

Численно-аналитические алгоритмы интегрирования уравнений движения заряженных частиц в электрических полях

В. М. Свешников, А. С. Третьяков

Предложены и экспериментально исследованы численно-аналитические алгоритмы интегрирования уравнений движения заряженных частиц в электрических полях. Необходимость в разработке таких алгоритмов возникла при моделировании интенсивных пучков заряженных частиц в протяженных системах. Характерной задачей при этом является по возможности точное определение расширения пучка и его угловой расходимости на значительном расстоянии от поверхности старта (эммитера). Применение классических численных алгоритмов не давало адекватных результатов. Поэтому возникло предложение на каждом шаге численного интегрирования использовать аналитическое решение уравнений движения, сделав упрощающие предположения об электрических полях. Упрощающие предположения в пределах шага численного интегрирования, дающие достаточную точность и, в то же время, несложное решение, состояли в следующем: в продольном направлении поле предполагается постоянным, а в поперечном – линейным по координате, что характерно для интенсивных пучков. Дано экспериментальное сравнение численно-аналитических алгоритмов с численными алгоритмами, которое показало преимущество разработанного подхода.

Ключевые слова: интенсивные пучки, интегрирование уравнений движения, электронно-оптические приборы, протяженные системы, численно-аналитические алгоритмы, средняя точка, предиктор-корректор.

Ссылка: Свешников В. М., Третьяков А. С. // Прикладная физика. 2019. № 1. С. 5.

Reference: V. M. Sveshnikov and A. S. Tretyakov, Prikl. Fiz., No. 1, 5 (2019).

Свешников Виктор Митрофанович¹, г.н.с., д.ф.-м.н.

Третьяков Александр Сергеевич², студент

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН.

Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Акад. Лаврентьева, 6.

E-mail: victor@lapasrv.sscs.ru

²Новосибирский государственный университет.

Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2.

E-mail: gradinos105@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20 ноября 2018 г.

© Свешников В. М., Третьяков А. С., 2019

Работа поддержана Сибирским отделением РАН, программа фундаментальных исследований, интеграционный проект № 10.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свешников В. М. // Вычислительные технологии. 2004. Т. 9. № 3. С. 90.
2. Ильин В. П. Численные методы решения задач электрооптики. – Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1974.
3. Ильин В. П. Численные методы решения задач электрофизики. – М.: Наука, 1985.
4. Ильин В. П. Методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2017.
5. Арцимович Л. А., Лукьянов С. Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. – М.: Наука, 1978.
6. Сыровой В. А. Введение в теорию интенсивных пучков заряженных частиц. – М.: Энергоатомиздат, 2004.

7. Григорьев Ю. Н., Вишнев В. А., Федорук М. П. Численное моделирование методами частиц-в-ячейках. – Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2004.

8. Молоковский С. И., Сушков А. Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

9. Алямовский И. В. Электронные пучки и электронные пушки. – М.: Советское радио, 1966.

10. Мануилов В. Н., Юсупов Э. Т. // Прикладная физика. 2012. № 5. С. 72.

PACS: 52.59.-f

Numerical-analytical algorithms for integrating the equations of motion of charged particles in electric fields

V. M. Sveshnikov¹ and A. S. Tretyakov²

¹Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, SB RAS
6 Akademika Lavrentjeva av., Novosibirsk, 630090, Russia
E-mail: victor@lapasrv.sccc.ru

²Novosibirsk State University
2 Pirogova str., Novosibirsk, 630090, Russia
E-mail: gradinos105@gmail.com

Received November 20, 2018

Numerical-analytical algorithms for integrating the equations of motion of charged particles in electric fields are proposed and experimentally investigated. The need to develop such algorithms arose in the simulation of intense beams of charged particles in extended systems. A characteristic task is to determine, as far as possible, the beam expansion and its angular divergence at a considerable distance from the start (emitter) surface. The use of classical numerical algorithms did not give adequate results. Therefore, a proposal arose at each step of numerical integration to use an analytical solution of the equations of motion, making simplifying assumptions about electric fields. Simplifying assumptions within the numerical integration step, which provide sufficient accuracy and, at the same time, a simple solution, were as follows: in the longitudinal direction the field is assumed to be constant, and in the transverse direction – linear in the coordinate, which is characteristic of intense beams. An experimental comparison of numerical-analytical algorithms with numerical algorithms is given, which showed the advantage of the developed approach.

Keywords: intensive beams, integration of equations of motion, electron-optical devices, extended systems, numerical-analytical algorithms, midpoint, predictor-corrector.

REFERENCES

1. V. M. Sveshnikov, Computational Technologies **9** (3), 90 (2004).
2. V. P. Ilyin, *Numerical methods for solving problems in electro-optics* (Nauka, Novosibirsk, 1974) [in Russian].
3. V. P. Ilyin, *Numerical methods for solving problems in electrophysics* (Nauka, Moscow, 1985) [in Russian].
4. V. P. Ilyin, *Methods for solving ordinary differential equations* (Novosibirsk State University, 2017) [in Russian].
5. L. A. Artsimovich and S. Yu. Lukyanov, *The movement of charged particles in electric and magnetic fields* (Nauka, Moscow, 1978) [in Russian].
6. V. M. Syrovoy, *Introduction to the theory of intense beams of charged particles*. (Energoatomizdat, Moscow, 2004) [in Russian].
7. Yu. N. Grigoryev, V. A. Vshivkov, and M. P. Fedoruk, *Numerical modeling of particles in cells* (Publishing house of SB RAS, Novosibirsk, 2004) [in Russian].
8. S. I. Molokovskiy and A. D. Sushkov, *Intensive electron and ion beams* (Energoatomizdat, Moscow, 1991) [in Russian].
9. I. V. Alyamovsky, *Electron beams and electron guns* (Soviet Radio, Moscow, 1966) [in Russian].
10. V. N. Manuilov and E. T. Yusupov, *Prikl. Fiz.*, No. 5, 72 (2012).