

Влияние синхротронного излучения на процесс лазерно-плазменного ускорения поляризованных электронов

Д.В. Пугачёва¹, Н.Е. Андреев^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Объединённый институт высоких температур РАН

В настоящее время поляризованные пучки частиц широко используются в экспериментах по физике высоких энергий, так как сечения взаимодействия элементарных частиц существенным образом зависят от спиновых переменных [1]. В данной работе исследуется динамика поляризации сгустка электронов, ускоряемого в поле кильватерной волны, генерируемой ультрарелятивистским лазерным импульсом в плазме. Траектории частиц и прецессия спина каждого отдельного электрона сгустка были получены с помощью решения системы самосогласованных уравнений [2] с учётом нелинейности распространения лазерного импульса. В процессе ускорения релятивистские электроны совершают в плазменном канале высокочастотные бетатронные колебания, что приводит к появлению синхротронного излучения, которое влияет на характеристики пучка. Поскольку деполяризация пучка напрямую зависит от его параметров, важно учитывать влияние этого спонтанного излучения на величину деполяризации. В этой работе влияние синхротронного излучения на движение ускоряемых частиц исследовалось с помощью введения в систему уравнений [2] тормозящей силы в форме Ландау-Лифшица [3].

На рис. 1а отобран процесс набора энергии (с учётом и без учёта синхротронного излучения) электроном с начальными параметрами $\rho_0 = 0.5$, $\gamma_0 = 132$ и нулевым поперечным импульсом, движущимся под действием постоянной ускоряющей силы $F_z = 0.47$ и различных линейных фокусирующих сил $F_r = \alpha\rho$, где ρ — нормированное на ω_p/c расстояние от электрона до оси, вдоль которой происходит ускорение, все силы нормированы на $m_e\omega_p c$, и ω_p — плазменная частота. При $\alpha = -0.075$ описанные силы соответствуют усредненным полям, которые генерируются лазерным импульсом с радиусом фокального пятна 89.13 мкм, длительностью 56 фс, интенсивностью $4.28 \cdot 10^{18}$ Вт/см² и мощностью 534 ТВт в цилиндрически симметричном плазменном канале с характерным радиальным размером 305.1 мкм и плотностью на оси $N_0 = 10^{17}$ см⁻³. На рис. 1б демонстрируется эволюция деполяризации (для случаев с излучением и без) гауссова электронного сгустка с начальным поперечным размером $\sigma_r c / \omega_p = 4.2$ мкм и нормализованным поперечным эмиттансом $\varepsilon_N = 2.5$ мм мрад в ходе лазерно-плазменного ускорения с параметрами, описанными выше.

Таким образом, было показано, что потери энергии на излучение и воздействие на величину поляризации пучка зависят от величины фокусирующей силы, действующей на электроны в процессе ускорения, начальной энергии частиц и длины области ускорения. Также стоит отметить, что при описанных характеристиках лазерно-плазменного ускорителя синхротронное излучение ускоряемых электронов практически не влияет на величину деполяризации.

Работа выполнена при поддержке программой фундаментальных исследований Президиума РАН.

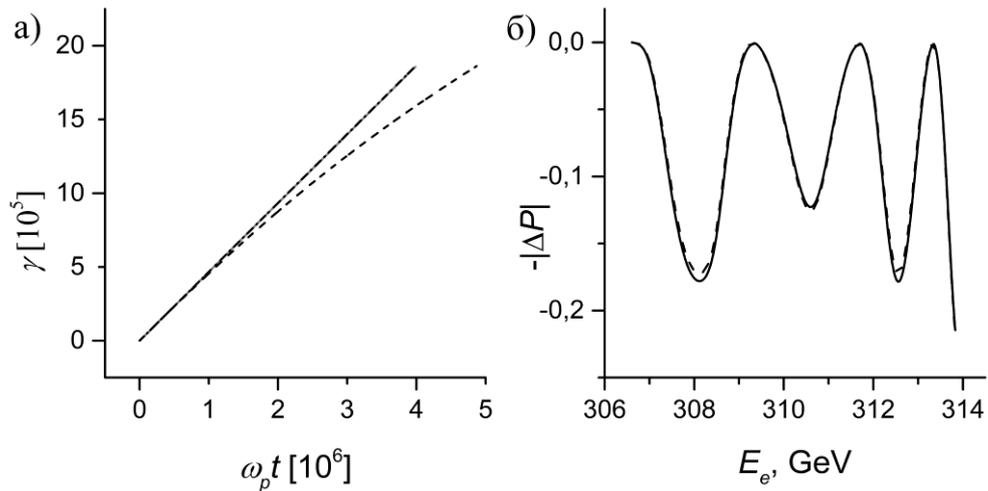


Рис. 1. Зависимость гамма-фактора электрона от времени ускорения без учёта синхротронного излучения – серая линия, с учётом синхротронного излучения и фокусирующей силой с $\alpha = -0.075$ – штрих-пунктирная линия, с $\alpha = -0.5$ – пунктирная линия (а). Динамика деполяризации пучка электронов в лазерно-плазменном ускорителе в зависимости от их энергии с учётом синхротронного излучения – сплошная линия, и без учёта излучения – пунктирная линия (б).

Литература

1. *Moortgat-Pick G. and et al.* Polarized positrons and electrons at the linear collider // *Phys. Rep.* 2008. V. 460, P. 131.
2. *Pugacheva D.V., Andreev N.E.* Precession dynamics of the relativistic electron spin in laser-plasma acceleration // *Quantum Electron.* 2016. V. 46, N 1. P. 88.
3. *Kostyukov Yu., Nerush E.N., Litvak A.G.* Radiative damping in plasma-based accelerators // *Phys. Rev. ST Accel. Beams.* 2012. V. 15, P. 111001