К теории движения электрона в комбинированной магнитной ловушке с прохождением области циклотронного резонанса [[1]](#footnote-1)\*)

Милантьев В.П.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия, vmilant@mail.ru

В работах [1], было показано, что при движении электрона в магнитном поле и ВЧ поле стоячей волны в условиях циклотронного резонанса, поддерживаемого с помощью медленно растущего со временем магнитного поля, может набираться значительная энергия. Этот режим движения получил название «гиромагнитный авторезонанс» (ГА), и был реализован в экспериментальных установках различного типа [2], [3]. Ввиду сложности физических процессов, происходящих в установках, их теоретический анализ успешно проводился численными методами [3]. В данной работе представлены результаты аналитического расчета движения электрона в комбинированной магнитной ловушке с прохождением области циклотронного резонанса в рамках модели, в которой векторы поля резонатора представляются в упрощенной форме, но являются точным решением уравнений Максвелла. Магнитное поле пробочного типа задается в параксиальном приближении, считается, что для поддержания условия резонанса при релятивистском изменении циклотронной частоты оно зависит также от времени. Релятивистские уравнения движения электрона с помощью замены переменных сведены к системе уравнений двух связанных осцилляторов, совершающих вынужденные поперечные колебания, и уравнению продольного движения. Решение полученных уравнений с возможностью прохождения через область циклотронного резонанса проводилось по методу Боголюбова [4] с помощью разложений по малому параметру, которым является отношение амплитуды колебаний скорости электрона в ВЧ поле резонатора к скорости света в вакууме. Найдены условия, при которых в первом приближении связанные осцилляторы можно рассматривать как независимые. Эти условия непосредственно связаны с возможностью поддержания резонанса при движении электрона в ловушке в течение некоторого промежутка времени. Решение искалось в виде вынужденных колебаний, амплитуда и фаза которых определялась с помощью уравнений, правые части которых в свою очередь определяются в виде разложений по малому параметру. Довольно громоздкий расчет проводился в слаборелятивистском приближении. Найден в первом приближении закон поперечного движения и зависимость от времени поперечных компонент вектора скорости электрона в фиксированной поперечной плоскости ловушки при заданных начальных условиях. Получена общая формула, позволяющая дать оценку усредненной энергии, которую приобретают электроны после прохождения области циклотронного резонанса. С учетом найденных формул для поперечных переменных было преобразовано уравнение для продольного движения электрона, решение которого может быть получено численными методами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-29-21041.

Литература

1. Golovanivsky K.S. Phys. Scripta. 1980, Vol.22, P.126–133; IEEE Trans. Plasma Sci. 1983, Vol.11, P.28–35.
2. Андреев В.В., Голованивский К.С. Физика плазмы, 1985, Т.11(5), С300-306.
3. Andreev V.V., Chuprov D.V., Ilgisonis V.I., Novitsky A.A. and Umnov A.M. Phys. Plasmas, 2017, **24**, 093518.
4. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука. 1974.
1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLVII/Lt/en/FH-Milant%27ev_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)