

УДК 628.9:535.1

ИЗ ТВОРЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ ПРОФЕССОРА К. С. ВУЛЬФСОНА

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ КАТАСТРОФА И МОМЕНТ КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ СВЕТА

Проблема ультрафиолетовой катастрофы, возникшая при попытке дать методами классической физики решение задачи об излучении черного тела, была, как известно, преодолена в 1901 г. М. Планком путем введения квантовых представлений о природе света.

За несколько лет до этого русский физик, профессор Юрьевского университета А. И. Садовский, основываясь на электромагнитной теории Максвелла, высказал утверждение о наличии у циркулярно поляризованного света момента количества движения (МКД). Вокруг этого вопроса в последующие годы возникла оживленная дискуссия, в которой приняли участие Шапошников, Буш, Эренфест и др. При этом предполагалось, что направление МКД совпадает с направлением распространения света. В своей работе М. Абрагам показал: если принять, что проекция МКД совпадает с направлением распространения света, то МКД излучения роторатора будет стремиться к бесконечности, что физически бессмысленно. Абрагам признается, что он не знает, как преодолеть это затруднение.

Искрывающий ответ был найден А. Зоммерфельдом. В его работе было показано, что полный орбитальный МКД роторатора равен энергии излучения, деленной на частоту. Далее он показал, что его расчеты согласуются с представлениями квантовой теории света. Однако он не обратил внимания на то, что из его расчетов вытекает возможность существования света, у которого МКД образует произвольный угол с направлением распространения излучения. Следует указать на то, что поляризационные характеристики излучения с МКД, не параллельным направлению распространения, будут зависеть от направления, под которым наблюдается источник света. Такая зависимость поляризационных характеристик излучения от положения наблюдателя была нами экспериментально подтверждена в работе, проведенной во ВНИСИ.

В последние годы было опубликовано очень большое количество экспериментальных и теоретических работ, в которых учитывалась не только орбитальный МКД кванта, но и его спин, что влияет на спектральный состав излучения.

О СУЩЕСТВОВАНИИ ФОРМ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ОБЛАДАЮЩИХ МКД, ПРОИЗВОЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫМ К ВЕКТОРУ ПОЙНТИНГА

Характер распространения электромагнитного излучения в изотропной среде при циркулярной поляризации определяется двумя векторами: вектором Пойнтина и вектором момента количества движения (МКД). Первый из них является полярным, а второй — аксиальным [1]. Поведение этих векторов при отражении излучения от зеркал различно, что приводит к возникновению поляризационных эффектов, в литературе не описанных. Обычно принимается, что указанные выше векторы параллельны. В действительности, как будет указано ниже, это вовсе не обязательно. Существуют формы поляризации, при которых между этими векторами может иметь место произвольный угол.

Полярный вектор Пойнтина, совпадающий с направлением распространения излучения, при отражении от зеркала меняет свое направление.

Иначе ведет себя аксиальный вектор МКД. После отражения света от зеркала, вектор МКД тоже двигается в другом направлении, но сохраняет неизменным направление вращения своей оси в пространстве. В механике эта способность сохранять направление своего вращения называется гироскопическим эффектом, используемым в гироскопических компасах, применяемых в кораблях и самолетах.

В оптике, где мы имеем дело с ничтожными массами, роль этого эффекта не отмечалась.

В учебниках, в которых описываются способы получения циркулярно поляризованного света, всегда рассматривались случаи, в которых обеспечивается параллелизм обоих векторов. Чтобы нарушить параллелизм между вектором Пойнтина и МКД, надо исходный луч направить на зеркало под углом 45° . Отраженный зеркалом луч будет повернут на 90° (вектор Пойнтина). Аксиальный вектор МКД сохранит направление своего вращения, т. е. он будет перпендикулярен вектору Пойнтина. Поляризация отраженного зеркалом луча будет плоской, но, несмотря на это, такой луч будет обладать МКД.

Конец электрического вектора такого луча будет описывать петлеобразную кривую, так как он, во-первых, движется по прямой со скоростью C , а, во-вторых, совершает вращение с частотой v в перпендикулярной плоскости.

Другой, более общий, случай произвольного значения угла между вектором Пойнтина и МКД был рассмотрен А. Зоммерфельдом [2]. В своей книге он приводит расчет МКД вращающегося заряда (роторатора), из которого следует, что его излучение распространяется по всему пространству, а его МКД направлен вдоль оси вращения заряда. Этот расчет безоговорочно показывает, что угол между вектором Пойнтина и МКД может принимать любые значения. Сам А. Зоммерфельд не обратил внимания на это обстоятельство, но отметил, что результаты его расчета хорошо согласуются с квантовыми представлениями.

В статье П. Лертеса [3] и Б. Н. Горажанкина [4, 5] было непосредственно показано вращение тел под действием поля, вектор Пойнтина которого направлен нормально к оси вращения.

Опыты, поставленные автором [6, 7, 8], подтверждают существование новых форм поляризации излучения, обладающих МКД при произвольных значениях угла между вектором Пойнтина и направлением оси вращения [9—11].

Развитие лазерной техники, позволяющее получать световые потоки очень большой мощности, дает возможность практически использовать открытые новые формы поляризации излучения в фотохимии, передаче информации на землю и космосе, а также при анализе ядерных реакций, сопровождающихся вылетом гамма-кванта.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНИЯ ФОРМ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ОБЛАДАЮЩИХ МОМЕНТОМ КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫМ ВЕКТОРУ ПОЙНТИНГА

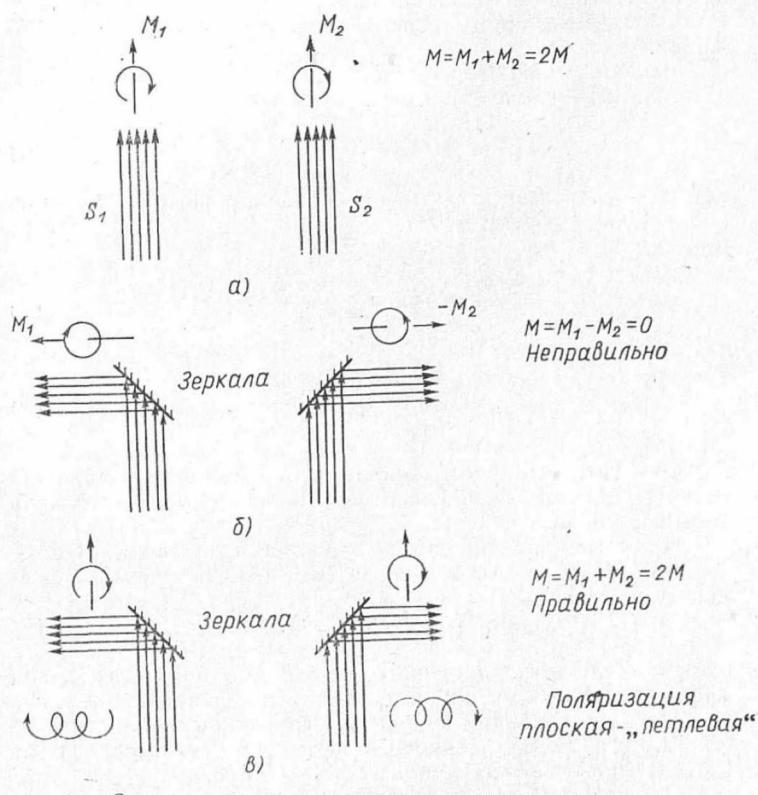
Представим себе два одинаково циркулярно поляризованных пучка света S_1 и S_2 , расположенных параллельно друг другу (см. рисунок *a*). В этом случае их моменты количества движения (МКД) параллельны векторам Пойнтина этих пучков. Обозначим МКД каждого пучка через M . Тогда полный МКД будет равен $2M$. Направим эти лучи на два зеркала, наклоненные под углом $\pm 45^\circ$ к осям пучков света. При этом отраженные лучи будут направлены перпендикулярно первоначальному ходу лучей.

Зададим себе вопрос: как будут ориентированы МКД отраженных пучков света? Если пренебречь небольшими потерями, возникающими при отражении, то согласно закону сохранения МКД, суммарный момент должен сохраняться неизменным и равным $2M$. Возникает альтернатива, как должен для этого быть направлен МКД после отражения лучей от зеркал?

Рассмотрим два варианта решения этой проблемы.

1. МКД меняет свое направление, оставаясь параллельным вектору Пойнтина. Тогда, как это видно из рисунка *b*, M_1 и M_2 имеют противоположные направления и $M_1 + M_2 = 0$. Таким образом, этот ответ приводит к нарушению закона сохранения МКД.

2. При любом отражении света от зеркал направление МКД остается неизменным, т. е. в данном случае МКД становятся перпендикулярными вектору Пойнтина. Тогда, как видно из рисунка *c*, МКД обоих пучков складываются и суммарный МКД остается неизменным и равным $M_1 + M_2 = 2M$. Этот результат означает, что излучение, как и всякая вращающаяся материя, проявляет гироскопический



Закон сохранения момента количества движения

эффект. В данном случае величина этого эффекта очень мала, так же как мал МКД излучения. Вероятно этим и объясняется тот факт, что в литературе по оптике этот эффект не отмечался.

Особенность этих форм поляризации излучения, кроме наличия у них МКД, заключается в том, что они поляризованы не циркулярно, а плоско (но в то же время нелинейно) и обладают, как указано выше, МКД. При такой поляризации траектория движения конца электрического вектора имеет «петлевую» форму.

Развитие лазерной техники, позволяющее получать световые потоки большой мощности, дает возможность практически использовать открытые новые формы поляризации излучения в фотохимии, передаче информации и анализе ядерных реакций, сопровождающихся вылетом гамма-кванта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эйхенвальд А. А. Теоретическая физика, ч. 1. Теория поля. Полярные и аксиальные векторы. Раздел 33, с. 30.
2. Зоммерфельд А. Теория атома и спектры (математические дополнения). М.: Наука, 1956, с. 556—566.
3. Lertes P. Dipolrotationseffekt bei dielektrischen Flussigkeiten // Zeitschrift für Physik. 1921. Bd. 6. Р. 56—68.
4. Горажанкин Б. Н. ЖТФ. 1948, т. 1511, вып. 10, с. 56.
5. Горажанкин Б. Н. Исследование радиочастотных моторов. — В кн.: Труды МФТИ. М.: изд. МФТИ, 1962, № 8, с. 3—13.
6. Вульфсон К. С., Казачкова Ф. А. Об ориентации момента количества движения света// Светотехника, 1985. № 4. С. 16.
7. Вульфсон К. С., Казачкова Ф. А. Сфера Пуанкаре и момент количества движения света// Светотехника. 1985. № 11. С. 14.
8. Вульфсон К. С., Казачкова Ф. А. О форме поляризации излучения, испускаемого врачающимся зарядом// Светотехника. 1985. № 12. С. 17—18.
9. Вульфсон К. С., Казачкова Ф. А. ВИНИТИ 4771-83. Деп.
10. Вульфсон К. С. ВИНИТИ 4772-83. Деп.
11. Вульфсон К. С. ВИНИТИ 3794-83. Деп.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ УСТАНОВОК

УДК 621.3.032.4

О ПРОЕКТНОЙ ОЦЕНКЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

М. В. СТРЕЛЬЦОВ, инж., В. Н. УСИХИН,
канд. техн. наук

Красноярское отделение ГПИ Электропроект

В промышленных осветительных сетях напряжение является изменяющейся во времени величиной, существенно влияющей на технико-экономические показатели ОУ. При проектировании ОУ превышение напряжения нормировано, но не должно быть в нормальном режиме работы более $+5\%$ и на ограниченное время $+10\%$ (5% времени в сутки) [1], что не является гарантией минимума приведенных затрат. Так обозначенные отклонения напряжения у приемников излучения вызывают увеличение потребляемой мощности порядка 10% со снижением их срока службы, что приводит к дополнительным эксплуатационным расходам [2]. Поэтому во многих случаях может быть эффективным применение ограничителей напряжения, изготавливаемых отечественной промышленностью, не только в условиях эксплуатации ОУ, когда напряжение в сети значительно превышает номинальное [2], но и в нормированном режиме превышения напряжения. Сказанное обуславливает необходимость дополнительно оценить использование ограничителей напряжения на стадии проектирования.

Обоснование использования ограничителей напряжения в осветительных сетях с уровнем напряжения по [1] осуществляется по методу, разработанному в [3]:

$$\vartheta_{k_U > 1} > \vartheta_0 + \vartheta_{k_U=1}, \quad (1)$$

где $\vartheta_{k_U > 1}$ — годовые эксплуатационные издержки, обусловленные повышенным расходом электроэнергии и стоимостью ламп при относительном значении уровня напряжения $k_U > 1$; ϑ_0 — приведенные затраты на установку ограничителя напряжения; $\vartheta_{k_U=1}$ — годовые эксплуатационные издержки при номинальном уровне напряжения в сети. При этом

$$\begin{aligned} \vartheta_{k_U > 1} = mP_{\text{ном}}(ak_U - b) + \frac{C_0 P_{\text{ном}}}{\tau_{\text{ном}}} T \times \\ \times (3,52k_U^2 - 3,84k_U + 1,32), \end{aligned} \quad (2)$$

где m — стоимость электроэнергии, руб/(кВт·год); $P_{\text{ном}}$ — мощность ламп при номинальном напряжении, кВт; a , b — статистические коэффициенты (для ЛЛ $a=2$ и $b=1$, для ДРЛ $a=2,43$ и $b=1,43$); k_U — относительное среднее значение уровня напряжения; C_0 — стоимость замены ламп (1 кВт) с учетом стоимости самих ламп, руб/кВт; T — число часов работы ОУ в год; $\tau_{\text{ном}}$ — срок службы ламп при номинальном напряжении, ч;

$$k_U = 0,5(k_{U\max} + k_{U\min}), \quad (3)$$

где $k_{U\max}$, $k_{U\min}$ — относительные значения максимального и минимального уровней напряжения;

$$\vartheta_0 = k_{\text{огр}} E_{\Sigma}, \quad (4)$$

где ϑ_0 — приведенные затраты, обусловленные установкой ограничителя напряжения, руб/год; $k_{\text{огр}}$ — капитальные вложения, включающие стоимость ограничителя, затраты на его монтаж и наладку; E_{Σ} — сумма коэффициентов