

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ТЕОРИЯ ПОЛЯ

УДК 539.12

DOI: 10.17223/00213411/64/3/106

В.А. БОРДОВИЦЫН¹, А.В. КУЛИКОВА^{2,3}, О. ТАНАКА⁴

ТЕНЗОР ГЕРЦА КАК ОСНОВА РЕЛЯТИВИСТСКОЙ СУБЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Классическая теория излучения заряженных частиц на сегодняшний момент является законченной теорией. Она имеет широкие применения в создании различных источников излучения: синхротронного, ондуляторного и др. При этом вопросы излучения собственного магнитного момента частиц исследованы не в полной мере. Излагается путь построения полей излучения точечного источника в рамках формализма тензора Герца. Дан вывод потенциалов и напряженностей полей точечного источника излучения.

Ключевые слова: релятивистское излучение заряда, тензор Герца.

Введение

В настоящее время теория излучения заряженных частиц хорошо изучена и получила большое практическое применение в экспериментах с пучками частиц высоких энергий, спектроскопии твёрдого тела, создании новых прогрессивных технологий микромеханики, а также в исследованиях космического радиоизлучения в астрофизике [1, 2]. Замечательным подтверждением правильности методов современной теории релятивистского излучения является прекрасное согласие результатов классической и квантовой теории синхротронного излучения с экспериментом [3]. Тем не менее электромагнитное поле, связанное с излучением, обладает такими свойствами, которые мало изучены, но содержат в себе большой потенциал для новых научных открытий. До сих пор в теории релятивистского излучения широко применяется стандартное энергетическое описание излучения с применением тензора плотности энергии-импульса и соответствующих ему спектрально-угловых и поляризационных характеристик мощности излучения. Однако в последнее время многие физики стали проявлять интерес к принципиально новым характеристикам электромагнитных полей, связанным с излучением (см., например, [4–6]).

Спиновый и орбитальный тензоры Герца

Рассмотрим свойства электромагнитных полей излучения на основе поляризационных потенциалов, введенных Г. Герцем ещё в 1889 г. Позднее в 1926 г. эти потенциалы были использованы Я.И. Френкелем для описания электромагнитных полей, создаваемых вращающимся электроном [7]. Релятивистски ковариантное обобщение трёхмерных векторов Герца в тензорной форме можно найти в работе [8]:

$$Z_s^{\mu\nu} = -\mu_0 \frac{\Pi^{\mu\nu}}{\tilde{r}_\rho v^\rho}. \quad (1)$$

Здесь μ_0 – собственный магнитный момент электрона; $\Pi^{\mu\nu} = (\Phi, \mathbf{P})$ – антисимметричный пространственно-подобный тензор спина в безразмерной форме, удовлетворяющий условию $\Pi^{\mu\nu} v_\nu = 0$, где v^μ – четырёхмерный вектор скорости частицы. Согласно этому условию, компонента $\Phi = [\beta, \mathbf{P}]$. Электромагнитные поля, задаваемые тензором Герца $Z_s^{\mu\nu}$, определены в мировой точке наблюдения $R^\mu = (c\tilde{t}, \mathbf{R})$ с помощью светоподобного четырёхмерного вектора $\tilde{r}^\mu = R^\mu - r^\mu$, где $r^\mu = (ct, \mathbf{r})$ – траекторный 4-вектор. Так как четырёхмерный вектор скорости $v^\mu = dr^\mu / d\tau$, то $d\tilde{r}^\mu / d\tau = -dr^\mu / d\tau = -v^\mu$. Время запаздывания излучения, приходящего от заряда в точку наблюдения, определяется очевидным соотношением $\Delta t = \tilde{r} / c = \tilde{t} - t$.

Заметим, что иногда вместо тензора спина $\Pi^{\mu\nu}$ вводится четырёхмерный вектор π^α , связанный с $\Pi^{\mu\nu}$ соотношениями [9]

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>