

УДК 530.22

Эффекты неустойчивости вакуума в асимметричном электрическом поле

*Бреев Александр Игоревич¹*breev@mail.tsu.ru
SPIN-код: 6816-6790*Гаврилов Сергей Петрович²*gavrilovsergeyp@yahoo.com
SPIN-код: 5762-0816*Гитман Дмитрий Максимович³*dmitrygitman@hotmail.com
SPIN-код: 9346-2220¹НИ ТГУ, Томск, Россия²РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия³ФИАН, Москва, Россия

Аннотация. Найдены решения для асимметричного потенциала неоднородного электрического поля, заданного гладкой функцией. С помощью непертурбативного формализма КЭД с интенсивным неоднородным электрическим полем сформированы полные наборы решений, которые описывают начальные и финальные состояния частиц и античастиц. Что позволило исследовать основные характеристики неустойчивости вакуума в рассматриваемом электрическом поле и сравнить их с соответствующими характеристиками неустойчивости вакуума в известных точно решаемых случаях. Проанализирована зависимость числа рожденных пар от параметра, определяющего форму аналитического асимметричного электрического поля.

Ключевые слова: КЭД сильного поля, неустойчивость вакуума, эффект Швингера, уравнение Дирака, преобразование Дарбу

Введение. Для квантовых эффектов сильного поля, таких как рождение пар из вакуума, возможность выполнения вычислений существенно зависит от структуры внешних полей.

В тех случаях, когда квазиклассическое приближение не работает, наиболее надежным является подход, сформулированный в рамках квантовой теории интенсивного поля, в частности, для КЭД. В этом подходе непертурбативные вычисления опираются на точные решения релятивистских волновых уравнений с внешним полем [1]. Фактически, однако, известно лишь несколько точно-решаемых случаев, хотя бы приближенно соответствующих реалистическим ситуациям. Таким образом, возникает задача построения новых точных решений уравнения Дирака в интенсивных внешних полях, решение которой позволило бы расширить класс точно решаемых случаев в КЭД, а также и КТП в искривленном пространстве-времени.

Методы и материалы; результаты. Для исследования эффекта рождения пар внешним электрическим полем используется общий формализм

и методы квантовой теории поля, в частности, картина Фарри для КЭД с внешними полями, нарушающими стабильность вакуума [1]. Для построения точных решений уравнения Дирака применяется метод разделения переменных и метод обобщенного преобразования Дарбу. Что позволило построить новую точно решаемую модель в КЭД сильного электрического асимметричного поля, заданного аналитическим по форме потенциалом [2].

Заключение. Непертурбативно проанализировано влияние асимметрии электрического поля на эффекты нестабильности вакуума, в частности показано, что существенно меняется поведение средних дифференциальных чисел рожденных пар по сравнению с их поведением в случае симметричного электрического поля типа Заутера. Исследована нестабильность вакуума в медленно меняющемся поле. Показано, что в достаточно широком диапазоне импульсов дифференциальные средние числа рождающихся пар не зависят от формы аналитического асимметричного электрического поля и совпадают с теми, которые создаются постоянным электрическим полем. Проведено сравнение общего среднего числа рожденных пар в режиме медленно меняющегося поля с оценкой, полученной в приближении универсального медленно меняющегося поля.

Список источников

- [1] Гитман Д.М., Фрадкин Е.С., Шварцман Ш.М. *Квантовая электродинамика с нестабильным вакуумом*. Москва, Наука, 1991, 296 с.
- [2] Breev A.I., Gavrilov S.P., Gitman D.M., Shishmarev A.A. Vacuum instability in time-dependent electric fields: New example of an exactly solvable case. *Physical Review D*, 2021, vol. 104, art. no. 076008. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.104.076008>

Effects of Vacuum Instability in Asymmetric Electric Field

*Breev Alexander Igorevich*¹

breev@mail.tsu.ru

*Gavrilov Sergey Petrovich*²

gavrilovsergeyp@yahoo.com

*Gitman Dmitry Maksimovich*³

dmitrygitman@hotmail.com

¹TSU, Tomsk, Russia

²Herzen University, St. Petersburg, Russia

³LPI, Moscow, Russia

Abstract. Solutions have been found for the asymmetric potential of the heterogeneous electric field, given by a smooth function. With the help of non-perturbative formalism QED with intense heterogeneous electric field complete sets of solutions are formed, which describe initial and final states of particles and antiparticles. Which made it possible to study the main characteristics of vacuum instability in the electric field under consideration and to compare them with corresponding characteristics of vacuum instability in known

precisely solved cases. The dependence of the number of created pairs on the parameter defining the form of an analytical asymmetric electric field was analyzed.

Keywords: QED strong fields, vacuum instability, Schwinger effect, Dirac equation, Darby transformation

Introduction. For strong-field quantum effects, such as the creation of a pair from a vacuum, the ability to perform calculations depends significantly on the structure of the outer fields.

In cases where the quasi-classical approximation does not work, the most reliable approach is the one formulated within the framework of SFQFT, in particular for SFQED. In this approach, non-perturbative computations rely on the precise solutions of relativistic wave equations with an external field [1]. In fact, however, only a few well-defined cases are known, even if they are close to realistic situations. Thus, there is the problem of constructing new exact solutions of Dirac equation in intense external fields, which solution would allow to expand the class of exactly solved cases in QED as well as in QFT in curved space-time.

Methods and materials; results. To study the effect of pair production by an external electric field, the general formalism and methods of quantum field theory are used, in particular, the Furry picture for QED with external fields that violate the stability of the vacuum [1]. To construct exact solutions of the Dirac equation, the method of separation of variables and the method of generalized Darboux transformation are used. This made it possible to construct a new exactly solvable model in QED of a strong electric asymmetric field specified by a potential of analytical form [2].

Conclusion. The influence of the electric field asymmetry on the effects of vacuum instability is analyzed nonperturbatively. In particular, it is shown that the behavior of the average differential numbers of produced pairs changes significantly compared to their behavior in the case of a symmetric electric field of the Sauter type. The instability of the vacuum in a slowly varying field is investigated. It is shown that in a sufficiently wide range of momenta, the differential average numbers of produced pairs do not depend on the shape of the analytical asymmetric electric field and coincide with those created by a constant electric field. A comparison is made of the total average number of produced pairs in the slowly varying field regime with the estimate obtained in the approximation of a universal slowly varying field.

References

- [1] Fradkin E.S., Gitman D.M., Shvartsman, S.M., Gitman, D.M. Quantum electrodynamics: with unstable vacuum. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991, 288 p.
- [2] Breev A.I., Gavrilov S.P., Gitman D.M., Shishmarev A.A. Vacuum instability in time-dependent electric fields: New example of an exactly solvable case. *Physical Review D*, 2021, vol. 104, art. no. 076008. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.104.076008>