Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

October 27, 2024

Review of the Dissertation by Tursynbek Izmukhanovich Yernazarov

This review evaluates the dissertation of Tursynbek Izmukhanovich Yernazarov, titled "*Nonlinear Electrodynamics Effects of Vacuum and General Relativity in the Propagation of Electromagnetic Wave Fronts through the Magnetic Field of a Magnetar.*" The dissertation is submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the specialty "8D05306 - Physics" at the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Faculty of Physics and Technology, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

Research into the inelastic scattering of laser photons by gamma quanta has revealed that the vacuum exhibits nonlinear properties within the framework of quantum electrodynamics. Observing these effects under laboratory conditions requires an extraordinary level of measurement precision, on the order of 10^{-19} to 10^{-20}, which is currently beyond the capabilities of modern instrumentation. As a result, nonlinear vacuum electrodynamics remains largely unexplored. However, in extreme environments, such as the intense magnetic fields produced by compact astrophysical objects like magnetars, these effects become more observable. The propagation of electromagnetic waves in such fields is accompanied by nonlinear phenomena, including ray bending and radiation polarization. Although numerous analytical and numerical studies have examined the refraction angles and polarization of electromagnetic waves in magnetic fields, quantitative studies of these effects in non-equatorial planes, and in the context of combining gravity with nonlinear vacuum electrodynamics, remain limited. Comparing these findings with data from satellite telescopes could significantly advance our understanding of vacuum nonlinear effects, making research in this area particularly pertinent.

In this dissertation, numerical methods are employed to explore nonlinear vacuum electrodynamics and the influence of gravity on the propagation of electromagnetic radiation through a magnetar. The deflection of rays was analyzed in the plane of the dipole axis and the perpendicular plane under the combined effects of gravitational and magnetic fields. It was determined that the angle of deflection depends on the impact parameter and magnetic field strength at distances ranging from 15 to 100 km, with a magnetic field of $B = 10^{13}$ Gs. The maximum deflection angles were found to be 86° for the gravitational field and 3.36° for the magnetic field. The deformation of the radiation front passing through the magnetic field was also investigated, revealing that the front takes on an almost elliptical shape with a deformation parameter of $\Delta = 0.07$. Consequently, a significant impact of the combined fields on the flux density of gamma radiation from GRB091006360 was identified when passing through the magnetosphere of the magnetar Swift J1822.3-1606, leading to a redistribution of energy flux.

The findings of this research are of considerable value for future studies, particularly in the fields of astrophysics and vacuum nonlinear electrodynamics. A key aspect of the work is the examination of the effects of combined gravitational and magnetic fields on electromagnetic radiation. This opens up opportunities for a deeper understanding of nonlinear vacuum electrodynamics (NLED) effects under conditions that cannot be replicated in terrestrial laboratories. This study lays the groundwork for exploring such effects in distant astrophysical objects, including magnetars and neutron stars. Moreover, an important direction for future research will be the improvement of gravitational and magnetic lens models, which will aid in accurately interpreting observations of objects with strong magnetic fields. The data obtained regarding the redistribution of electromagnetic radiation energy as it passes through the magnetosphere of a magnetar are particularly crucial for understanding processes occurring in high-energy astrophysical environments, such as gamma-ray bursts.

Research in this domain will also be significant for relativistic astrophysics and cosmology, as it helps elucidate how strong magnetic and gravitational fields influence the evolution of stars and other high-energy objects. The results presented in the dissertation have been published in national and international scientific journals and discussed at scientific conferences and seminars. The dissertation was conducted as part of the research plans of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan under the priority: Scientific research in the natural sciences, focusing on grant funding: IRN AP14869524 "Effects of Nonlinear Vacuum Electrodynamics and General Relativity on Magnetars."

Tursynbek Izmukhanovich Yernazarov has successfully completed all assigned tasks, and the objectives of the dissertation research have been fully realized. The dissertation meets all the requirements for works submitted for the degree of Doctor of Philosophy, and I recommend that the Academic Council accept the doctoral candidate's dissertation for public defense for the degree of Doctor of Philosophy in Natural Sciences in the specialty "Physics."

Sincerely,

Rahim Moradi
Associate Professor
Key Laboratory of Particle Astrophysics
Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences (IHEP)
19B Yuquan Road, Shijingshan District, Beijing, China

Associate Researcher
International Center for Relativistic Astrophysics (ICRANet), Pescara, Italy

Email: rmoradi@ihep.ac.cn



Институт физики высоких энергий
Китайская академия наук

27 октября 2024 г.

Отзыв на диссертационную работу Ерназарова Турсынбека Измухановича

В данном отзыве оценивается диссертация Ерназарова Турсынбека Измухановича на тему: «Эффекты нелинейной электродинамики вакуума и общей теории относительности при распространении фронтов электромагнитных волн через магнитное поле магнетара». Диссертация представлена на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности «8D05306 - Физика на кафедре теоретической и ядерной физики физико-технического факультета Казахского национального университета им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан.

Исследования неупругого рассеяния лазерных фотонов гамма-квантами показали, что вакуум проявляет нелинейные свойства в рамках квантовой электродинамики. Наблюдение этих эффектов в лабораторных условиях требует чрезвычайной точности измерений, порядка 10^{-19} - 10^{-20}, что в настоящее время находится за пределами возможностей современных приборов. В результате нелинейная вакуумная электродинамика остается практически неисследованной. Однако в экстремальных условиях, таких как интенсивные магнитные поля, создаваемые компактными астрофизическими объектами, например магнетарами, эти эффекты становятся более наблюдаемыми. Распространение электромагнитных волн в таких полях сопровождается нелинейными явлениями, включая изгиб лучей и поляризацию излучения. Несмотря на многочисленные аналитические и численные исследования углов преломления и поляризации электромагнитных волн в магнитных полях, количественные исследования этих эффектов в неэкваториальных плоскостях и в контексте сочетания гравитации с нелинейной вакуумной электродинамикой остаются ограниченными. Сопоставление этих результатов с данными спутниковых телескопов может существенно продвинуть наше понимание вакуумных нелинейных эффектов, что делает исследования в этой области особенно актуальными.

В данной диссертации численными методами исследуется нелинейная электродинамика вакуума и влияние гравитации на распространение электромагнитного излучения через магнетар. Проанализировано отклонение лучей в плоскости оси диполя и перпендикулярной плоскости при совместном воздействии гравитационного и магнитного полей. Установлено, что угол отклонения зависит от параметра удара и напряженности магнитного поля на расстояниях от 15 до 100 км при магнитном поле $B = 10^{13}$ Гс. Было установлено, что максимальные углы отклонения составляют 86° для гравитационного поля и 3.36° для магнитного поля. Также была исследована деформация фронта излучения, проходящего через магнитное поле, которая показала, что фронт приобретает почти эллиптическую форму с параметром деформации $\Delta = 0.07$. Следовательно, при прохождении через магнитосферу магнетара Swift J1822.3-1606 было выявлено значительное влияние комбинированных полей на плотность потока гамма-излучения от GRB091006360, приводящее к перераспределению потока энергии.

Результаты этого исследования представляют значительную ценность для будущих исследований, особенно в области астрофизики и вакуумной нелинейной

электродинамики. Ключевым аспектом работы является изучение влияния комбинированных гравитационных и магнитных полей на электромагнитное излучение. Это открывает возможности для более глубокого понимания эффектов нелинейной вакуумной электродинамики (NLED) в условиях, которые невозможно воспроизвести в наземных лабораториях. Это исследование закладывает основу для изучения подобных эффектов в далеких астрофизических объектах, включая магнетары и нейтронные звезды. Кроме того, важным направлением будущих исследований станет совершенствование моделей гравитационных и магнитных линз, что поможет точно интерпретировать наблюдения объектов с сильными магнитными полями. Полученные данные о перераспределении энергии электромагнитного излучения при прохождении через магнитосферу магнетара особенно важны для понимания процессов, происходящих в высокоэнергетических астрофизических средах, таких как гамма-всплески.

Исследования в этой области также будут важны для релятивистской астрофизики и космологии, поскольку помогут выяснить, как сильные магнитные и гравитационные поля влияют на эволюцию звезд и других высокоэнергетических объектов. Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в отечественных и международных научных журналах и обсуждались на научных конференциях и семинарах. Диссертационная работа выполнена в рамках планов научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Республики Казахстан по приоритетному направлению: Научные исследования в области естественных наук, ориентированные на грантовое финансирование: IRNAP14869524 «Эффекты нелинейной вакуумной электродинамики и общей теории относительности на магнетарах».

Ерназаров Турсынбек Измуханович успешно выполнил все поставленные задачи, цели диссертационного исследования реализованы в полном объеме. Диссертация отвечает всем требованиям, предъявляемым к работам, представляемым на соискание ученой степени доктора философских наук, и я рекомендую Ученому совету принять диссертацию соискателя к публичной защите на соискание ученой степени доктора философских наук по естественным наукам по специальности «Физика».

С уважением,
Рахим Моради
Доцент
Ключевая лаборатория астрофизики элементарных частиц
Институт физики высоких энергий Академии наук Китая (IHEP).
улица Юцюань, 19Б, район Шицзиншань, Пекин, Китай

Младший научный сотрудник
Международный центр релятивистской астрофизики (ICRANet),
Пескара, Италия
Эл.почта: rmoradi@ihep.ac.cn
/Подпись имеется/