



Излучение микроскопических электромагнитных волн

О. Л. Сокол-Кутыловский

В статье рассмотрен физический механизм возникновения микроскопических электромагнитных волн, излучаемых электронами вещества. Показано, что, наряду с аналогом электрического дипольного излучения электрической дипольной антенны, электроны могут излучать магнитное дипольное и комбинированное микроскопическое электромагнитное излучение.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ДИПОЛЬНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

Физический механизм излучения электромагнитных волн электрической дипольной антенной был рассмотрен ранее [1, 2], где было показано, что в формировании и излучении электромагнитных волн принимают равное участие как первичный электрический ток в проводнике антенны, так и электрический ток самоиндукции. При излучении электромагнитных волн отдельным свободным электроном этих макроскопических электрических токов нет. Поэтому процесс излучения электромагнитных волн отдельными электронами должен основываться на микроскопических электрическом и магнитном полях ускоренно движущегося электрона.

Необходимо уточнить, что отдельно взятый свободный электрон ни излучить, ни поглотить электромагнитную волну не может. **Процесс излучения и поглощения электромагнитных волн происходит только при взаимодействии собственных электрического и магнитного полей электрона с электрическим и магнитным полями сторонних материальных тел или электрически заряженных частиц.** То есть, термин «свободный электрон», применяемый к процессу излучения электромагнитных волн, в определенной степени является условным.

Рассмотрим подробнее микроскопические электрическое и магнитное поля движущегося электрона. Электрическое поле электрона существует независимо от состояния движения электрона, оно неизменно как

в покое, так и в движущемся электроне, а его силовые линии изотропны, — равномерно направлены в пределах полного телесного угла.

Именно по причине изотропности электрического поля электрона при излучении электромагнитной энергии этим одиночным электроном не требуется создавать изменяющуюся разность потенциалов в его «точечном» электрическом заряде или вводить всякого рода запаздывание и опережение потенциала заряда по отношению к самому себе. Но одно электрическое поле не может создать электромагнитную волну. Для возникновения электромагнитной волны, распространяющейся в свободном пространстве, необходимы одновременно два поля — электрическое и магнитное. Кроме того, эти поля должны образовать структуру из двух пар синфазных полей, сдвинутых во времени относительно друг друга. Одно из этих полей, — первичное электрическое поле, — имеется у электрона всегда, а второе, — магнитное поле, — возникает при любом движении электрона. Будь то движение равномерным или ускоренным, электрон обладает кинетической энергией, которую при торможении он должен отдать.

Так как электрон обладает массой, то ему свойственно явление инерции. При ускорении или торможении электрона на него действует сила электромагнитной инерции [1, 2]:

$$\mathbf{F}_{s-i} = e \cdot (\mathbf{r}_e \times \frac{\partial \mathbf{B}_e}{\partial t}), \quad (1)$$

где e — электрический заряд электрона, \mathbf{r}_e — радиальный вектор, ортогональный скорости электрона и равный по величине радиусу электрона r_e и \mathbf{B}_e — аксиальный вектор магнитной индукции на поверхности электрона (Рис. 1).

В процессе возникновения электромагнитной волны ведущим является магнитное поле. Оно «выбирает» себе в партнеры по электромагнитной волне из всех возможных только

то направление электрического поля электрона, которое соответствует свойствам взаимного преобразования электрического и магнитного полей. Эти свойства выражаются уравнением Максвелла

$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}, \quad (2)$$

где c — скорость распространения электромагнитных волн в свободном пространстве и закон электромагнитной индукции Фарадея

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}. \quad (3)$$

Электрическое поле электрона имеет все возможные направления в пространстве и создает в каждом из них необходимую разность потенциалов.

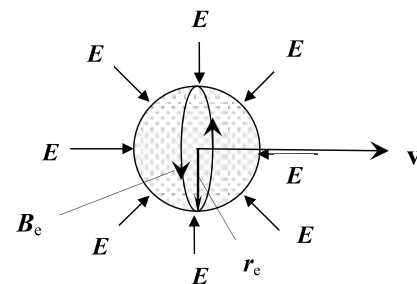


Рис. 1. Направление электрического (E) и магнитного (B) полей электрона, движущегося со скоростью v . Радиальный вектор r_e лежит в плоскости, ортогональной вектору скорости. В этой же плоскости лежит силовая линия максимальной магнитной индукции B_e , проходящая по поверхности электрона

Когда на электрон действует какая-либо внешняя сила, его магнитное поле и его кинетическая энергия изменяются, при этом возникает сила электромагнитной инерции (1), всегда противодействующая внешней силе. То есть, при воздействии внешней силы на свободно движущийся электрон в нем, кроме первичного магнитного поля, всегда сопровождающего движение электрона, возникает еще и вторичное магнитное поле, создаваемое силой электро-

магнитной инерции (1) и сдвинутое по фазе относительно первичного магнитного поля на $\pi/2$. Далее, в соответствии со свойствами преобразования полей (2) и (3), возникает полноценная структура бегущей электромагнитной волны [1, 2]. В результате этого избыточная кинетическая энергия, освобождающаяся в процессе торможения электрона, излучается в виде микроскопической электромагнитной волны.

Энергия микроскопической электромагнитной волны, излучаемая одним электроном, выражается в следующем виде [2]:

где m_e — масса электрона.

Согласно [2], величина магнитной индукции на поверхности электрона,

$$W_1 = m_e^{-1} \cdot e^2 \cdot r_e^2 \cdot B_e^2, \quad (4)$$

выраженная через скорость его прямолинейного движения, v , равна:

где $m_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Используя уравнение (5), энергию микроскопической электромагнит-

$$B_e = \frac{\mu_0 \cdot e}{4\pi \cdot r_e^2} \cdot v, \quad (5)$$

ной волны (4) можно представить в виде:

Фактически в формулу (6) для энергии электромагнитной волны входит не квадрат скорости,

$$W_1 = \frac{\mu_0^2 \cdot e^4}{16\pi^2 \cdot m_e \cdot r_e^2} \cdot v^2. \quad (6)$$

а квадрат разности скоростей, например, до и после торможения электрона.

Для силы, действующей на электрон по гармоническому закону, его скорость изменяется также по гармоническому закону, причем она пропорциональна частоте действующей силы. Поэтому энергия микроскопической электромагнитной волны (6) пропорциональна квадрату частоты.

Очевидно, что без участия электромагнитной силы инерции (1) невозможно понять механизм излучения электромагнитных волн отдельным электроном, как невозможно воссоздать механизм излучения электромагнитных волн в электрической антенне радиопередатчика без учета электрического тока самоиндукции, который также есть следствие электромагнитной силы инерции (1), но только проявляющейся на макроскопическом уровне.

МАГНИТНОЕ ДИПОЛЬНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ (ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СОБСТВЕННОГО МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ЭЛЕКТРОНА).

Изменение направления собственного момента импульса электрона в пространстве само по себе не может вызвать излучение электромагнитной волны, если при этом не происходит изменения энергии состояния системы, включающей в себя электрон. Собственный момент импульса появляется у электрона только при взаимодействии, при захвате электрона ядром атома как реакция на появление орбитального момента импульса. Если бы свободный электрон имел какой-либо собственный момент импульса до захвата его ядром атома, то равенства механических моментов импульса в атоме могло не быть, и спектры излучения (и поглощения) у атомов одного и того же элемента были бы различными. Все экспериментальные данные по спектрам атомов в оптической спектроскопии говорят, что это не так. Собственный момент импульса — это не некое внутреннее свойство электрона или какой-либо другой частицы, как это утверждается в современной неклассической физике, а реакция на попытку изменения момента импульса механической или, точнее, электромеханической системы, аналогично возникновению противодействия при прямолинейном механическом движении (третий закон Ньютона). Свободный электрон, как и другая стабильная элементарная частица (протон), в свободном состоянии не имеет отличного от нуля момента импульса. Изменение энергии электрона и, соответственно, возникновение излучения или поглощения электромагнитной энергии, может произойти только в том случае, когда с изменением направления момента импульса изменяется его величина. Но это, вследствие закона сохранения импульса, возможно только при взаимодействии электрона с другим телом. В атоме водорода — это взаимодействие с ядром (протоном). Излучение и поглощение электромагнитной энергии происходит только при взаимодействии электрона, а взаимодействие требует присутствия других частиц, и осуществляется только в системе, состоящей, как минимум, из двух

элементарных тел, одно из которых — сам электрон. Само же взаимодействие осуществляется через поля, создаваемые материальными частицами или телами. Взаимодействие заряженных частиц может осуществляться через электрическое и магнитное поля, но и контактное взаимодействие в целом нейтральных тел на микро-уровне сводится к взаимодействию через силовые поля. Излучение атомного электрона с изменением направления и величины момента импульса происходит только при переходе электрона между основными энергетическими состояниями, имеющимися в каждом атоме. Такое излучение соответствует излучению магнитного диполя, если оно осуществляется без изменения орбиты электронов. Переход электрона в пределах каждого энергетического состояния, то есть только путем изменения радиуса орбиты и угловой скорости движения, сводится к тормозному механизму излучения электромагнитной волны, то есть, является аналогом излучения электрического диполя. И, наконец, переход электрона между основными энергетическими состояниями с изменением орбиты соответствует комбинированному электромагнитному излучению [2].

ПОПРАВКА К СТАТЬЕ [1].

По недосмотру автора в статье [1] в формуле (14) для электрического тока самоиндукции вместо производной напряженности электрического поля по времени, dE/dt , ошибочно стоит напряженность электрического поля, E .

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Сокол-Кутыловский О. Л. Об излучении электромагнитных волн. // Информост. Радиотехника и телекоммуникации, 2006, № 1, С. 49—53.
2. Сокол-Кутыловский О. Л. Русская физика. Екатеринбург, Ч. 1, 2006.