
**Лаборатория информационных
технологий им. М. Г. Мещерякова**

Представлены оригинальный метод и алгоритм в системе Maple решения задачи рассеяния в одно-канальном приближении метода связанных каналов оптической модели (ОМ), описываемой обыкновенным дифференциальным уравнением (ОДУ) второго порядка с комплексным потенциалом с регулярными граничными условиями.

Комплексный потенциал состоит из известной вещественной части, представляющей собой сумму ядерного потенциала, кулоновского потенциала и цен-

**Meshcheryakov Laboratory
of Information Technologies**

An original method and an algorithm in the Maple system for solving the scattering problem in the single-channel approximation of the close-coupling method of the optical model (OM) described by a second-order ordinary differential equation (ODE) with a complex-valued potential and regular boundary conditions were presented. The complex-valued potential consists of the known real part, which is a sum of the nuclear potential, the Coulomb potential and the centrifugal potential, and the imaginary part, which is a product of the unknown coupling constant $g(E)$, depending on the collision energy E of a pair of ions and the derivative of the real part of the known nuclear potential with respect to the ODE independent variable. The algorithm implements the solution of

тробежного потенциала, и мнимой части, представляющей собой произведение неизвестной константы связи $g(E)$, зависящей от энергии столкновения E пары ионов, и производной действительной части известного ядерного потенциала по независимой переменной ОДУ. Алгоритм реализует решение обратной задачи: вычисляет неизвестную константу связи $g(E)$ и матрицу рассеяния $S(g(E), E)$ из условия $|S(g(E), E)|^2 = 1 - |T(E)|^2$ методом секущих, используя на каждом шаге метода секущих решение прямой задачи рассеяния для ОМ с помощью программы KANTBP 4M.

Амплитуды прохождения $T(E)$ и отражения $R(E)$, подчиненные условию $|R(E)|^2 = 1 - |T(E)|^2$ модели с граничными условиями падающей волны (IWBC), вычислены также с помощью программы KANTBP 4M. Алгоритм обеспечивает взаимно-однозначное соответствие между ОМ с комплексным потенциалом и моделью IWBC с вещественным потенциалом. Эффективность предложенного подхода показана численным решением задачи рассеяния и расчетом эталонного сечения захвата и метастабильных состояний пары тяжелых ионов $^{16}\text{O} + ^{144}\text{Sm}$ в одноканальном приближении метода связанных каналов.

Gusev A.A., Chuluunbaatar O., Derbov V.L., Nazmitdinov R.G., Vinitsky S.I., Wen P.W., Lin C.J., Jia H.M., Hai L.L.

Symbolic-Numerical Algorithm for Solving the Problem of Heavy Ion Collisions in an Optical Model with a Complex Potential // Lect. Notes Comput. Sci. 2023. V. 14139. P. 128–140.

В ЛИТ в рамках программы сотрудничества с Кейптаунским университетом (ЮАР) проведено исследование слабоизлучающих сферически-симметричных осциллонов в скалярной модели ϕ^4 . Осциллоны — локализованные в пространстве пульсирующие конфигурации поля, возникающие в целом ряде моделей физики высоких энергий и космологии.

Предложенный в работе анализ пространственно-временной структуры осциллонов основан на их аппроксимации строго периодическими по времени стоячими волнами в шаре конечного радиуса, которые вычисляются как решения двумерной периодической краевой задачи. Численное исследование сводится к продолжению локализованных решений краевой задачи по периоду колебания с использованием ньютоновских итераций при каждом фиксированном значении периода. Устойчивость полученных таким образом решений к малым сферически-симметричным возмущениям классифицируется путем вычисления ассоциированных множителей Флоке.

В работе показано сосуществование нелинейных волн с экспоненциальной и степенной локализацией,

the inverse problem, i.e., it calculates the unknown coupling constant $g(E)$ and the scattering matrix $S(g(E), E)$ from the condition $|S(g(E), E)|^2 = 1 - |T(E)|^2$ by means of the secant method using at each step of the secant method the solution of the direct scattering problem for the OM with the help of the KANTBP 4M program.

The required amplitudes of transmission $T(E)$ and reflection $R(E)$, subject to the condition $|R(E)|^2 = 1 - |T(E)|^2$ of the model with incoming wave boundary conditions (IWBCs), are also calculated by the standard KANTBP 4M program. The algorithm provides a one-to-one correspondence between the OM with a complex-valued potential and the model of IWBCs with a real-valued potential. The efficiency of the proposed approach is shown by numerically solving the scattering problem and calculating the reference fusion cross section and metastable states for a pair of heavy ions $^{16}\text{O} + ^{144}\text{Sm}$ in the single-channel approximation of the close-coupling method.

Gusev A.A., Chuluunbaatar O., Derbov V.L., Nazmitdinov R.G., Vinitsky S.I., Wen P.W., Lin C.J., Jia H.M., Hai L.L. Symbolic-Numerical Algorithm for Solving the Problem of Heavy Ion Collisions in an Optical Model with a Complex Potential // Lect. Notes Comput. Sci. 2023. V. 14139. P. 128–140.

A study of spherically symmetric oscillons in the scalar model ϕ^4 was carried out at MLIT within the framework of the cooperation programme with the University of Cape Town (RSA). Oscillons are spatially localized weakly radiating oscillatory field configurations occurring in a broad range of models of high-energy physics and cosmology.

The proposed analysis of the spatiotemporal structure of oscillons is based on their approximation by periodic standing waves in a ball of a finite radius, which are determined as solutions of a boundary value problem posed on a two-dimensional periodic domain. The numerical analysis consists in the continuation of localized solutions in the period of the wave, with the Newtonian iteration employed at each value of the period. The stability of the resulting solutions against small spherically symmetric perturbations is classified by evaluating the associated Floquet multipliers.

The study established the co-existence of nonlinear waves with exponential and power-law localization. The latter solutions emerge from the continuation of linear oscillations to larger amplitudes. The energy–frequency diagram of the exponentially localized waves features a series of resonant spikes. The standing waves associated with the

последние из которых представляют собой продолжение линейных колебаний в сторону увеличения амплитуды. Зависимость энергии экспоненциально локализованных стоячих волн от их частоты характеризуется наличием резонансных пиков, в окрестности которых решения указанного типа бифуркируют из слабо локализованных волн путем удвоения периода. Показано, что стоячие волны, возникающие в шаре достаточно большого радиуса, устойчивы в широких интервалах частот.

Расчеты проводились на платформе HybriLIT и с помощью суперкомпьютера «Говорун» МИВК ОИЯИ.

Alexeeva N. V., Barashenkov I. V., Bogolubskaya A. A., Zemlyanaya E. V. Understanding Oscillons: Standing Waves in a Ball // *Phys. Rev. D.* 2023. V. 107. P. 076023.

Рассматривается информационная технология проектирования робастной интеллектуальной системы управления на базе квантового алгоритма нечеткого вывода. Применение разработанной методологии проектирования основано на квантовой самоорганизации неточных баз знаний нечетких регуляторов и приводит к повышению уровня робастности интеллектуальных систем управления в непредвиденных ситуациях. Проводится сравнение результатов математического

моделирования и физического эксперимента на примере автономного робота в виде системы «перевернутый маятник – движущаяся каретка». Получено экспериментальное подтверждение существования синергетического эффекта формирования робастного самоорганизующегося нечеткого регулятора из конечного числа неробастных нечетких регуляторов в реальном времени. Полученный эффект основан на существовании скрытой квантовой информации, извлекаемой из классических состояний процессов изменения во времени коэффициентов усиления регуляторов. Выведенный закон квантовой информационной термодинамики устанавливает возможность формирования термодинамической силы управления за счет извлеченного количества скрытой квантовой информации и совершения дополнительной полезной работы, что гарантирует достижение цели управления на базе повышения уровня робастности самоорганизующегося квантового регулятора. При этом количество совершенной объектом управления полезной работы (на макроуровне) превышает количество работы, затраченной (на микроуровне) квантовым самоорганизующимся регулятором на извлечение квантовой информации, скрытой в реакциях неточных баз знаний, без нарушения второго информационного закона термодинамики открытых

resonances prove to be born in the period-doubling bifurcations of the weakly-localized waves with higher frequencies. The energy–frequency diagram for a sufficiently large ball displays sizeable intervals of stability against spherically symmetric perturbations.

The computations were performed on the HybriLIT platform and using the “Govorun” supercomputer of the JINR MICC.

Alexeeva N. V., Barashenkov I. V., Bogolubskaya A. A., Zemlyanaya E. V. Understanding Oscillons: Standing Waves in a Ball // *Phys. Rev. D.* 2023. V. 107. P. 076023.

The information technology of a robust intelligent control system design based on a quantum fuzzy inference algorithm is considered. The application of the developed design methodology rests on the quantum self-organization of the imperfect knowledge bases of fuzzy controllers and leads to an increase in the robustness of intelligent control systems in unpredicted situations. The results of mathematical modeling and a physics experiment are compared using the example of an autonomous robot in the form of a “cart-pole” system. The experimental confirmation of the synergistic effect existence to form a robust

self-organizing fuzzy controller from a finite number of nonrobust fuzzy controllers in real time is obtained. The resulting effect is based on the existence of hidden quantum information extracted from the classical states of the processes of time-varying gain coefficients of the controllers. The derived law of quantum information thermodynamics establishes the possibility of forming a thermodynamic control force due to the extracted amount of hidden quantum information and performing additional useful work, which guarantees the achievement of the control goal based on enhancing the robustness of a self-organizing quantum regulator. At the same time, the amount of useful work performed by the control object (at the macro-level) exceeds the amount of work spent (at the micro-level) by a quantum self-organizing regulator to extract quantum information hidden in the responses of imperfect knowledge bases without violating the second thermodynamics information law for open quantum systems with the information exchange of entangled supercorrelated states. A specific example of an autonomous robot developed at MLIT is given, demonstrating the existence of the quantum self-organization synergistic effect of imperfect knowledge bases.

квантовых систем с обменом информацией запутанных суперкоррелированных состояний. Приведен конкретный пример автономного робота, разработанного в ЛИТ, демонстрирующий существование синергетического эффекта квантовой самоорганизации неточных баз знаний.

Решетников А. Г., Ульянов В. С., Ульянов С. В. Робастное интеллектуальное управление автономным роботом: Квантовая самоорганизация неточных баз знаний — эксперимент // Изв. РАН. ТиСУ. 2023. № 5. С. 127–146.

Исследование взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов с веществом является важным в связи со многими фундаментальными проблемами (физика неравновесных процессов, генерация ударных волн, лазерное ускорение ионов и т. д.). В настоящее время возрастает необходимость в создании и совершенствовании достоверных физических моделей, способных описывать различные процессы в веществе. При этом компьютерное моделирование занимает сейчас одно из главных мест в исследовании таких задач.

В работе предложена модификация модели термического пика (МТП), базирующаяся на системе двух связанных гиперболических уравнений теплопроводности. Действие лазера в электронном газе учтено через функцию источника, которую выбрали в виде

двойного фемтосекундного лазерного импульса. В гиперболической МТП в отличие от параболической МТП присутствуют дополнительные параметры, которые характеризуют времена релаксации потока тепла в электронном газе и кристаллической решетке.

Проведены численное исследование решений параболического и гиперболического уравнений модели термического пика при одинаковых физических параметрах и сравнительный анализ полученных результатов.

Амирханов И. В., Сархадов И., Тухлиев З. К. Численные результаты тепловых процессов, возникающих в материалах при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов. Препринт ОИЯИ P11-2023-52. Дубна, 2023; Поверхность. Рентген-, синхротр. и нейтрон. исслед. (принято к публикации).

Reshetnikov A. G., Ulyanov V. S., Ulyanov S. V. Intelligent Robust Control of an Autonomous Robot: Quantum Self-Organization of Imperfect Knowledge Bases — Experiment // J. Comput. Syst. Sci. Intern. 2023. No. 5. P. 127–146 (in Russian).

The study of the interaction of femtosecond laser pulses with matter is important due to many fundamental problems (physics of nonequilibrium processes, generation of shock waves, laser acceleration of ions, etc.). Currently, there is an increasing need to create and improve reliable physical models capable of describing various processes in matter. At the same time, computer modeling now occupies one of the main places in the study of such problems.

The paper proposed a modification of the thermal peak model (TPM) based on a system of two coupled hyperbolic heat conduction equations. The action of the laser in the electron gas was taken into account through the source function, which is chosen in the form of a double femtosecond laser pulse. In the hyperbolic TPM, in contrast to the parabolic TPM, there are additional parameters that characterize the relaxation times of the heat flux in the electron gas and the crystal lattice.

A numerical study of the solutions of the parabolic and hyperbolic equations of the thermal peak model for the same physical parameters and a comparative analysis of the results obtained were carried out.

Amirkhanov I. V., Sarkhadov I., Tukhliev Z. K. Numerical Results of Thermal Processes Occurring in Materials under the Action of Femtosecond Laser Pulses. JINR Preprint P11-2023-52. Dubna, 2023; J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron Neutron Techn. (in Russian) (accepted).