

Дрейфовое движение заряженных частиц в сильном электрическом поле

Н.А. Марусов^{1,2}, Е.А. Сорокина^{2,3}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

³Российский университет дружбы народов

Исследовано дрейфовое движение заряженных частиц в сильном электрическом поле, задающем скорость электрического дрейфа сопоставимую с полной скоростью частицы. В этом случае уравнение динамики ведущего центра \mathbf{r}_d траектории частицы имеет вид [1,2]:

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{r}_d}{dt} = & \left(v_{\parallel} + \frac{u_{\perp}^2}{2\Omega} (\mathbf{b} \cdot \text{rot } \mathbf{b}) \right) \mathbf{b} + \mathbf{V}_E + \frac{u_{\perp}^2}{2\Omega} \left[\mathbf{b} \times \frac{\nabla B}{B} \right] + \frac{v_{\parallel}^2}{\Omega} [\mathbf{b} \times (\mathbf{b} \cdot \nabla) \mathbf{b}] + \\ & + \frac{c}{\Omega B} \mathbf{E}_{\perp} + \frac{v_{\parallel}}{\Omega} \left([\mathbf{b} \times (\mathbf{V}_E \cdot \nabla) \mathbf{b}] - c \frac{\mathbf{E}_{\perp}}{B^2} (\mathbf{b} \cdot \nabla B) \right) - \frac{c \mathbf{E}_{\perp}}{\Omega B^2} (\mathbf{V}_E \cdot \nabla B), \end{aligned} \quad (1)$$

где \mathbf{B} и \mathbf{E} – напряженности магнитного и электрического полей, $\mathbf{b} = \mathbf{B}/B$, $\Omega = -(Ze/mc)\mathbf{B}$ – циклотронная частота, $\mathbf{V}_E = (c/B^2)[\mathbf{E} \times \mathbf{B}]$ – скорость электрического дрейфа, $\mathbf{u}_{\perp} = \mathbf{v}_{\perp} - \mathbf{V}_E$; v_{\parallel} и v_{\perp} – компоненты скорости вдоль и поперек силовых линий магнитного поля соответственно; точкой обозначена полная производная по времени t . В сравнении с классической дрейфовой теорией [3] уравнение (1) имеет набор дополнительных членов, пропорциональных E/l и E^2/l (l – характерная длина изменения электрического/магнитного поля), вклад которых, ввиду предположения $v \gg V_E$, традиционно не учитывается, но может быть значительным в случае сильного электрического поля.

Численно произведен анализ членов второй строчки уравнения (1) на примере полей простой пространственной геометрии; для верификации проведено сравнение точной и дрейфовой траекторий. Проиллюстрированы эффекты, качественно отличающие движение заряженной частицы в сильном электрическом поле от обычного электрического дрейфа. К одним из таких эффектов, отсутствующих в стандартной дрейфовой теории, относится возможность дрейфа заряженной частицы вдоль электрического поля, сопровождающегося ростом её кинетической энергии.

Литература

1. *Морозов А.Н., Соловьев Л.С.* Вопросы теории плазмы, вып. 2 / под ред. акад. М.А. Леонтовича. М.: Госатомиздат, 1963, с. 177-258
2. *Ильгисонис В.И.* Классические задачи физики горячей плазмы. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 319 с.
3. *Сивухин Д.В.* Вопросы теории плазмы, вып. 1 / под ред. акад. М.А. Леонтовича. М.: Госатомиздат, 1963, с. 7-97