

Было исследовано несколько веществ, родственных сульфату калия. Сульфид калия даёт при облучении длинноволновым ультрафиолетом такую же красную флюоресценцию, что и сульфат калия. Спектр флюоресценции бисульфита и бисульфата калия несколько отличен от спектра флюоресценции сульфата калия.

Если указанным способом обработать сульфат или сульфид натрия, то можно получить вещество, дающее при возбуждении длинноволновым ультрафиолетом жёлтое свечение. Отсюда можно заключить, что катион влияет на характер флюоресценции. Это обстоятельство выражено ещё более ярко у солей щёлочно-земельных металлов. Сульфат бария даёт после соответствующей обработки при возбуждении светом ртутной лампы беловато-жёлтое свечение, сульфат стронция — зелёное, сульфат кальция — синее.

Охлаждение до температуры жидкого воздуха не влияет на флюоресценцию. Спектр флюоресценции состоит из широкой сплошной полосы.

Реферируемая работа носит характер предварительного сообщения и в ней, к сожалению, не содержится указаний относительно числового значения выхода и продолжительности свечения. Отмечается лишь, что эти характеристики имеют меньшую величину, чем у обычных светящихся составов. Судя по тому, что автор реферируемой работы говорит о флюоресценции, продолжительность свечения невелика.

В. Бредель

НАБЛЮДЕНИЕ СПИНОВОГО МОМЕНТА САНТИМЕТРОВЫХ ВОЛН

Пол века назад, в 1899 г., А. А. Садовский¹ показал, что циркулярно поляризованная электромагнитная волна должна обладать моментом количества движения относительно направления её распространения, вследствие чего тело, поглощающее такую волну или меняющее характер её поляризации, должно испытывать вращающий момент. Через десять лет Пойнтинг² уточнил теорию этого явления.

С квантовой точки зрения циркулярная поляризация электромагнитной волны означает, что спины всех фотонов, образующих эту волну, ориентированы в зависимости от направления поляризации либо по направлению их движения, либо навстречу ему. Поскольку спин фотона равен 1, постольку плотность потока продольной составляющей момента количества движения электромагнитной волны, т. е. продольная составляющая момента количества движения, проносимого электромагнитной волной в единицу времени через единичную площадку, нормальную к направлению её распространения, равна

$$\sigma_z = \pm j\hbar, \quad (1)$$

где j — плотность фотонного потока, а знак $+$ или $-$ выбирается в зависимости от направления поляризации.

Учитывая, что модуль вектора Умова-Пойнтинга

$$|\mathbf{S}| = j\hbar\omega, \quad (2)$$

где ω — угловая частота, имеем:

$$\sigma_z = \pm \frac{|\mathbf{S}|}{\omega}, \quad (3)$$

что совпадает с выражением, получающимся в рамках классической электродинамики (см., например, 3).

Не представляет труда показать, что в случае эллиптически поляризованной волны в вакууме:

$$E_x = E_1 \cos \omega t, \quad E_y = E_2 \sin \omega t \quad (4)$$

плотность потока продольной компоненты момента количества движения

$$\sigma_z = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_1 E_2. \quad (5)$$

При поглощении волны поглощающее тело, очевидно, будет испытывать вращающий момент

$$L = \sigma_z S, \quad (6)$$

где S — поперечное сечение поглощения волны телом. Если в результате прохождения электромагнитной волны через компенсатор меняется характер её поляризации, например, линейно поляризованная волна превращается в эллиптически поляризованную, то (пренебрегая отражением и поглощением волны в компенсаторе) компенсатор должен испытывать вращающий момент

$$L = (\sigma_{z\text{нач}} - \sigma_{z\text{кон}}) S, \quad (7)$$

где $\sigma_{z\text{нач}}$ и $\sigma_{z\text{кон}}$ — продольные составляющие плотности потока момента количества движения волны, соответственно, до и после прохождения ею компенсатора, а S — поперечное сечение компенсатора.

Экспериментальное наблюдение этого явления крайне затруднено вследствие исключительной малости σ_z . Так, для световых частот ($\omega \approx 4 \cdot 10^{15} \text{ сек}^{-1}$) при интенсивности циркулярно поляризованного света, равной интенсивности прямых солнечных лучей, вращательный момент, испытываемый поглощающим экраном, отнесённый к единице площади экрана, составит около $\sigma_z \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ дин/см}$. Этим объясняется, что в течение весьма длительного времени все попытки обнаружить спиновый момент электромагнитной волны в макроскопическом опыте оставались безрезультатными и экспериментальные доказательства существования спина у фотонов ограничивались областью атомарных явлений, где явления обмена моментом количества движения, между светом и веществом имеют первостепенное значение (например, в актах излучения и поглощения света атомом). Только в 1935 г. Бету⁴ удалось экспериментально измерить вращательный момент, испытываемый двоякопреломляющей кварцевой пластинкой при прохождении через неё света.

Совершенно новые возможности в этом направлении возникли в результате развития микрорадиоволновой техники. Поскольку, согласно (3), σ_z обратно пропорционально частоте, постольку переход от световых волн к микрорадиоволновому диапазону ведёт к возрастанию эффекта на много порядков. Так, на сантиметровых волнах ($\omega \approx 10^{10} \text{ сек}^{-1}$) при вполне доступной величине вектора Умова-Пойнтинга 1 вт/см^3 составляет величину порядка 10^{-3} дин/см , что уже вполне поддается измерению.

Реферлируемая работа⁵ и представляет собой попытку измерить спиновый момент количества движения электромагнитных волн сантиметрового диапазона.

Автор использовал излучение магнетрона, дававшего импульсы продолжительностью 1 мксек в количестве 1000 импульсов в секунду при

длине волны $\lambda = 3,2 \text{ см}$ (9360 Мгц). Пиковая мощность составляла 50 квт; средняя мощность, соответственно, равнялась 50 вт. Линейно поляризованная волна, излучаемая магнетроном, направлялась сначала по прямоугольному волноводу, а затем попадала в вертикальный круглый волновод диаметром 25 мм, оканчивающийся на верхнем конце небольшим раструбом. Болюметрические измерения показали, что плотность потока энергии была постоянна на всём сечении и равна примерно 1 вт/см^2 . Часть круглого волновода, могущая вращаться вокруг своей оси, была снабжена парафиновой пластинкой (показатель преломления $n = 1,47$) толщиной в несколько миллиметров. Размеры пластинки были выбраны так, чтобы компонента волны, электрический вектор которой параллелен пластинке, отставала на четверть периода.

Если электрический вектор волны, бегущей в волноводе, был параллелен или перпендикулярен пластинке, то состояние поляризации волны оставалось неизменным, если же электрический вектор составлял с пластинкой некоторый угол, то пластинка обуславливала возникновение эллиптической поляризации (при угле 45° волна превращалась в циркулярно поляризованную).

Над раструбом помещалась стеклянная трубка с плоскопараллельным окошком. Внутри этой трубки, непосредственно над устьем раструба, на двух тонких шелковых нитях подвешивались сменные поглощающие или двоякопреломляющие экраны. Экраны были снабжены зеркальцами, на которые направлялся луч света. Поворот экрана мог регистрироваться по смещению светового зайчика на шкале, отстоящей на расстоянии 1 м от зеркальца. Стеклянная трубка вместе с подвешенными в ней экранами могла поворачиваться вокруг вертикальной оси, что позволяло менять ориентировку экрана относительно плоскости поляризации падающей волны. Авторы провели три серии опытов с тремя различными типами экранов.

В первом случае поглощающий экран состоял из двух плоских дисков диаметром 3 см. Нижний диск, изготовленный из слюды, был покрыт слоем смолы, содержащей графит. Верхний диск, отстоящий от нижнего на расстоянии $\frac{\lambda}{4}$, был изготовлен из алюминия.

Волна, падающая на такой экран, частично отражается от слюдяного диска, частично же проникает через него. Пройшедшая волна в свою очередь отражается от алюминиевого диска, проходит через слюдяной и интерферирует с волной, отражённой от слюдяного диска. Так как разность хода между обеими отражёнными волнами равна $\frac{\lambda}{2}$, то волны взаимно гасят друг друга и представляется возможным отрегулировать систему таким образом, чтобы отражённое излучение полностью исчезало, т. е. экран полностью поглощал бы всю падающую на него энергию. Следовательно, согласно (6), такой экран должен испытывать вращающий момент $L = \sigma_2 \cdot S$. Напротив, если экран является идеально отражающим, то σ_2 для падающей и отражённой волны одинаковы и $L = 0$.

Опыт показал, что, действительно, отражающий (например, алюминиевый) экран не испытывает под воздействием электромагнитной волны никакого измеримого вращательного момента — зайчик на шкале остаётся в покое. Точно так же не испытывает вращательного момента и описанный выше поглощающий экран, если падающая на него волна линейно поляризована. Однако, если волна, падающая на поглощающий экран, была циркулярно поляризована, то экран поворачивался, причём смещение зайчика по шкале составляло около 6 см (угол поворота около $3^\circ, 5$).

В другой серии опытов экран состоял из двух квадратных листочков слюды размером 3×3 см, расположенных один над другим на расстоянии $\frac{\lambda}{8}$. На каждом из листочков был укреплен ряд параллельных металлических проволочек диаметром 0,2 мм, причём листочки ориентировались так, что направления проволочек на верхнем и нижнем листочках были взаимно перпендикулярны. Волна, падающая на такой экран, разлагалась им на две линейно поляризованные компоненты. Одна из них, с электрическим вектором, параллельным проволочкам нижнего листочка, отражалась этим листочком назад. Другая компонента, поляризованная в перпендикулярном к первой направлении, проникла через нижний листочек, отражалась от верхнего и снова, пройдя через нижний, интерферировала с компонентой, отражённой от нижнего листочка. Так как разность хода между обеими отражёнными компонентами составляет $\frac{\lambda}{4}$, то циркулярно поляризованная волна,

падающая на такой экран, превращается при отражении в линейно поляризованную, и наоборот, линейно поляризованная волна приобретает при отражении эллиптическую поляризацию.

Когда на такой экран направлялась циркулярно поляризованная волна, то экран поворачивался (вправо или влево, соответственно направлению поляризации волны), причём отклонение зайчика на шкале составляло около 8 см (угол поворота примерно $4,5^\circ$), что, как указывает автор, соответствует удельному вращательному моменту порядка 10^{-3} дин/см, ожидаемому на основании приведённой выше теоретической оценки.

В случае, если на экран падала линейно поляризованная волна, то эффект существенно зависел от направления поляризации. Когда плоскость поляризации была параллельна проволочкам одного из листочков, то характер поляризации при отражении не менялся и зайчик оставался на шкале неподвижным. Напротив, если плоскость поляризации была повернута относительно направления проволочек на угол 45° , то отражённая волна была поляризована циркулярно и экран поворачивался. Как направление поворота, так и его величина находились в согласии с теоретическими предсказаниями.

Третья серия опытов была произведена с экраном того же типа, что и предыдущая, но расстояние между листочками составляло четверть длины волны. Циркулярно поляризованная волна отражалась от такого экрана так же циркулярно поляризованной, но с обратным направлением поляризации. Опыт показал, что в соответствии с (7) поворот экрана был вдвое больше, чем в предыдущих опытах.

Автор подчёркивает, что наблюдавшиеся им отклонения зайчика были очень отчётливыми и постоянными, так что наличие момента количества движения у циркулярно поляризованной волны могло быть установлено вполне уверенно. При этом было получено полное качественное согласие с теорией. Однако количественно можно говорить только о совпадении по порядку величины, ибо, хотя механические измерения могли быть выполнены с достаточной точностью, само значение вектора Умова-Пойнтинга было несколько неопределённым. Кроме того, так как экраны имели размеры, близкие к длине волны, то дифракция, неоднородность в распределении плотности энергии и некоторый разброс фаз обуславливали дополнительные и, видимо, значительные погрешности. Не вызывает сомнений, что дальнейшие опыты в этом направлении позволят провести и количественное сопоставление теории с опытом.

Г. Розенберг

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Садовский, *Acta et comm. Imp. Univ. Jureviensis* 7, № 1—3 (1899); 8, № 1—2 (1900).
2. J. H. Poynting, *Proc. Roy. Soc.* 82, 560 (1909).
3. Д. Иваненко и А. Соколов, *Классическая теория поля*. Изд-во техн.-теор. лит-ры, 1949.
4. P. A. Beth, *Phys. Rev.* 48, 471 (1935), 50, 115 (1936).
5. N. Carrada, *Nature* 164, № 4177, 882 (1949).

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ НА ЧАСТОТЕ 3000 Мгц

В ночь с 24 на 25 января 1949 г. в городе Саскатун (Канада) наблюдалось необычайное по величине и разнообразию форм полярное сияние (красное свечение неба отмечалось даже в Калифорнии и Британской Колумбии)¹. Вначале оно выражалось в красноватом свечении неба, затем появилась красивая корона, зелёная в зените и переходящая в красные слои на восточном и западном краях. Несколько позднее наблюдались три яркие однородные дуги. В течение ночи одна форма сияния сменялась другой, причём среди них были формы как лучистой, так и нелучистой структуры. Аналогичные явления наблюдались и в ночь с 21 на 22 февраля.

Фотография солнечной поверхности, полученная в полдень 24 января, показала наличие огромной группы солнечных пятен. Эта группа пятен присутствовала и 21 февраля хотя и имела значительно меньшие размеры.

Короткие импульсы радиоизлучения, исходящие из области полярного сияния, были впервые замечены 24 января радиолокационной установкой, работавшей на волне 10 см³. Дальнейшие наблюдения на волне 10 см также обнаружили радиоизлучение, обусловленное полярным сиянием.

Для наблюдений был использован радиолокационный приёмник, снабжённый дополнительным устройством, регистрирующим частоту следования принимаемых импульсов. На антенне, принимавшей излучение из угла $6,3 \cdot 10^{-3}$ стерадиана, была укреплена плёночная фотокамера, так что наблюдатель мог фотографировать участок неба, на который направлена антенна.

Проведённые наблюдения показывают, что радиоизлучение полярного сияния носит импульсный характер, причём длительность отдельных импульсов порядка $1 \div 5$ микросекунд. Величина и частота следования импульсов меняются в широких пределах и, повидимому, зависят от яркости и структуры сияния. Так, полярные сияния лучистой структуры более активны в отношении радиоизлучения, чем сияния нелучистой структуры.

Наблюдения радиоизлучения полярных сияний, как указывают авторы заметки, продолжаютсся с целью установления количественной зависимости интенсивности и характера радиоизлучения от типа и интенсивности полярного сияния, а также с целью выяснения механизма возникновения радиоизлучения.

Г. Гетманцев

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. W. Petrie, P. A. Forsyth, E. M. Conencky, *Nature* 163, 774 (1949).
2. P. A. Forsyth, W. Petrie, B. W. Currie, *Nature* 164, 453 (1949).