рассеяние света. Угол вылета конкретного фотона зависит от ориентации его вектора в момент выхода из данной среды (на рис.4 – слегка вверх), а поскольку у каждого фотона своя траектория, то и углы вылета будут различными.

Рассмотрим распространение света в воде. Как это ни странно, но структура воды до сих пор точно не определена. Для простоты рассмотрения, примем тетраэдрическую форму «кристаллической решетки» воды, что не слишком далеко от истины. Траектория фотонов в воде будет, конечно же, отличаться от упрощенного ее представления на рис.4 и, главным образом, тем, что это будет не плоская синусоида, а объемная цилиндрическая спираль(рис.5.5), поскольку на фотон будут действовать силы со стороны всех молекул, окружающих его на пути следования.



Рис.5.5.

На рис.5.6 оранжевым цветом показана в 2D траектория фотона в воде. Поскольку считается, что скорость света в воде в 1.33 раза меньше, чем в вакууме, постольку длина спиральной траектории фотона должна быть в 1.33 раза больше длины синей прямой АВ.

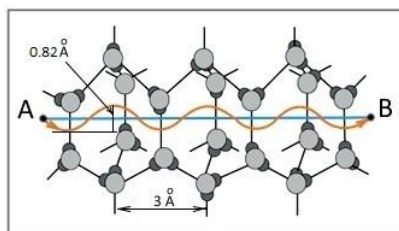


Рис.5.6

Зная среднее расстояние между молекулами воды  $H = 3$  ангстремам (период витка спирали) и длину витка спирали  $L = 1.33H$  мы легко находим диаметр спирали  $D = 0.82$  ангстрема по формуле:

$$L = \sqrt{H^2 + \pi^2 D^2}$$

(5.1)

Именно при таких условиях фотон преодолевает расстояние от т.А до т.В в 1.33 раза медленнее, чем по прямой, а нам при этом кажется, что его скорость в воде в 1.33 раза меньше, чем в вакууме!

Скорость фотонов во всех средах постоянна -  $3 \cdot 10^8$  m/s!

Возьмем, к примеру, стекло с коэффициентом преломления 1.6. Оно также имеет тетраэдрическую структуру с расстоянием 1.6 ангстрема между атомами Si и O (интересное совпадение коэффициента преломления с межатомным расстоянием!). Так вот, при шаге спирали в 1.6 ангстрема ее диаметр (размах колебаний фотона) будет равен 0.64 ангстрема.

Это и понятно, ведь ,чем плотнее расположены атомы, тем меньше времени у фотона для отклонения к каждому из них: только начал отклоняться – как уже с другой стороны его притягивает следующий по ходу движения атом. Размах его колебаний уменьшится с 0.82 у воды до 0.64 ангстрема у стекла.

Если бы мы знали напряженность электрического поля между молекулами воды или атомами стекла, то могли бы по этим данным определить заряд фотона, а, точнее, отношение заряда к массе  $q/m$ !

## 5.6. Опыт Физо

В своем известном опыте Физо хотел обнаружить увлечение светоносного эфира потоком воды. Для этого он подавал в трубу под давлением воду и пропускал через этот поток два луча света: один по течению воды, другой против. Эти два луча затем складывались в интерферометре. Предполагалось, что текущая вода будет увлекать с собой эфир и, следовательно, скорость луча света в попутном направлении будет больше на величину скорости потока воды, а против течения – меньше. Оказалось, что луч света не полностью увле-

кается эфиром, а частично. Объяснения этого явления довольно сложны. Все объясняется гораздо проще.

На рис.5.7 показан путь фотона: в неподвижной воде – **S1**; против течения воды, движущейся со скоростью  $U$ , – **S2**; и по течению воды – **S3**.

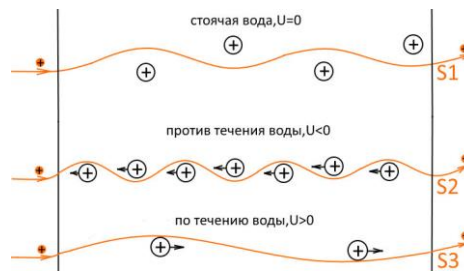


Рис.5.7

Скорость света постоянна во всех средах. Из-за различия в их плотности, выраженной коэффициентом преломления среды  $n$ , фотону приходится преодолевать более или менее извилистый путь, то есть, большее или меньшее расстояние.

Когда фотон движется навстречу потоку воды, он встречает на своем пути больше атомов среды, которые как бы набегают на него. Фотон при этом проходит большее расстояние, взаимодействуя (огывая) с каждым из атомов ( $S2 > S1$ ). Воспринимается это, как увеличение плотности среды.

А когда он движется в попутном с водой направлении, то встречается с меньшим числом атомов, которые, так сказать, уплывают от него, как бы уменьшая плотность воды. Расстояние при этом проходит меньшее ( $S3 < S1$ ).

Теперь немного конкретнее. Вернемся к параметрам траектории фотонов в воде и стекле, приведенным в предыдущем параграфе (рис.5.6).

Когда фотон распространяется в движущейся попутно с ним со скоростью  $U=10\text{ м/с}$  воде, то период спирали  $N$  увеличивается с 3 до 3,000000133 ангстрем, диаметр спирали не меняется, а «увеличение скорости» фотонов (формула 5.1) составит  $\Delta V = 4.39\text{ м/с}$ . Теория, а, на самом деле, эмпирическая подборка физиками формулы (ибо теория тут спасовала) :

$$\Delta V = (1 - 1/n^2)U$$

(5.2)

дает нам прибавку в скорости, равную 4.35 м/с.

Как видим, все отлично сходится!

При движении фотона в движущейся более плотной (скажем, стеклянной) среде произойдет увеличение периода спирали с 1.6 до 1.600000085 ангстрем. При этом скорость прохождения фотоном участка воды (а не сама скорость фотона!) по нашим расчетам (формула 5.1) увеличится на 6.09 м/с. Физическая теория дает точно такой же результат – 6.09!

Что и требовалось доказать. Все дело в извилистом слаломе фотонов между атомами среды. А скорость фотонов – константа.

## 5.7. Поляризация

Фотоны – не просто заряженные частицы, это еще и неравномерно заряженные частицы. Своего рода диполи. Это, вообще говоря, минимальные допущения по сравнению с теми характеристиками, которыми наделяет фотон физическая наука: масса, заряд, спиральность, длина волны, угловая частота, энергия, спин, зарядовая четность, спиновые состояния...

В принципе, любая заряженная частица: будь она диэлектриком, проводником или плазмой, будет неравномерно заряженной. Исключение составит только равномерно-заряженный диэлектрический шар. Да и получить его не так-то просто. Представим себе фотон в форме капли. Тогда, у его узкого конца плотность заряда будет больше, и этот конец можно считать положительным полюсом диполя.

Это вовсе не означает, что частица является полноценным диполем, а говорит о том, что во внешнем электрическом поле  $E$  частица не останется неподвижной, а сориентируется сообразно силовым линиям этого поля. См.рис.5.8.

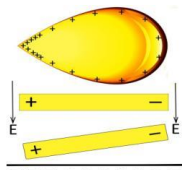


Рис.5.8

На рис.5.8 – притянется к отрицательно-заряженной поверхности левым краем больше, чем правым, то есть, повернется.

Ориентация диполей фотонов в пространстве – хаотична. Нет какого-то приоритетного направления. Другими словами, поляризация света не двумерна (X-Y), а трехмерна (X-Y-Z)!

Объясним известное явление поляризации света при отражении его от стеклянной пластинки.

На стекло падают хаотично поляризованные фотоны. Вектор каждого из них можно разложить на шесть пространственных составляющих:  $+X$ ,  $+Y$ ,  $+Z$  (оранжевый цвет на рис.9,10,11) и  $-X$ ,  $-Y$ ,  $-Z$  (синий цвет). Ось  $Z$  всегда совпадает с направлением движения фотона. Рассмотрим процесс отражения каждой из этих составляющих.

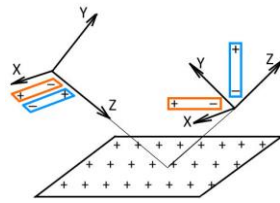


Рис.5.9

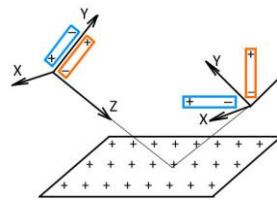


Рис.5.10

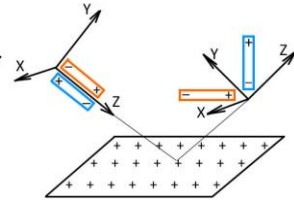


Рис.5.11

Напомним, что стекло имеет положительно-заряженную поверхность.

1. Отражение X-составляющих (рис.5.9).

Приближаясь к поверхности положительный конец диполя начнет отталкиваться от нее, поворачивая тем самым диполь в плоскости  $X-Y$ . В результате, после отражения диполь займет какое-то промежуточное положение между осями  $X$  и  $Y$ . То есть, как бы потеряет часть своей  $X$ - составляющей (проекция диполя на ось  $X$ ) приобретая взамен  $+Y$ - составляющую.

2. Отражение Y-составляющих (рис.5.10).

Приближаясь к поверхности плюс диполя начнет отталкиваться от нее, поворачивая тем самым оранжевый диполь в вертикальное положение, а синий – в горизонтальное. После отражения диполи займут положение между осями  $Y-Z$ , потеряв часть своей  $Y$ -составляющей. Однако, и это интересно, оба диполя будут с положительной  $+Y$  ориентацией! При этом оранжевый диполь приобретет  $+Z$ , а синий  $-Z$ - составляющую.

3. Отражение Z- составляющих (рис.5.11).

После отражения оранжевый диполь потеряет часть своей  $Z$ -составляющей, приобретая взамен  $-Y$ - составляющую, а синий поменяет с минуса на плюс знак своей  $Z$ -составляющей и приобретет  $+Y$ - составляющую.

Представим все эти метаморфозы в численном виде. До падения на пластинку фотоны не имели какой-нибудь приоритетной ориентации в пространстве.

На рис.5.9, 5.10, 5.11 по всем осям полярности диполей скомпенсированы. Примем величину их начального дипольного момента по направлениям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , соответственно, за единицу.

Тогда изначально по оси  $X$  мы имели два диполя  $+1,0$  и  $-1,0$ . Аналогично с осями  $Y, Z$ .

После отражения суммарные дипольные моменты по осям распределятся примерно так:

- по оси  $X$ :  $+0,5$  и  $-0,5$ ;
- по оси  $Y$ :  $+3,5$  и  $-0,5$ ;
- по оси  $Z$ :  $+2,0$  и  $-0,5$ .

Это означает, что при отражении от стеклянной пластинки произойдет переориентация диполей главным образом в  $+Y$  направлении и, в два раза меньшей степени, в  $+Z$  направлении, в основном, за счет  $X$ -ориентированных фотонов.

Произойдет частичная поляризация света.

Если угол падения света будет больше или равен углу Брюстера, то есть, когда свет падает под касательным углом к пластинке, степень поляризации увеличивается, как и показывает опыт:

- по оси  $X$ :  $+0,2$  и  $-0,2$ ;
- по оси  $Y$ :  $+4,0$  и  $-0,2$ ;
- по оси  $Z$ :  $+1,2$  и  $-0,8$ .

Интересен также случай угла падения, близкого к нормали – отвесному:

- по оси  $X$ :  $+0,9$  и  $-0,9$ ;
- по оси  $Y$ :  $+1,0$  и  $-0,8$ ;
- по оси  $Z$ :  $+3,0$  и  $-0,9$ .

В этом случае поляризации в привычных нам плоскостях  $X$  и  $Y$  не происходит (их диполи разнополярны с моментом, близким к единице), зато увеличивается суммарный момент по оси  $+Z$ !

Таким образом, в качестве поляризатора света в  $Z$  плоскости могут выступать две зеркальные поверхности, попеременно отражающие луч света, с углом падения близким к нормали.

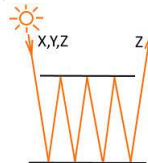


Рис.5.12

Следует отметить приближенно-схематичный, умозрительный характер этих вычислений, поскольку точно не известны ни степень электрической поляризации фотонов, ни угол их поворота при отражении, ни множество других факторов.

И еще об одном способе поляризации. При прохождении кристалла турмалина световой луч разделяется на два луча, один из которых в результате оказывается поляризованным.

Попробуем объяснить это явление с корпускулярной точки зрения.

Весьма условно, очень схематично и еще более – гипотетично, не вдаваясь в тонкости кристаллографии, представим прохождение неполяризованного света через кристалл турмалина имеющего ромбоэдрическую структуру со сложными взаимосвязями между ионами решетки. В таком кристалле всякого рода неоднородностей, в том числе, и электрического поля, хватает. Пусть эта неоднородность выражается в преобладании положительных ионов или, проще говоря, зарядов на острых углах ромбов кристалла турмалина.

При попадании на эти углы хаотично ориентированные диполи фотонов будут менять свою ориентацию, поляризоваться и двигаться по одному из двух каналов с противоположной полярностью движущихся диполей. См.рис.5.13.

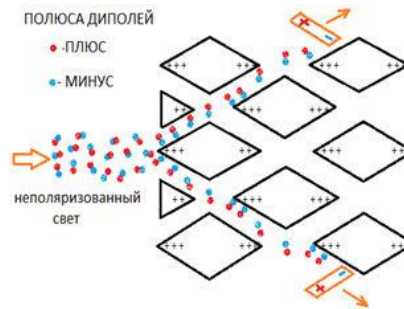


Рис.5.13

На выходе при этом получается поляризованный свет.

В качестве поляризатора может выступать просто тонкая острая грань стеклянной или металлической пластины. Если на нее направить луч света, то эта грань разделит его на два противоположно-поляризованных луча.

Для усиления эффекта можно придать пластине электрический заряд, меняя полярность которого можно переключать знак вектора поляризации.

Немного о круговой поляризации. В процессе любой поляризации фотоны поворачиваются, принимая новое положение. Если прервать этот процесс, так сказать, на полуслове, в стадии вращения, подобрав соответствующую толщину кристалла или пластины, то фотоны продолжат по инерции вращаться и после выхода из поляризатора. Это не значит, что в какой-то конкретной точке пространства все фотоны будут иметь одну и ту же ориентацию, ведь фаза вращения у них будет разной. Но каждый из них будет иметь круговую поляризацию.

## 5.8. Явление фотоэффекта

Небольшое лирическое отступление. Явление фотоэффекта – бальзам на душу сторонников корпускулярной теории света. Это - их территория. Здесь можно ничего не добавлять. Но добавим. Совсем не нравится его объяснение, точнее, отсутствие такового. Ведь не принимать же за объяснение оборот из той же «ломовой» лексики: кванты света ВЫБИВАЮТ электроны с поверхности! Почему не забивают их в глубь, что было бы логичнее?!

А все очень просто. У фиолетовых фотонов заряд больше (см.5.2), а потому, попадая на поверхность металла, они просто своим положительным зарядом уменьшают поверхностную разность потенциалов, облегчая работу выхода электронов и увеличивая их скорость. От количества (1, 2, или 3 фиолетовых) фотонов, падающих на поверхность, зависит и количество (1, 2, или 3) освобожденных каждым из них электронов, а от «цвета» фотонов (их заряда) зависит их скорость (скорость электронов, освобожденных фиолетовыми фотонами больше скорости, освобожденных зелеными и, тем более, красными). Очень простое объяснение законов фотоэффекта.

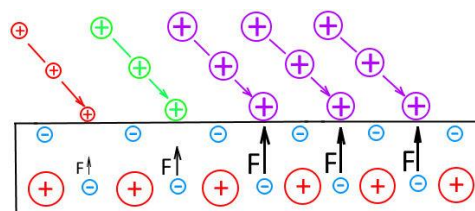


Рис.5.14

Нет никакого выбивания электронов – а есть понятное электрическое взаимодействие частиц!

## 5.9. Комптоновский эффект

Немного критики. Размер электрона –  $10^{-20}$ м, а длина волны гамма-фотона -  $10^{-11}$ м. Скажите, как может от маленького электрона отразиться под углом фотон с размером в миллиард раз большим, чем размер электрона? Это все равно как рассуждать об отклонении под углом тучи размером с Землю вишневой косточкой! Речь идет даже не об энергии, а о площади взаимодействия косточки с Землей. Размер фотона, в таком случае, должен быть хотя бы соизмеримым с размером электрона, а, скорее всего, гораздо меньше.

Попробуем объяснить этот эффект по-другому. В опыте фотон **P** при столкновении с электроном **e** меняет не только траекторию, но и свою длину волны (рис.5.15). С траекторией нам понятно – происходит отражение. А почему увеличивается длина волны фотона? Напомним, что чем больше длина волны фотона (в волновой теории света), тем меньше его положительный заряд (п.5.2).

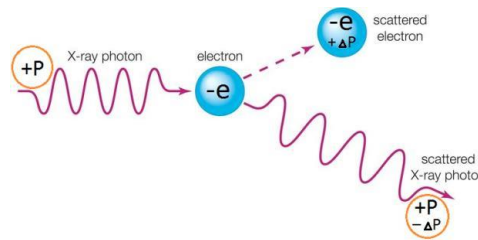


Рис.5.15

Фотон, падая на электрон, отдает ему часть своего положительного заряда, как бы «прилипая» на время к нему. Поэтому после контакта положительный заряд фотона уменьшается на величину  $\Delta P$ , а заряд электрона увеличивается на  $+\Delta P$ .

Как уже говорилось выше, уменьшение заряда фотона соответствует увеличению его длины волны в классическом понимании. При этом, чем плотнее, а, следовательно, и дольше будет происходить контакт этих частиц, тем большая часть заряда фотона останется с электроном. А происходит это будет лучше при прямом, а не касательном ударе, то есть, когда время взаимодействия будет больше. При этом должны наблюдаться большие углы отклонения фотона. Все - как в опыте.

Современная физика говорит о квантовании заряда, то есть о том, что заряд должен быть кратным заряду электрона (хотя, при этом, допускает заряд  $1/3e$ ). В нашем случае понятно, что после контакта заряд электрона не станет равным нулю. В таком случае представляются возможными три варианта.

1. Заряд самого электрона таки уменьшится на  $\Delta P$ , и тогда придется пересмотреть тезис о кратности электрического заряда. Потребуется проведение очень точного опыта по определению величины заряда электрона после столкновения с фотоном.
2. Заряд электрона останется неизменным, но к нему присоединится частичка фотона с зарядом  $\Delta P$ .
3. Эта маленькая частичка оформится в самостоятельную положительно заряженную частицу с частотой в десятки раз меньшей частоты падающего фотона, то есть, соответствовать рентгеновскому спектру.

Надо бы после столкновения хорошенько поискать этот маленький положительно заряженный рентгеновский фотон!

## 5.10. Эффект Фарадея

Этот эффект также объясняется элементарно просто. При движении вдоль магнитных силовых линий положительно-заряженный фотон будет двигаться по спирали, поскольку всегда присутствует ничтожно малая составляющая вектора фотона, перпендикулярная направлению его движения. Эта составляющая может быть вызвана, да хоть бы, взаимным отталкиванием фотонов – любой луч рассеивается. Положительный заряд закручивается вокруг магнитной силовой линии по часовой стрелке, что и соответствует вращению плоскости поляризации в эффекте Фарадея. Скорость поворота более положительного полюса диполя (см.п.5.7) будет больше, чем у менее положительного, согласно формуле:  $\omega = \frac{q \cdot B}{m}$ . Поэтому, в целом, диполь повернется по часовой стрелке, то есть, изменит свой вектор поляризации.

И нет ничего удивительного в том, что при обратном движении луча направление поворота плоскости поляризации не меняется, так как теперь он будет вращаться против часовой стрелки, то есть, в том же направлении, что и прямой луч.

## 5.11. Эффект Зеемана

### 5.11.1. В поперечном магнитном поле

Известно, что при прохождении поперечного магнитного поля монохроматический неполяризованный луч света с частотой  $\omega$  расщепляется на 3 гармоники:

1. Линейно поляризованная с той же частотой, что и падающий луч  $\omega$ ;
2. Линейно поляризованная (перпендикулярно первой гармонике) с частотой  $\omega - \Omega$ ;
3. Линейно поляризованная (перпендикулярно первой гармонике) с частотой  $\omega + \Omega$ .

Объясним, как это происходит.

На рис.5.16 вектор скорости луча  $\mathbf{V}$  направлен от наблюдателя, а вектор магнитного поля направлен вверх. Вектор поляризации луча можно разложить на две составляющие: вертикальную (а) и горизонтальную (б).

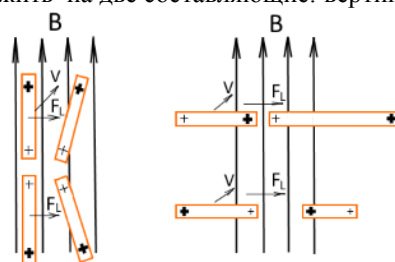


Рис.5.16

а)

б)

На фотон будет действовать сила Лоренца  $F_L$ , направленная вправо. Причем, на более положительный полюс диполя (+) сильнее, чем на менее положительный. Таким образом, вертикально ориентированные диполи наклонятся, как показано на рис.5.16а. Размеры диполей (а они вместе с зарядом определяют частоту) не меняются. Эти почти вертикальные диполи и составят луч 1.

Горизонтально ориентированные диполи (5.16.б) при смещении вправо подвергнутся деформации: верхний вытянется в длину, а нижний сожмется, поскольку на более положительный полюс диполей  $F_L$  действует сильнее. Верхние, более длинные диполи, образуют луч 3, а нижние, короткие, - луч 2.

Объясним теперь, каким образом при одном и том же заряде размеры диполя влияют на его частоту. В п.5.3 показан принцип образования дифракционной (интерференционной) картины. Чем сильнее фотоны удерживаются в пучке, тем чаще узлы дифракционной картины, что говорит наблюдателю о более высокой частоте исследуемого луча света.

Так почему же более длинный верхний фотон (рис.5.16б) сильнее удерживается в пучке, чем короткий? Взгляните на рис.5.17, где схематично показан пучок горизонтальных фотонов разной длины движущихся от наблюдателя.

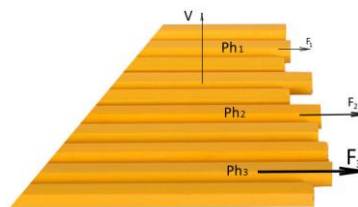


Рис.5.17

Фотоны, находящиеся в центре пучка, покинут его в последнюю очередь, так как испытывают отталкивание со всех сторон. Так же происходит и с более длинными фотонами Ph3, сидящими глубже в пучке, чем короткие Ph1. Для их выталкивания из потока потребуется большая сила F3.

Тут происходит интересное явление. На самом деле, фотоны всех трех лучей имеют одинаковый заряд (или  $q/m$ ), а, следовательно, и одинаковый цвет! Просто их различное положение на экране интерферометра говорит наблюдателю о якобы разных частотах! Видимое и действительное различаются.

### 5.11.2. В продольном магнитном поле



Известно, что в продольном магнитном поле исходный луч с частотой  $\omega$  исчезает, а взамен появляются два луча:

1. С частотой  $\omega - \Omega$  и круговой поляризацией по часовой стрелке;
2. С частотой  $\omega + \Omega$  и круговой поляризацией против часовой стрелки.

Все это объясняется просто. Положительный фотон в продольном магнитном поле движется по спирали, закручиваясь против часовой стрелки.



Рис.5.18

При этом он совершает периодические изменения наклона своего диполя то по часовой стрелке, то против на протяжении одного оборота.

На рис.5.19 вектор магнитного поля и вектор исходной скорости фотона направлены от наблюдателя.

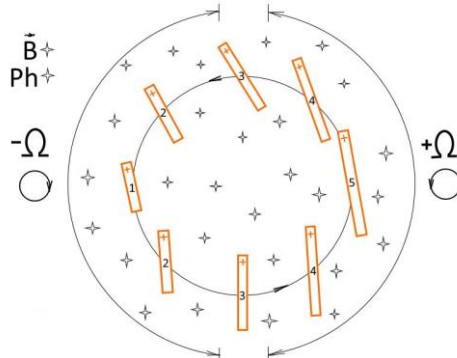


Рис.5.19

Двигаясь снизу вверх, фотон растягивается в длину и поворачивается против часовой стрелки, а при движении сверху вниз он сжимается и вращается по часовой стрелке. Цифрами внутри фотонов указана их относительная длина.

При выходе из магнитного поля каждый фотон сохранит направление вращения на момент выхода. Таким образом, количество фотонов, с правой и с левой круговой поляризацией будет одинаковым.

В то же время, незакрученных фотонов не останется, равно, как и фотонов с исходными средними размерами.

Таким вот образом и получаются эти два луча с круговой поляризацией и слегка измененными на величину  $\pm \Omega$  частотами.

### 5.13. Немного критики волновой теории света

Если солнечный свет представляет собой сплошной спектр волн от красного до фиолетового, то все эти гармоники в пакете будут взаимодействовать между собой таким образом, что в результате сложения всех гармоник останется одна с частотой, соответствующей середине спектра - зеленому цвету. При этом ее амплитуда будет равна сумме амплитуд всего спектра, то есть, она как бы вберет в себя все окружающие ее цвета. Останется только один очень яркий зеленый цвет. Чего мы, разумеется, не наблюдаем! Свет – белый.

Приведем результат сложения 70-ти цветов спектра солнечного света.

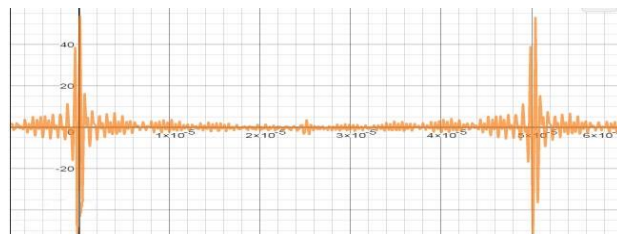


Рис.5.21

Мы видим импульсы (можно сказать, волновые пакеты) средней частоты.

На рис.5.22 в увеличенном масштабе видна длина волны этой результирующей гармоники.  $5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  - это, как раз, длина волны зеленого цвета!

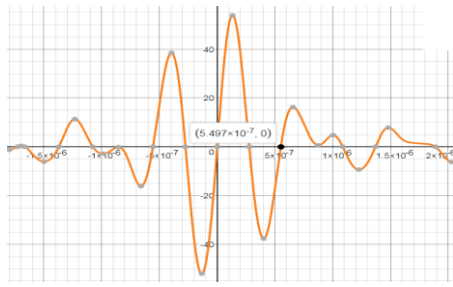


Рис.5.22

А, вот, фотоны, в отличие от волн, прекрасно уживаются друг с другом!