

УДК 372.853+535.3+537.6

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ЭФФЕКТОВ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Существует ряд эффектов (тормозное излучение, образование пар фотоном, расщепление фотона и др.), теория которых наиболее детально разработана в квантовой электродинамике (по сравнению с классической) и которые наблюдаются (со своими особенностями) как в электрическом, так и в магнитном поле. Некоторые из этих эффектов могут оказывать влияние на условия наблюдения эффекта Барышевского – Любошица [1, с. 88–95], поскольку указанный эффект проявляется для тех фотонов, которые испытывают рассеяние только на нулевой угол, не поглощаются и не расщепляются.

В связи с этим представляется интересным выполнить сравнительный анализ некоторых упомянутых выше эффектов, что удобно сделать, например, в виде таблиц, представленных ниже. Предложенные таблицы 1 и 2 могут быть использованы как преподавателями, так и студентами и магистрантами для обобщения и закрепления материала, в том числе при подготовке к экзаменам по электродинамике, физике элементарных частиц, квантовой теории поля и другим дисциплинам.

Таблица 1 – Примеры известных эффектов квантовой электродинамики

Эффекты	В электрическом поле	В магнитном поле
Тормозное излучение электрона	тормозное излучение на атомном ядре [2, с. 431–454, 463–470; 3, с. 387–407, 551]	магнитотормозное излучение [2, с. 419–428]
Образование электронно-позитронных пар фотоном	есть такой эффект в случае атомного ядра [2, с. 454–463; 3, с. 424–429, 553]	есть такой эффект [2, с. 429–431]
Самопроизвольное образование электронно-позитронных пар в соответствующем поле	есть такой эффект как в поле атомного ядра (гипотетический, при $Z > 170$) [2, с. 161], так и в общем случае [2, с. 633]	сведений об аналогичном эффекте обнаружить не удалось
Другие эффекты, относящиеся к фотону	когерентное рассеяние фотона в электрическом поле атомного ядра [2, с. 624–626; 3, с. 574–582]	расщепление фотона [2, с. 636–644]

В таблице 2 использованы следующие обозначения: α – константа электромагнитного взаимодействия, w – вероятность осуществления соответствующего процесса в единицу времени, σ и $d\sigma$ – полное и дифференциальное сечение соответствующего процесса, E – напряженность электрического поля, B – индукция магнитного поля, ω – частота фотона ($d\omega$ – интервал частот), ε – энергия электрона, m – масса электрона, $d\Omega$ – элемент телесного угла, θ – угол рассеяния, A (либо A_j) – коэффициенты пропорциональности в экспоненте или логарифме (при их наличии), значение которых в каждом конкретном случае не одно и то же.

Таблица 2 – Некоторые основные сведения об эффектах из таблицы 1

Эффекты	В электрическом поле	В магнитном поле
Тормозное излучение электрона	в разных пределах $d\sigma \sim \alpha^j d\omega/\omega$ ($j = \overline{1,3}$), $d\sigma \sim \alpha^2 d\omega$, $d\sigma \sim \alpha^2 \exp\left(-\frac{A_1}{\sqrt{A_2 - \hbar\omega}}\right) d\omega$ [2, с. 435–439, 446, 449] со сложной зависимостью от ε , θ и импульсов электронов	$w \sim \alpha^{5/2} B^3 \varepsilon^5$ [2, с. 428]
Образование пар фотоном	$\sigma \sim \alpha \ln(A\omega)$, $\hbar\omega \gg mc^2$ [2, с. 455], $\sigma \sim \alpha\omega^2$, $\hbar\omega \sim 2mc^2$ [2, с. 456]	$w \sim \alpha^{3/2} B \exp\left(-\frac{A}{\alpha^{1/2} B\omega}\right)$ [2, с. 431]
Спонтанное образование пар в поле	$w \sim \alpha E^2 \exp(-A/(\alpha^{1/2} E))$ [2, с. 633]	сведений о таком эффекте обнаружить не удалось
Другие эффекты, относящиеся к фотону	для когерентного рассеяния фотона в поле атомного ядра $d\sigma \sim \alpha^4 \omega^4 d\Omega$, $\hbar\omega \ll mc^2$ [2, с. 624], $d\sigma \sim \alpha^4 \omega^2 (\ln^2(A_1\omega) + A_2) d\Omega$, $\hbar\omega \gg mc^2$ при рассеянии на нулевой угол, $\sigma \sim \alpha^4 \omega^2 \theta^2$, $\hbar\omega \gg mc^2$ при малых углах [2, с. 626]	для расщепления фотона $w \sim \alpha^6 B^6 \omega^5 \sin^6 \theta$ [2, с. 643]

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышевский, В. Г. Ядерная оптика поляризованных сред / В. Г. Барышевский. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 320 с.
2. Теоретическая физика: учеб. пособие для вузов : в 10 т. / Л. Д. Ландау [и др.]. – 2-е изд., перераб. – М. : Наука, 1980. – Т. IV : Квантовая электродинамика. – 704 с.
3. Ахиезер, А. И. Квантовая электродинамика / А. И. Ахиезер, В. Б. Берестецкий. – 3-е изд., перераб. – М. : Наука, 1969. – 624 с.