

УДК 530.12

Гравитационные волны, связанные со сферической электромагнитной волной

Сизов Вячеслав Андреевич

vasizov@bmstu.ru

Фомин Игорь Владимирович

ingvor@inbox.ru

SPIN-код: 4676-2672

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассматриваются решения возмущенных уравнений Эйнштейна в пространстве Шварцшильда для случая распространения сферически симметричных электромагнитной и гравитационной волн, соответствующих возмущениям метрики Шварцшильда. Показано, что сферические электромагнитные волны имеют связанные с ними продольные гравитационно-волновые компоненты. Предложено описание основных свойств гравитационных волн, связанных со сферическими электромагнитными волнами.

Ключевые слова: гравитация Эйнштейна, пространство Шварцшильда, связанные гравитационные волны, электромагнитные волны, метрический тензор

Введение. При исследовании гравитационной волны, распространяющейся в искривленном пространстве-времени, часто используются методы теории возмущений [1]. В этом случае гравитационные волны рассматриваются, как малые возмущения фонового пространства-времени $h_{\mu\nu} = \delta g_{\mu\nu}^0$.

В пустом пространстве при распространении гравитационной волны в пустом пространстве вдоль направления $x^1 = x$ ненулевыми компонентами тензора возмущения являются только поперечно-поперечные (ТТ): h_{yz} , h_{yy} , h_{zz} [2]. Однако при наличии источника $T_{\mu\nu} \neq 0$ связанные гравитационные волны могут иметь и продольные (LL): h_{tt} , h_{tx} , h_{xx} , и продольно-поперечные (LT): h_{ty} , h_{tz} , h_{xy} , h_{xz} , компоненты [3].

В работах [4, 5] были получены LL компоненты гравитационной волны, связанной с плоской электромагнитной волной, в пространстве Минковского. Целью данной работы является анализ компонент гравитационной волны, связанной со сферической электромагнитной волной в пространстве Шварцшильда на основе решения возмущенных уравнений Эйнштейна.

Методы и материалы; результаты. Для достижения поставленной цели были решены возмущенные уравнения Эйнштейна в пространстве Шварцшильда для случая распространения сферически симметричной электромагнитной волны в радиальном направлении. Из условия сферической симметричности электромагнитных волн и изотропности пространства-

времени было положено, что диагональные поперечные компоненты метрических возмущений равны между собой.

На основе полученных точных решений, было показано, что сферическая электромагнитная волна имеет чисто продольные гравитационно-волновые компоненты. Эти решения представляют собой четные возмущения метрики Шварцшильда.

Полученные связанные гравитационные волны несут информацию о пространстве, а именно о массе черной дыры, в амплитудных коэффициентах, а также в фазовых множителях. Также было показано, что амплитуды связанных гравитационных волн в пространстве с метрикой Шварцшильда больше, чем в пространстве Минковского, из-за наличия гравитирующей массы.

Заключение. Представлен анализ связанных гравитационных и электромагнитных волн с учетом возмущений метрики пространства-времени Шварцшильда. Полученные результаты позволяют рассматривать влияние гравитационно-волновой компоненты на процессы распространения и взаимодействия электромагнитных волн в области компактных гравитирующих объектов.

Список источников

- [1] Fanizza G. et al. Linearized propagation equations for metric fluctuations in a general (non-vacuum) background geometry. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2021, vol. 2021. <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2021/07/021>
- [2] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теория поля*. Москва, Физматлит, 1987.
- [3] Maggiore M. *Gravitational Waves. Vol. 1: Theory and Experiments*. Oxford, Oxford University Press, 2008, 547 p.
- [4] Морозов А.Н., Пустовойт В.И., Фомин И.В. О гравитационных волнах, связанных с электромагнитными волнами. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*, 2020, № 2, с. 53–63.
- [5] Morozov A.N., Pustovoit V.I., Fomin I.V. Bound gravitational waves in a dielectric medium and a constant magnetic field. *Eur. Phys. J. Plus.*, 2020, vol. 135. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-00961-0>

Gravitational Waves Coupled With a Spherical Electromagnetic Wave

Sizov Vyacheslav Andreevich

Fomin Igor Vladimirovich

vasizov@bmstu.ru

ingvor@inbox.ru

SPIN-code: 4676-2672

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. Solutions of perturbed Einstein equations in the Schwarzschild space-time are considered for the propagation of spherically symmetric electromagnetic and gravitational waves corresponding to perturbations of the Schwarzschild metric. It is shown that spheri-

cal electromagnetic waves have longitudinal gravitational wave components coupled with them. A description of the basic properties of gravitational waves coupled with spherical electromagnetic waves is proposed.

Keywords: Einstein gravity, Schwarzschild space-time, coupled gravitational waves, electromagnetic waves, metric tensor

Introduction. Methods of perturbation theory are often used in the study of a gravitational wave propagating in a curved space-time [1]. In this case, gravitational waves are considered as small perturbations of the background space-time.

$$h_{\mu\nu} = \delta g_{\mu\nu}^0.$$

In Minkowski spacetime, when a gravitational wave propagates in empty space along the direction $x^1 = x$, the nonzero components of the perturbation tensor are only transverse–transverse (TT): h_{yz} , h_{yy} , h_{zz} [2]. However, in the presence of a source $T_{\mu\nu} \neq 0$, coupled gravitational waves can have both longitudinal–longitudinal (LL): h_{tt} , h_{tx} , h_{xx} , and longitudinal–transverse (LT): h_{ty} , h_{tz} , h_{xy} , h_{xz} components [3].

In [4, 5], the LL components of a gravitational wave coupled with a plane electromagnetic wave in Minkowski space were obtained. The purpose of this work is to analyze the components of a gravitational wave coupled with a spherical electromagnetic wave in Schwarzschild spacetime based on the solution of perturbed Einstein equations.

Methods and materials; results. To achieve this goal, the perturbed Einstein equations in Schwarzschild spacetime were solved for the case of propagation of a spherically symmetric electromagnetic wave in the radial direction. From the condition of spherical symmetry of electromagnetic waves and isotropy of space-time, it was assumed that the diagonal transverse components of metric perturbations are equal to each other.

Based on the exact solutions obtained, it was shown that a spherical electromagnetic wave has purely longitudinal gravitational wave components. These solutions are even perturbations of the Schwarzschild metric.

The resulting coupled gravitational waves carry information about space, namely, the mass of the black hole, in amplitude coefficients, as well as in phase multipliers. It was also shown that the amplitudes of coupled gravitational waves in the space with the Schwarzschild metric are greater than in the Minkowski space due to the presence of a gravitational mass.

Conclusion. An analysis of coupled gravitational and electromagnetic waves is presented, taking into account perturbations of the Schwarzschild space-time metric. The results obtained allow us to consider the influence of the gravitational-wave component on the propagation and interaction of electromagnetic waves in the field of compact gravitating objects.

References

- [1] Fanizza G. et al. Linearized propagation equations for metric fluctuations in a general (non-vacuum) background geometry. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2021, vol. 2021. <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2021/07/021>
- [2] Landau L.D., Lifshitz E.M. *Field Theory*. Moscow, Fizmathlit Publ., 1987. (In Russ.).
- [3] Maggiore M. *Gravitational Waves. Vol. 1: Theory and Experiments*. Oxford, Oxford University Press, 2008, 547 p.
- [4] Morozov A.N., Pustovoit V.I., Fomin I.V. On gravitational waves coupled with electromagnetic waves. *Space, time, and fundamental interactions*, 2020, no. 2, pp. 53–63. (In Russ.).
- [5] Morozov A.N., Pustovoit V.I., Fomin I.V. Bound gravitational waves in a dielectric medium and a constant magnetic field. *Eur. Phys. J. Plus.*, 2020, vol. 135. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-00961-0>