



Блог Игоря Иванова

<http://igorivanov.blogspot.ru/2011/05/oam-2.html>

5 мая 2011 г.

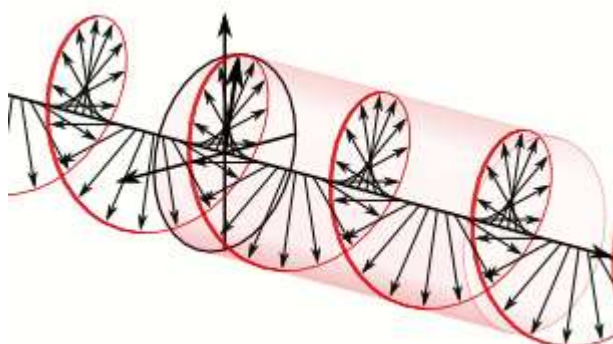
Орбитальный угловой момент фотона (наглядные объяснения и дискуссии). Часть 2.

В продолжение темы про [фотоны с орбитальным угловым моментом](#) (ОУМ) — вот чуть более технический пост про то, как орбитальный угловой момент уживается с поляризацией.

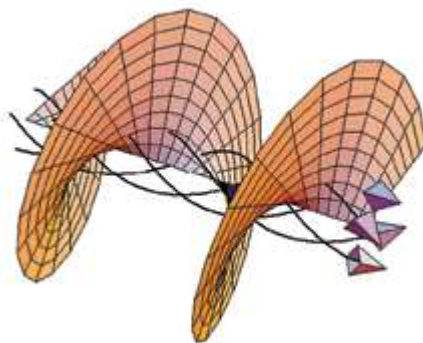
Орбитальный угловой момент и поляризация

Прежде всего, я еще раз хочу подчеркнуть: та «закрученность», которая есть у светового луча с орбитальным угловым моментом — это не круговая поляризация, это совсем другая характеристика. Бывает ОУМ без круговой поляризации, бывает круговая поляризация без ОУМ, бывает и то, и другое вместе. Это две разные характеристики светового поля.

Есть [знаменитая такая картинка](#), на которой световая волна изображена этаким крутящейся спиралью:



Она похожа на ту, что я приводил в [прошлом посте](#).



Но надо понимать, что на верхней картинке изображено вовсе не распределение электрического поля в *реальном пространстве*, а лишь условно показан вектор этого поля вдоль оси движения волны. Эта картинка не меняется при смещении в поперечном направлении, поскольку в плоской волне никакой зависимости полей от поперечных координат нет. Т.е. реально такая волна (если бы мы рисовали именно фазу волны, а не вектор электрического поля) бежит просто вперед, одна плоскость за другой.

А вот на картинке с закрученной волной (скалярной волной, т.е. волной не имеющей никакой поляризации) винтовая поверхность — это поверхность постоянной фазы в реальном пространстве. Такая волна действительно бежит вперед, одновременно накручиваясь вокруг оси.

Разделение спина и ОУМ

На самом деле, во всей этой истории с фотонами, несущими орбитальный угловой момент, есть один сложный и глубокий вопрос — в какой степени можно вообще разделять полный угловой момент фотона на орбитальную и спиновую часть.

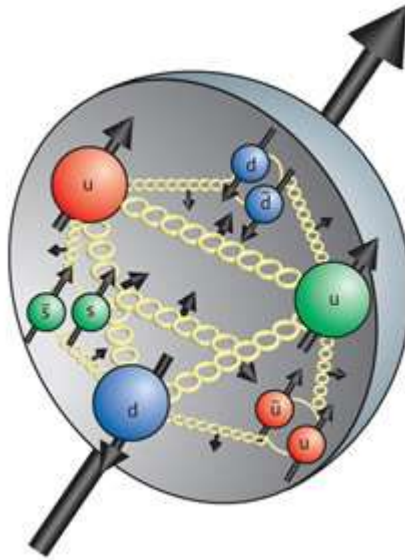
Спин (т.е. поляризация) и орбитальный момент — это две разновидности полного момента импульса. В квантовой механике эти две величины описываются своими операторами: $\hat{S}$ и $\hat{L}$, а оператор полного спина есть просто их сумма $\hat{J} = \hat{S} + \hat{L}$. В квантовой механике по построению понятно, что есть ОУМ и что есть спин, поэтому вопросов об их разделении не возникает.

В теории поля (даже не-квантовой) всё хитрее. Там мы вводим многокомпонентное поле и изучаем, как оно преобразуется при переходе к другой системе координат или системе отсчета. Из этого рассмотрения само вытекает понятие сохраняющего углового момента и понятие спина. Полный момент импульса J (а точнее, его плотность) для электромагнитного поля легко записывается через электрическое и магнитное поля: $\vec{J} = \vec{r} \times \langle \vec{E} \times \vec{B} \rangle$. Эта величина калибровочно-инвариантна и потому наблюдаема.

Однако в квантовой теории разделить ее на два векторных оператора, орбитальный и спиновый, которые обладали бы правильными коммутационными свойствами и были бы еще калибровочно-инвариантными, не удастся. Поэтому возникает впечатление, что разделение полного момента импульса на две части для этих частиц нефизично.

Разделение спина и ОУМ в сильных взаимодействиях

Эта проблема еще больше усугубляется в физике элементарных частиц, когда мы вместо электромагнитных взаимодействий рассматриваем сильные взаимодействия (вместо фотонов — глюоны, вместо электронов — кварки). Теория сильных взаимодействий неабелева и потому нелинейна; в ней отделить свойства кварков от свойств глюонов еще тяжелее. Поэтому тут вопрос о том, можно ли разумным образом ввести орбитальный угловой момент кварков и глюонов встает в полный рост.



Из чего складывается спин быстро движущегося протона? Кто главнее: спин кварков, спин глюонов, их орбитальный угловой момент, или же это разделение вообще не очень осмысленно?

И это не праздный интерес. Дело в том, что уже давно известно, что спин быстро летящего поляризованного протона вовсе не складывается из одних лишь спинов кварков (это так называемая «загадка спина протона», краткий обзор нынешней ситуации см. в [arXiv:0905.4619](https://arxiv.org/abs/0905.4619)). На самом деле поляризация кварков дает совсем небольшой вклад, и значит, почти весь спин протона берется откуда-то еще. На наивном языке обычно приговаривают, что есть мол еще спин глюонов, а также орбитальный момент кварков и глюонов — и всё это должно вместе давать полный спин протона. Сейчас ведутся даже эксперименты, которые пытаются узнать, какой вклад вносят эти компоненты момента импульса в полный спин протона, а тут оказывается, теоретики спорят о том, как вообще определять эти вещи.

Над этой проблемой люди бьются вот уже десяток лет. Почувствуйте ситуацию: тут сложности не в том, как с помощью теории описать экспериментальные явления, а в том, как вообще правильно обращаться с теорией. Желаящим посмотреть, что там за баталии, рекомендую недавнюю статью Эллиота Лидера [arXiv:1101.5956](https://arxiv.org/abs/1101.5956); там есть сначала подробное обсуждение электродинамики, а затем сильных взаимодействий, и ссылки на разные предыдущие работы.

Так разделяются или нет?

Вернемся снова к фотонам. Что сейчас известно точно?

Во-первых, под разделением спина и ОУМ можно подразумевать разные вещи. Это может быть сильное утверждение о разделении операторов как векторов, может быть более слабое утверждение о разделении только z-компонент операторов (т.е. спиральностей), а может быть и еще более слабое утверждение об осмысленном разделении средних значений этих операторов по тем или иным состояниям фотонов.

Во-вторых, если говорить про самое слабое утверждение, то в параксиальном приближении (т.е. световая волна очень плавно меняется в поперечной плоскости) оно работает. Доказывается это несложно. Мы пишем вектор-потенциал с закрученным профилем (с числом закрутки m) и считаем, что у него есть только одна компонента (например, по оси x), что отвечает линейной поляризации. Считаем плотность *полного* момента импульса (а он определен однозначно), делим его на плотность потока и получаем m/ω . На квантовом языке это означает, что каждый фотон несет m квантов полного углового момента.

Теперь запишем двухкомпонентный вектор-потенциал, причем его комплексные x и y компоненты

сдвинуты по фазе на $\pi/2$ — это как раз отвечает круговой поляризации. Повторяем расчет и получаем $(m+1)/\omega$ для положительной спиральности и $(m-1)/\omega$ — для отрицательной. Т.е. спиновой и орбитальный вклад в средние значения момента импульса мило уживаются друг с другом.

А что будет, если выйти за пределы параксиального приближения? Если повторить те же расчеты, то окажется, что спин и ОУМ так просто не суммируются. Однако на эту ситуацию можно посмотреть еще и вот так: в непараксиальном закрученном свете наводится *спин-орбитальное взаимодействие* (и это в линейной волне!), которое и мешает этому разделению. Такую точку зрения предлагает Константин Блюх в статье [arXiv:1006.3876](https://arxiv.org/abs/1006.3876) (и вот еще появившаяся на днях статья [arXiv:1105.0331](https://arxiv.org/abs/1105.0331), где он то же описание разрабатывает для релятивистских закрученных электронов).

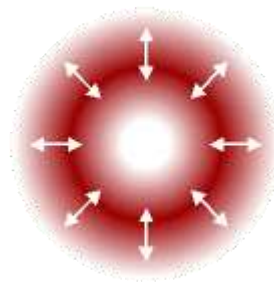
На всякий случай скажу, что сомнений в том, можно ли экспериментально получать световые пучки, комбинирующие орбитальную закрученность с поляризацией, не возникает — конечно, можно. Вопрос только в том, как правильно такие состояния описывать.

Экзотические поляризационные состояния

Напоследок, есть очень наглядное объяснение, почему непараксиальный случай вообще намного сложнее параксиального, когда дело касается поляризации.

В строгой плоской волне электрическое и магнитное поле лежат в плоскости, перпендикулярной направлению движения волны. Для не-плоской волны такой единой плоскости нет. В результате в какой-то выбранной точке вектор электрического поля может иметь все три компоненты. Конечно, *локально* этот вектор по-прежнему лежит в плоскости, ортогональной *локальному* направлению движения волны, но проблема в том, что эти плоскости разные для разных точек пространства.

Такая ситуация называется **трехмерный свет**. Описание такого поля поляризаций, которое меняется от точки к точке — отдельная интересная тема в оптике. Там есть разные поляризационные сингулярности и нетривиальные топологические штуки. Я как-то рассказывал про них [в своем блоге](#) и в новости [Поляризация света может закручиваться наподобие ленты Мёбиуса](#).



Радиально поляризованный свет: вектор электрического поля направлен вдоль радиус-вектора.

В параксиальном приближении ситуация резко упрощается. Мы пренебрегаем z -компонентами полей, и фактически считаем, что все они лежат в единой плоскости. Это конечно резко упрощает описание, но при этом мы теряем некоторые богатства общего трехмерного света. Тем не менее, даже в этой упрощенной ситуации существуют необычные поляризационные состояния света — например, [радиальная поляризация](#), показанная на рисунке выше.

42 комментария:

1.

Анонимный[6/5/11 06:16](#)

Круто!!! У меня мозг завернулся в спираль. :-)

Вопрос - вот свет с ненулевым ОУМ поглощается сферическим конем в вакууме, который при этом является абсолютно черным телом. Как я понял, конь, кроме того, что приобретет некий продольный импульс, начнет еще и вращаться. А что будет с абсолютно белым конем, то есть, который все отражает? Вот здесь мой мозг начинает буксовать.

2.

Анонимный[6/5/11 06:45](#)

Это вопрос интерпретации. В классике Вы можете волну с круговой поляризацией представить как две линейно поляризованные волны, сдвинутые по фазе, и о "вращении" чего бы то ни было можно забыть. Спускаясь на микроуровень, мы обнаруживаем, что электромагнитное поле ПОГЛОЩАЕТСЯ квантами, и появляется желание считать, что свет "состоит" из квантов. Но обнаружить эти кванты в световом потоке, не взаимодействуя с ними нет никакой возможности. Тем не менее, многим очень хочется узнать, как же "устроен" одиночный гамма-квант "внутри". Это определенно не классический "волновой пакет", но вот он "здесь" излучился, "там" поглотился, а в каком виде существовал в промежутке? Но самое интересное то, что если его поляризация круговая, мы не можем его "разложить" на два с линейной, поскольку его энергия уже минимальна. Или это не так? Что касается света вокруг черной дыры. Свет идет по геодезической, и ему наплевать, кривая она, или прямая. Говорить о классическом моменте в такой ситуации, по моему, бессмысленно, разве что для очень удаленного наблюдателя...

3.



qnick[28/5/11 16:20](#)

Игорь, тут на мембране спор [разгорелся](#) в комментариях по поводу массы фотона и ОТО. Напишите что-нибудь умное по этому поводу, пожалуйста.

4.



Igor Ivanov[28/5/11 16:32](#)

Неужто вы хотите, чтоб я читал, о чем там спорят на мембране. Если вы зададите здесь конкретный вопрос, я попробую ответить.

1.



Oleg Zinoviev[18/5/13 12:00](#)

Спасибо вам, Игорь, за популярное изложение.

У меня есть вопросы

- можно ли экспериментально доказать, что групповая скорость фотонов имеющих

ОУМ меньше скорости света, например по задержке сигналов
- я занимаюсь ближкопольной оптической микроскопией и очень желательно обнаружить это явление помощью этой техники - буду рад любой идеи
Олег



[Igor Ivanov20/5/13 15:38](#)

Можно. Делал ли это кто-то, я не знаю, но это должно быть вполне измеримый эффект.
Как это измерить с помощью ближкопольной микроскопии, я не представляю, честно говоря.



[Oleg Zinoviev20/5/13 23:03](#)

Я имел ввиду, как обнаружить в ближком поле ОУМ фотонов вообще, извините за нечеткость.



[Igor Ivanov17/6/13 22:50](#)

Боюсь, не смогу ответить сходу. Мне кажется, раз в ближком поле разделение на оторвавшееся излучение и на связанное с зарядами толком не определено, то мне кажется, нет большого резона что-то говорить про ОУМ фотонов. Но это мое ИМНО.



[qnick29/5/11 20:32](#)

Масса покоя фотона вроде как равна нулю, иначе на скорости света она стала бы бесконечной. Однако же свет черными дырами притягивается, значит у этого самого фотона масса откуда-то берется.
Вопрос, собственно, откуда?



[Igor Ivanov29/5/11 23:03](#)

Гравитация «чувствует» не массу, а энергию (более точно — на тензор энергии-импульса). Масса — это лишь одна из форм энергии, и причем для нерелятивистских частиц она доминирующая. Для гравитационного воздействия на релятивистские частицы, а тем более на частицы, движущиеся со скоростью света, масса вообще не при чем.

7.

Анонимный [30/5/11 19:00](#)

Вопрос:

Объект, двигающийся со скоростью света, вроде как относительно всего имеет скорость света. Однако.

Летит фотон со скоростью света относительно покоящейся точки, за ним в том же направлении ещё один фотон, тоже со скоростью света относительно этой точки.

Чему равна скорость одного фотона относительно другого в данном случае?

Если скорости света, то получается, что они будут отдаляться друг от друга, но при этом достигнут какой-нибудь точки они словно не отдалялись... - Так? Как это?

А если не скорости света, то фотоны вообще не существуют... :))

Если нельзя так рассматривать, то почему?

1.

Анонимный [5/3/12 14:15](#)

"Летит фотон со скоростью света относительно покоящейся точки..."

Самое смешное, что фотон летит со скоростью света относительно любой точки. :)

Или я неправ?



2.

Igor Ivanov [5/3/12 17:03](#)

Скорость фотона становится очень тонким понятием, когда речь идет не про плоские волны. Посмотрите последние комментарии в первом посте про ОУМ.

3.

Олег С [6/3/12 07:45](#)

Пожалуй пора Поименоваться... Последние комментарии я не только читал, но и писал. :)

1. Можно ли вообще считать фотон плоской волной? Что тогда происходит со скоростью?

2. Тут где-то прозвучало, что фотон как бы некое целое и неделимое, но разве это не относится только к взаимодействию с электронными оболочками?



4.

Igor Ivanov [6/3/12 12:31](#)

1. Знаете задачку про самолет на транспортной ленте — взлетит или не взлетит? Так вот, «что такое фотон» — это тоже вопрос столь же полемический, только на уровень повыше :)

Фотон — это квант ЭМ поля. То, как квантовать поле, зависит и от граничных условий, и от нашего выбора базиса. Вы можете выбрать плосковолновой базис, и тогда фотон будет плоской волной. Но вы можете выбрать и другие базисы, и тогда фотон не будет плоской волной. Про скорость я повторяюсь, было в комментариях прошлому посту. Утверждение, что скорость фотона равна c , относится только к плоской волне.

2. Нет, фотон это целое само по себе, по построению. Оно целое в том смысле, что вы не можете излучить или поглотить полфотона. Но сам фотон может достигать макроскопических или даже астрономических размеров. Вы можете пустить один фотон по двум плечам интерферометра, встать между ними, и тогда получится, что один фотон вас обходит одновременно и справа, и слева.

5.

Олег [C6/3/12 17:43](#)

1. Задачу про самолет не знаю, но не понял зачем транспортер, если есть ветер достаточной силы.
2. К сожалению, строение фотона мне неизвестно. Но почему нельзя поглотить полфотона мне непонятно. В космонавтике есть понятие гравитационного маневра - использование тяготения планет для разгона или торможения космических аппаратов. Фотон, выполнив гравитационный маневр, станет краснее или фиолетовее, обменявшись частью своего импульса с планетой. Это будет соответствовать излучению/поглощению части фотона.
Разве не так?



6.

[Igor Ivanov6/3/12 19:30](#)

Это знаменитая в Рунете задача, из-за которой были баталии наверно на сотнях форумов :) [Взлетит или не взлетит?](#)

У фотона нет строения. Но это совсем не имеет никакого отношения к отсутствию понятия «полфотона». Наш мир устроен так, что материя (и вещество, и излучение) в нем квантовы.

Нет, не так. Вы привели довольно странный пример. Космический аппарат ведь тоже не поглощается планетой наполовину, он как бы целый, так и остался. Изменился только его импульс и энергия.

7.

Олег [C7/3/12 06:17](#)

Вы привели довольно странный пример...

Разве я против? Да ради бога. Если бы я не встречал по отношению к фотону определение "целое", то не вставал бы и вопрос о частях. Давайте скажем, что фотон - это такая штука, из которой можно сделать несколько или их нескольких собрать один, которая появляется и исчезает, которая не имеет ничего кроме энергии и

может иметь ее произвольное количество, но эта энергия не меняет ничего, кроме цвета фотона... :)

8.

Анонимный[22/7/13 18:50](#)

Фабрики под названием АТОМ и МОЛЕКУЛА только тем и занимается, что перекраивает кванты, перераспределяя их энергию. Захватил с десятков квантов из ИК-спектра, и выдал новенький в видимом или УФ-диапазоне. Либо наоборот - поймал один из УФ, а выдал веер в ИК. Тем они и дОроги.

9.

Анонимный[22/7/13 20:23](#)

"2. Нет, фотон это целое само по себе, по построению. Оно целое в том смысле, что вы не можете излучить или поглотить полфотона. Но сам фотон может достигать макроскопических или даже астрономических размеров. Вы можете пустить один фотон по двум плечам интерферометра, встать между ними, и тогда получится, что один фотон вас обходит одновременно и справа, и слева."

- А если с закрытыми глазами стать между щелями и пустить на Вас (не дай Боже!) "КАМАЗ" - молекулу фталоцианина весом 1298 а.е., то он будет приближаться одновременно по всем возможным траекториям (интегралам Фейнмана) и одновременно просочится в обе щели, оставив 1 отпечаток для будущей картины интерференции. Но если Вы откроете глаза, то напуганный КАМАЗ будет заезжать только в одну щель!!!

Просмотрите статью из Nature Nanotechnology

<http://www.nature.com/nnano/journal/v7/n5/full/nnano.2012.34.html> или на русском <http://nnm.me/blogs/rinschuk/fiziki-otsnyali-difrakciyu-bolshih-molekul-v-realnom-vremeni/>

8.



Igor Ivanov[30/5/11 20:05](#)

Относительная скорость двух фотонов (забудем про волновые свойства и т.п., это тут несущественно), вычисленная в нашей системе отсчета — нуль. Системы отсчета, связанной с фотоном, не существует.

1.

Андрей[17/3/12 11:17](#)

Маленькая поправочка.

Это не "относительная" скорость (та, что вычислена в нашей со), а просто разность скоростей, которая может быть любой - от 0 до 2с.

"Относительно" подразумевает переход в систему отсчёта того, относительно чего хотим знать скорость.

2.



[Igor Ivanov17/3/12 13:30](#)

Да, разность скоростей, спасибо за поправку. Ну, в исходном комментарии предлагалось один фотон, а за ним летит второй фотон.

9.

[Анонимный8/3/12 16:01](#)

Как я отстал от жизни, задача про самолет это что-то. :))

10.

[Анонимный8/3/12 22:28](#)

Браво Игорь! Особенно доставляет ссылка на лурк. "Наш мир устроен так, что материя (и вещество, и излучение) в нем квантовы." А как на счёт пространства?

1.



[Igor Ivanov9/3/12 01:19](#)

Про пространство ничего достоверного мы не знаем. В квантово-гравитационных теориях пространство-время тоже обретает микроструктуру, но это пока только теории.

11.

[Анонимный17/3/12 07:05](#)

Пространство и время (и пространство-время) не квантуются.
Так же, как не квантуется энергия и импульс.
Квантуется "энергия-время" и "импульс-пространство".
А проще говоря, квантуется только взаимодействие в пространстве-времени.

12.



[Сергей9/4/12 20:36](#)

Как я понял, ОУМ объясняется спиральной структурой поверхности постоянной фазы. Но сразу возникают следующие вопросы:

1. можно ли объяснить наличие ОУМ света чисто классически?
2. почему речь идет именно об ОУМ фотона, а не световой волны? Если определена фаза, то о каких фотонах можно говорить? (И, наоборот, у единичного фотона фаза не определена, разве нет?)
3. известно что спин фотона может быть больше 1, например 2. Значит ли это, что реальный спин - 1, а еще 1 берется за счет ОУМ.

Заранее благодарю за ответы.

1.



[Igor Ivanov16/4/12 12:23](#)

1. ОУМ есть и у классической волны. Но он есть и у отдельных фотонов.
2. Если бы речь шла про измерение фазы ЭМ волны, то там действительно есть соотношение неопределенностей, требующее, чтоб количество квантов в этом состоянии было велико. Но тут речь идет просто про описание волны. Множительно $\exp(-i \omega t + i kx)$ есть и у единичного (плосковолнового) фотона.
3. Спин всегда 1, а вот полный момент может быть больше. Тогда «лишний» момент действительно берется из ОУМ.

2.

[Анонимный4/5/12 07:06](#)

по 2. Не совсем. Для определенности классической фазы ЭМ волны нужно, чтобы фотон был сильно размазан по различным состояниям количества частиц. Да и ω в фазовом множителе квантовой плоской волны в состоянии с определенным числом частиц не имеет отношения к частоте классической волны, так как (в конечном объеме) всегда можно сдвинуть нулевой уровень энергии произвольным образом.

Наблюдаема только частота перехода при излучении/поглощении одной частицы. Так что, что там происходит с моментом импульса классической волны - вопрос отдельный и интересный. Там вдали от излучателя продолжают играть существенную роль убывающие как r^{-2} компоненты сферических мод ЭМ поля?

3.

[Анонимный4/5/12 10:20](#)

И еще вопрос по статье. $[\mathbf{E} \times \mathbf{H}]$ - это вектор Пойнтинга, т. е. плотность потока энергии, а не импульса. С размерностями в формуле для плотности момента импульса электромагнитного поля $\mathbf{J}$ всё в порядке?

4.



[Igor Ivanov4/5/12 12:38](#)

Если пускаться в уточнения уточнений, то да, в соотношении неопределенностей стоит размазка по большому числу состояний с разными числами заполнения (что в качестве необходимого, но, понятное дело, недостаточного условия требует, чтоб числа заполнения были велики). Насчет сдвижки точки отсчета — я не понимаю, к чему такие навороты. Есть ЭМ волна, для которой мы хотим провести вторичное квантование. Частоту и длину волны фотонов мы при этом кладем равными частоте и длине волны данной фурье-компоненты ЭМ волны. Имеем право? Имеем. Вот так и получается, что пространственно-временные характеристики ЭМ волны (в том числе, нетривиальные поперечные моды) переносятся и на отдельные фотоны, полученные этим способом.

Насчет формулы — есть вы о коэффициентах типа $4/\pi$ и c , то они зависят от единиц

измерения. В физике частиц скорость света кладут равной единице.

Вообще, то, что я тут описал — это же не я только что придумал, это стандартные вещи в квантовой оптике и в физике частиц, я лишь их пересказал своими словами. Если у вас есть сомнения в формулах или в явлениях, вы можете просто почитать соответствующую литературу.

13.

Анонимный[4/5/12 13:26](#)

Мне интересна интерпретация орбитального углового момента для классической волны. Сомнений в вычислениях нет, но спекуляций в этой области (см. статью на Мембране про гениальное открытие итальянцев) тоже похоже много.

Вообще говоря, получается, что трансверсальные компоненты плотности потока импульса ЭМ поля, создающие его орбитальный момент, убывают с радиусом пропорционально r^{-3} . Т. е. обсуждаемый орбитальный момент связан непосредственно с радиальными компонентами E или H в сферических волнах, убывающими как r^{-2} , которыми обычно пренебрегают на достаточном расстоянии от центра по сравнению с трансверсальными ввиду их относительной малости. Т. е. глобально на достаточном расстоянии от источника полный момент импульса волны сохранился, но локально его обнаружить сложно.

Да, что для свободной ЭМ волны импульс пропорционален энергии, так что J верно с точностью до константы - это я как-то подзабыл и упустил при написании вопроса, спасибо.



1.

Igor Ivanov[4/5/12 17:21](#)

Мне неинтересно, о чем там спекулирует мембрана, меня интересуют научные работы.

Все обсуждаемые эффекты существуют для свободной ЭМ волны, сколь угодно далекой от источника. В частности, они существуют и для бездифракционного бесселева пучка, у которого вообще ничего кроме фазы не изменяется вдоль оси z . Понятно, что такие пучки — такая же идеализация, что и плоские волны, но, похоже, вы сомневаетесь в принципиальном наличии этих эффектов. Поэтому я не понимаю, почему вы им приписываете сильно затухающий с расстоянием закон. Можете считать, что речь идет про лазерный свет, а не про излучение от антенны.

2.

Анонимный[4/5/12 19:04](#)

Именно потому, что нет бездифракционных пучков, как и не бывает излучателей с бесконечной апертурой. Все ЭМ волны достаточно далеко от апертуры излучателя расходятся. И начинают терять интенсивность по закону обратных квадратов. Продольные компоненты напряженностей в них при этом убывают быстрее. Плоская волна - это хорошее приближение для поля в локальных областях вдалеке от излучателя, которая бывает только поперечная. А бездифракционный пучок - нет. Поэтому все эти рассуждения про трехмерный свет хороши на расстояниях, не очень

далеких от источника света. Да, там могут наблюдаться совершенно неожиданные эффекты.

В разложениях по сферическим волнам в каждой базисной сферической волне все поперечные компоненты напряженностей убывают пропорционально $1/r$, а радиальные - минимум $1/r^2$. Именно потому вдали от источника все волны становятся локально плоскими поперечными.

На Мемране была заметка <http://www.membrana.ru/particle/17678> по мотивам вот этой вот публикации <http://iopscience.iop.org/1367-2630/14/3/033001/article>

14.

Анонимный [4/5/12 14:17](#)

Да, кстати, "радиально поляризованный свет" с последней картинки - это всего лишь поле дипольного излучателя в направлениях, близких к оси диполя. В нём нет ничего необычного. Странно, что при этом рассуждают про какие-то новые виды поляризаций волны. Так можно договориться до того, что картинку с экрана монитора тоже обозвать "сложной поляризацией света".

1.



Igor Ivanov [4/5/12 17:16](#)

Видимо, у вас много нерастраченного сарказма :)

Во-первых, вы видели где-нибудь, чтобы свет в оптическом диапазоне излучался антенной? Во-вторых, поле от дипольного излучателя падает с расстоянием, и возникает задача его фокусирования. А в радиально поляризованном цилиндрическом пучке интенсивность поля не уменьшается (если он бесселев) или уменьшается, но слабо (если он, скажем, гаусс-лагерров). Ну и в третьих, вот вам надо описать поле поляризации неплосковолнового когерентного монохроматического пучка. Оно, вообще говоря, бывает нетривиальным, в нем есть фазовые сингулярности и прочей особенности. Вполне естественно типы сингулярностей отклассифицировать и как-то назвать. Радиально поляризованный свет — как раз одна из таких особенностей.

2.

Анонимный [4/5/12 18:20](#)

А что, есть принципиальная разница в электродинамике света и метровых волн? Ну да, техника разная. То, что легко делать в одном диапазоне, совершенно тяжело делать в другом, и наоборот. Плюс энергия фотонов совершенно разная по сравнению с энергией теплового шума. Но как это на классификацию типов поляризации волн влияет?

Пучок может быть почти нерасходящимся на каком-то расстоянии от излучателя, как вы совершенно правильно где-то заметили. Но куда вы от выходной апертуры излучателя уйдете? Которая хвосты вашего бесселева пучка неизбежно поотрезает? С метровыми радиоволнами это, разумеется, лучше заметно, чем с полумикронным светом.

Относительно "нетривиальных поляризаций". Поляризация изначально вводится как двумерное линейное пространство, в котором раскладывается плоская гармоническая ЭМ волна общего вида на два независимых компонента. Почему сложный волновой фронт называют "поляризацией" - не понимаю. Отклассифицировать, конечно, всё нужно, но зачем такую терминологическую путаницу вводить? То есть мы называем поляризацией и эллипс, описываемый напряженностью поля гармонической волны в точке (тоже не совсем корректно, если фронт неплоский) и поле этих эллипсов со своими топологическими особенностями.



[Igor Ivanov5/5/12 09:31](#)

Мне кажется, что вы гнете свою линию и не вчитываетесь в мои аргументы. Ну да ладно, имеете право. Я в онлайн долго убеждать не имею ни времени, ни желания.

4.

[Анонимный5/5/12 10:41](#)

С какими именно аргументами? Про нерасходимый бесселев пучок вблизи от излучателя? Я с ними не спорю, вот только, повторю еще раз другим образом, они неприменимы к асимптотике $r \rightarrow \infty$. Вне вашей установки на столе, например, в астрономических масштабах. Не думаю, что вы сами серьезно надеетесь каким угодно пучком обойти дифракцию на апертуре излучателя. Или надеетесь? Про поляризационную терминологию - тут можно только поворчать, что мне она не нравится, спорить глупо, на самом деле.



[tanypredator4/5/12 20:22](#)

А что, если по-простому, означает такая характеристика вещества, как "оптическое вращение"? Например, я недавно читала, что плёнка некоего жидкокристаллического вещества при небольшой толщине поворачивает плоскость поляризации чуть ли не сотни раз. А как это понять, представить? И что с этого можно поиметь?



[Igor Ivanov5/5/12 09:35](#)

Посмотрите по словам «оптически активные среды». Про это очень много всего написано, повторять это своими слова нет смысла.