Національна Академія наук України
Інститут теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова

На правах рукопису

**Парновський
Сергій Людомирович**

ВЛАСТИВОСТІ ПРОСТОРУ-ЧАСУ ТА НЕГРАВІТАЦІЙНИХ ПОЛІВ БІЛЯ ЧАСОПОДІБНИХ СИНГУЛЯРНОСТЕЙ У ЗАГАЛЬНІЙ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ

01.04.02 - теоретична фізика

Автореферат
дисертації на здобуття
вченого ступеня доктора
фізико-математичних наук

Київ - 1994 р.

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Київському университеті імені Тараса Шевченка

Офіційі опоненти:

доктор фізико-математичних наук,
професор
ПІРАГАС Казімір Антонович

доктор фізико-математичних наук,
професор
КОРКІНА Марина Петрівна

доктор фізико-математичних наук
ГУСИНІН Валерій Павлович

Провідна організація:

Відділ фізики релятивістських систем
Інституту фізики конденсованих систем
НАН України, м.Львів

Захист відбудеться "15" 12 1994 р. о 11 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д016.34.01 при Інституті теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова Національної Академії наук України (252143, Київ-143, вул. Метрологічна, 14-б).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту теоретичної фізики НАН України.

Автореферат розісланий "9" 11 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
доктор фізико-математичних наук В.Є.КУЗЬМИЧЕВ

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Робота присвячена актуальній проблемі теоретичної фізики - дослідженню властивостей просторово-часових сингулярностей у загальній теорії відносності, що є одною з фундаментальних задач цієї теорії. Поява подібних особливостей з нескінченою кривиною гарантується теоремами Хокінга та Пенроуза за умови виконання широкого класу фізично припустимих початкових умов, таких як космологічне стискування Всесвіту.

Найбільш дослідженими є просторовоподібні сингулярності, до яких належать космологічні особливості ("Великий вибух" та колапс Всесвіту) та сингулярності всередині чорних дір. Загальний розв'язок рівнянь Ейнштейна біля них було знайдено В.А.Белінським, Є.М.Лівшицем, І.М.Халатниковим та Ч.Мізнером на початку 70-х років. Численні дослідження присвячені розгляду квантових ефектів біля просторовоподібних особливостей.

Істотно менш досліджено випадок *часоподібних сингулярностей*, які можуть знаходитись всередині чорних дір, або не мати горизонту подій. В останньому випадку віддалений спостерегач може їх побачити. У науковій літературі вони отримали назву *голих особливостей* (naked singularities). Приклади таких сингулярностей є серед точних розв'язків рівнянь Ейнштейна. У цьому випадку голі особливості грають роль компактних джерел гравітаційного поля, як точкові та лінійні заряди у класичній електродинаміці.

Вивченню властивостей часоподібних сингулярностей заважає ряд обставин. Перша з них - більша різноманітність видів часоподібних сингулярностей у порівнянні з просторовоподібними особливостями. Друга пов'язана з труднощами при їх інтерпретації, викликаними незнанням виду системи координат, які формально використовуються. В силу нелінійності рівнянь Ейнштейна властивості отриманих розв'язків нерідко кардинально змінюються при зміні його параметрів. В зв'язку з цим дискусії про фізичний зміст навіть найпростіших розв'язків можуть тривати десятиріччями. В той же час ще не знайдені розв'язки, які б описували деякі найпростіші фундаментальні об'єкти, на зразок тіла, що обертається.

Ще одна причина пов'язана з нерозв'язаністю питання про можливість існування голих сингулярностей у природі. Одні дослідники припускають можливість їх існування як реальних астрономічних об'єктів. Інші, навпаки, вважають їх існування неприпустимим, і приводять наступні аргументи на підтримку своєї точки зору:

- Біля сингулярності, де кривина простору-часу прямує до нескінченості, перестають діяти всі відомі нам фізичні закони. Тому розгляд особливостей принципово неможливий.
- Голі сингулярності можуть випромінювати частки та випромінювання, які впливають на процеси подалік від них. В зв'язку з цим при існуванні голих особливостей еволюція Всесвіту не визначається лише початковими умовами, а потребує також задання невідомих нам граничних умов на сингулярностях, тобто для коректної постановки задачі Коші необхідно вимагати відсутності голих особливостей.
- Біля деяких типів голих сингулярностей, що обертаються, існує область порушення причинності. На думку деяких дослідників, умова відсутності замкнутих часоподібних геодезичних (Принцип захисту хронології, запропонований С.Хокінгом в 1992р.) призводить до заборони існування хоча б частини голих особливостей.

Ще в 1969 г. Р.Пенроуз запропонував Принцип космічної цензури, згідно якому колапс масивних об'єктів не може призводити до утворення голих сингулярностей. З того часу питанню про справедливість цієї гипотези присвячені численні статті, огляд яких наведено у Вступі до дисертації. Відносно швидко були знайдені контрприклади Принципу космічної цензури. Хоч вони й носять нефізичний характер, їх існування довело, що цей

Принцип не може бути доведений математично. За останні 20 років у цьому питанні, названому Р.Пенроузом "найфундаментальнішим питанням загальнорелятивістської теорії колапсу" не було скільки-небудь істотного прогресу.

Дослідження голих сингулярностей актуально в зв'язку з тим, что воно дозволяє визначити типи голих особливостей, які не можуть бути створені шляхом колапсу. Крім того, простір-час, що має голі сингулярності, може бути зовнішнім розв'язком для компактних джерел зі звичайної матерії. В зв'язку з цим дослідження його властивостей актуально незалежно від справедливості чи несправедливості Принципу космічної цензури. У випадку ж реального існування голих сингулярностей, вони разом з частками, полями та чорними дірами є найбільш фундаментальними об'єктами природи, тому дослідження їх властивостей має першорядне значення.

Актуальним є також питання про квантові ефекти в надсильних гравітаційних полях біля голих особливостей. При цьому труднощі як технічного, так і модельного характеру роблять його вирішення дуже складним навіть у рамках однопетлевого наближення.

Дослідження еволюції однорідних космологічних моделей дозволяє знайти вклад дисипаційних процесів у високу питому ентропію Всесвіту та з'ясувати питання про вірогідність існування інфляційної стадії після квантового утворення Всесвіту.

Мета та завдання роботи. Робота має за мету дослідження властивостей просторово-часових часоподібних сингулярностей в загальній теорії відносності, а також поведінки матерії та класичних й квантованих полів біля них. Вона включає розв'язок задач знаходження найбільш загального розв'язку рівнянь гравітації біля часоподібних сингулярностей, разробку методів визначення типу часоподібних особливостей, побудову класифікації часоподібних сингулярностей, дослідження геодезичної структури просторів, що розглядаються, та вивчення квантових ефектів біля голих сингулярностей та розгляд еволюції однорідних космологічних моделей.

Наукова новина визначається результатами, отриманими вперше та переліченими як основні у кінці автореферату. Вони включають знаходження нових точних та наближених розв'язків рівнянь Ейнштейна, уточнення отриманих раніше метрик, розробку методів визначення типу сингулярностей, побудову класифікації часоподібних особливостей, доказ існування нових видів часоподібних сингулярностей, уточнення інтерпретації розв'язків, розробку підходу до дослідження квантових ефектів біля голих сингулярностей та отримання конкретних результатів щодо їх впливу на утворення та еволюцію особливостей.

З короткого переліку розглянутих в дисертації питань та отриманих нових результатів випливає, що в ній розроблені нові теоретичні положення, які можно кваліфікувати як значні досягнення в загальній теорії відносності.

На захист виносяться наступні положення:

1. Побудова коливального розв'язку біля часоподібних сингулярностей, що має у пустому просторі чотири фізично довільні функції трьох змінних.
2. Зшивка цього розв'язку з коливальним розв'язком Белінського-Лівшиця-Халатникова поблизу просторовоподібних космологічних сингулярностей без втрати кількості фізично довільних функцій. Знаходження розв'язку поблизу асимптотично ізотропної гіперповерхні, що має у пустому просторі чотири фізично довільні функції трьох змінних.
3. Дослідження впливу електромагнітного, скалярного та векторного полів на коливальну метрику. Побудова ступеневого розв'язку зі скалярним зарядом, який має в пустоті 4 фізично довільні функції.

4. Побудова узагальненого просторового розв'язку Казнера поблизу часоподібних сингулярностей. Уточнення вигляду узагальненого анізотропного розв'язку Лівшиця-Халатникова.
5. З'ясування максимально припустимої кількості фізично довільних функцій у розв'язках, що виникають при узагальненні просторових метрик Казнера з рівними та комплексними показниками. Дослідження властивостей та фізична інтерпретація цих розв'язків.
6. Узагальнення просторових метрик Казнера з рівними та комплексними показниками для випадку присутності електромагнітного та скалярного полів.
7. Разробка методу встановлення типу часоподібних сингулярностей та класифікації особливостей за типами. Виявлення існування парадоксальних сингулярностей - нового виду часоподібних особливостей.
8. Дослідження впливу негравітаційних полів на тип часоподібних сингулярностей.
9. Знаходження та дослідження розв'язків рівнянь Ейнштейна, що описують простір-час поблизу кінців та стрибків лінійної щільності маси вейлевських особливостей та біля "лінійних джерел" Ізраеля.
10. Повний аналіз властивостей простору-часу та джерел поля, яке описується розв'язком Зіпоя-Вурхіза.
11. Побудова узагальнення метрики Зіпоя-Вурхіза в присутності електричного та скалярного заряду. Дослідження властивостей простору-часу, що має нескінчену або напівнескінчену нитку - джерело електричного та скалярного поля.
12. Дослідження руху пробних часток у просторах, які описуються просторовими метриками Казнера з дійсними, рівними та комплексними показниками. Дослідження руху зарядженої частки у полі масивної зарядженої нескінченної нитки.
13. Побудова двох стаціонарних аксіально-симетричних вакумних розв'яз-

ків, котрі мають нескінчені набори довільних мультипольних моментів маси та кутового моменту джерела - кандидатів на роль зовнішнього розв'язку для тіл, що обертаються.

14. Доказ існування областей порушення принципу причинності в околі лінійних особливостей, що обертаються.
15. Розрахунок втрат енергії через квантові ефекти при утворенні голих сингулярностей Рейснера-Нордстрема та лінійних особливостей.
16. Розгляд квантового нарождення пар частка-античастка у полі голої керровської особливості та зміни параметрів сингулярності внаслідок цього процесу. Оцінка часу перетворення подібної особливості у чорну діру.
17. Дослідження еволюції однорідних анізотропних космологічних моделей з просторовою кривиною у присутності в'язкого дисипативного середовища (II тип по Біанкі) та масивного скалярного поля (II, VI_0 та VII_0 типи по Біанкі).

Апробація роботи. Результати дисертації доповідались та обговорювались на:

• Шостій Гросмановській конференції (Sixth Marcel Grossmann meeting on general relativity, Kyoto, Japan, 1991)

• Всесоюзних та російських конференціях "Сучасні теоретичні та експериментальні проблеми теорії відносності та гравітації" (VI Радянська гравітаційна конференція, Москва, 1984; VII Радянська гравітаційна конференція, Єреван, 1988; VIII Російська гравітаційна конференція, Пущино, 1993)

• Міжнародному симпозіумі "Motion of test bodies in the relativistic gravitational theory" (Вільнюс, 1990),

• Другому Всесоюзному науковому семінарі "Точні розв'язки рівнянь гравітаційного поля та їх фізична інтерпретація" (Тарту, 1988),

• Міжнародній науковій конференції "Лобачевський та сучасна геометрія" (Казань, 1992),

• на семінарах в Астрономічній обсерваторії Київського Університету, ІТФ РАН (Москва), ІТФ НАН України, УкрЦСМ Держстандарту (Київ), ІПА РАН (С.-Петербург), ІФКС НАН України та ІППММ НАН України (Львів).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 27 роботах, які перелічені у кінці автореферату.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація має 9 розділів разом зі Вступом та Висновком, список літератури з 255 найменувань та 11 малюнків. Загальний об'єм дисертації 181 сторінка.

Основний зміст дисертації

У ***Вступі*** (першому розділі) дана коротка характеристика області дослідження, формулюється тема дисертації та мотивується її актуальність. Перелічуються положення, які винесено на захист, та викладається зміст дисертаційної роботи. Наведено огляд результатів, що опубліковані в науковій літературі по темі дисертації.

У ***другому розділі*** знаходяться та досліджуються наближені розв'язки рівнянь Ейнштейна біля часоподібних сингулярностей з максимальним ступенем довільності. Як відомо, загальний розв'язок в пустоті повинен мати 4 фізично довільні функції (ФДФ) трьох змінних. При дослідженні простору-часу з часоподібними особливостями через неможливість постановки задачі Коші необхідна кількість ФДФ не может бути встановлена. Додаткові функції можуть описувати випромінювання з сингулярності. У випадку його відсутності простір-час загального виду видимо має також 4 ФДФ. Тому ми інколи будемо називати "загальним" також коливальний розв'язок рівнянь Ейнштейна в околі їх часоподібних сингулярностей, який має у вакуумі 4 ФДФ та не змінює свій вигляд у присутності матерії, що рухається гідродинамічно.

При побудові розв'язків ми використовуємо напівгеодезичну систему координат з координатою x, яка є ортогональною до гіперповерхні, нескінчено близької до особливості, та метричним тензором

$$ds^2 = -dx^2 + \gamma_{\alpha\beta}\, dx^\alpha dx^\beta, \tag{1}$$

$(\alpha, \beta = 0,2,3)$. У розділі 2.1 на базі просторового розв'язку Казнера

$$ds^2 = -dx^2 + x^{2p_1} dt^2 - x^{2p_2} dy^2 - x^{2p_3} dz^2, \tag{2}$$

$$p_1 + p_2 + p_3 = p_1^{\,2} + p_2^{\,2} + p_3^{\,2} = 1 \tag{3}$$

побудовано узагальнену просторову метрику Казнера

$$\gamma_{\alpha\beta} = x^{2p_l} l_\alpha l_\beta - x^{2p_m} m_\alpha m_\beta - x^{2p_n} n_\alpha n_\beta\,. \tag{4}$$

Дев'ять функцій l_α, m_α, n_α, які розглядаються як компоненти трьох трьохвимірних векторів **l**, **m**, **n**, а також казнерівські показники p_l, p_m, p_n, що зв'язані умовами типу (3), залежать від трьох змінних x^α. Аналіз показав, що цей розв'язок має 3 ФДФ. Це відбувається внаслідок додаткової умови, що пов'язана з вектором, який має від'ємний казнерівській індекс. Якщо $p_n<0$, то ця умова має вигляд

$$\mathbf{n}\ rot\ \mathbf{n} = 0\,. \tag{5}$$

Вона дозволяє перетворення координат, внаслідок якого ми отримуємо $n_0=m_0=n_2=l_2=0$. Щоб рівняння $R_{02}=0$ виконувалося у головних членах, необхідно до (4) додати малий недіагональний додаток вигляду

$$ds^2 = -dx^2 + x^{2p_l}\left(l_0 dt + l_3 dz\right)^2 - x^{2p_m}\left(m_2 dt + m_3 dz\right)^2 - x^{2p_n} n_3 dz^2 + \\ +2x^2\left(\lambda_1 \ln^2 x + \lambda_2 \ln x + \lambda_3\right)\, dt\ d\varphi, \qquad p_n < 0, \tag{6}$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ мають складну залежність від **l**, **m**, **n**, p_α. Аналогічний член треба додати до узагальненого анізотропного космологічного розв'язку Ліфшица-Халатникова.

У разділі 2.2 побудовано коливальний розв'язок

$$\gamma_{\alpha\beta} = a(x) l_\alpha l_\beta - b(x) m_\alpha m_\beta - c(x) n_\alpha n_\beta, \tag{7}$$

що має у пустоті чотири ФДФ. На невеликих інтервалах зміни координати x він має казнерівський вигляд (4). Далі збурення, що порушує умову (5), переводить цей розв'язок також в казнерівську стадію, але з новими показниками

$$p_l' = \frac{p_l - 2|p_n|}{1-2|p_n|}, \quad p_m' = \frac{p_m - 2|p_n|}{1-2|p_n|}, \quad p_n' = \frac{|p_n|}{1-2|p_n|}. \tag{8}$$

При цьому $p_n'>0$ та від'ємним показником стає p_l'' або p_m''. Потім процес повторюється безліч разів. У результаті функції $a(x)$, $b(x)$ та $c(x)$ змінюються за складним коливальним законом. Період коливань зменшується при $x \to 0$, та для досягнення особливості $x=0$ треба пройти через їх нескінченну кількість.

Цей розв'язок відрізняється від коливального розв'язку Белінського-Ліфшица-Халатникова біля просторовоподібних сингулярностей тільки заміною $x \leftrightarrow t$ та заміной сігнатури. Для завершення побудови загального розв'язку рівнянь Ейнштейна біля їх особливостей довільного типу необхідно ще зшити ці розв'язки. Ця зшивка, що також має у пустоті 4 ФДФ, носить ступеневий характер та описується метричним тензором

$$ds^2 = -a\, dx^2 + \left(a^{-1}\, x^{2p_1} l_\alpha l_\beta - x^{2p_2} m_\alpha m_\beta - x^{2p_3} n_\alpha n_\beta\right) dx^\alpha dx^\beta. \tag{9}$$

Гіперповерхня особливості $t=0$ змінює свій тип при зміні знака функції $a(x^\alpha)$. В цій області коливальний режим починається при

$$t \approx t_{crit} = \left\{ \frac{a(\mathbf{n}\, rot\, \mathbf{n})}{(\mathbf{l}[\mathbf{mn}])} \right\}^q, \qquad q = -(2p_3)^{-1}. \tag{10}$$

При зменшенні a ця величина падає та зануляється при $a=0$. В результаті на границі між часоподібними та просторовоподібними частинами сингулярності загальний розв'язок не буде мати коливальний характер, а буде описуватися метрикою (9) з граничною умовою, що знайдена в дисертації та має вигляд ($a \sim x$)

$$ds^2 \xrightarrow[x\to 0]{} \lambda x^k dt^2 - \lambda^{-1} x^{-k} t^2 dx^2 - \left(m_\alpha m_\beta + n_\alpha n_\beta\right) dx^\alpha dx^\beta,$$
$$\lambda, k = const, \qquad \mathbf{n}\, rot\, \mathbf{m} - \mathbf{m}\, rot\, \mathbf{n} \xrightarrow[x\to 0]{} 0 \tag{11}$$

при $k=1$. Випадок $k \geq 2$ описує розв'язок біля асимптотично ізотропній особливости.

У разділі 2.3 показано, що матерія, яка рухається гідродинамічно не може досягти часоподібної сингулярності коливального типу та, як наслідок, же досягти часоподібної сингулярності коливального типу та, як наслідок, не може впливати на його вигляд.

У розділі 2.4 розглянуто узагальнення просторових метрик Казнера з комплексними

$$ds^2 = -dx^2 + x^{2p'}\left[\left(du^2+dv^2\right)\cos\psi - 2\sin\psi\, du\, dv\right] - x^{2p_3}dz^2,$$

$$\psi = 2p''\ln(x/\alpha), \quad \alpha = const, \quad 2p'+p_3 = 2p'^2 - 2p''^2 + p_3{}^2 = 1 \quad (12)$$

та рівними показниками $((p_1,p_3) = (0,1)$ або $(2/3,-1/3))$

$$\gamma_{\alpha\beta} = x^{2p'}\left[\left(m_\alpha m_\beta - l_\alpha l_\beta\right)\cos\psi - 2\sin\psi\left(l_\alpha m_\beta + m_\alpha l_\beta\right)\right] - x^{2p_3}n_\alpha n_\beta, \quad (13)$$

та доведено, що вони мають у пустоті не більш ніж 3 ФДФ.

У ***третьому розділі*** викладаються методи визначення типу часоподібних сингулярностей, їх класифікація та доказується існування нового типу особливостей. Метод діаграм, які характеризують тип джерела поля, розглянуто у разділі 3.1 та послідовно використано для аналізу все більш загального класу розв'язків. У разділі 3.2 досліджено простори, що описуються трьома точними розв'язками - просторовою метрикой Казнера (2,3), простором-часом з напівнескінченою ниткою та метрикою Зіпоя-Вурхіза

$$ds^2 = th^{2\mu}\left(\frac{v}{2}\right)dt^2 - \frac{L^2}{4}th^{-2\mu}\left(\frac{v}{2}\right)sh^2v\left[\left(1+\frac{\cos^2 u}{sh^2 v}\right)^{1-\mu^2}\left(du^2+dv^2\right)+\cos^2 u\,d\varphi^2\right] \quad (14)$$

В умовному координатному просторі вони мають джерело у вигляді нитки з постійною лінійною щільністю маси μ. Вона нескінчена для простору-часу (2), де

$$p_1 = \frac{\mu}{\mu^2-\mu+1}, \quad p_2 = \frac{1-\mu}{\mu^2-\mu+1}, \quad p_3 = \frac{\mu^2-\mu}{\mu^2-\mu+1}, \quad (15)$$

та має вигляд відрізку довжиною L для метрики (14). Тип джерела гравітаційного поля для них змінюється при зміні μ. Якщо $\mu<0$, то це точкове джерело від'ємної маси. При $0<\mu<1$ джерело є лінійним з додатньою масою. При $\mu=1$ особливість стає фіктивною. Якщо ж $\mu>1$, то особливість відноситься до нового типу, неможливому у просторах з обмеженою кривиною та названому нами парадоксальним.

Кілінга. Дві довільні точки на гіперповерхні x=const у метриці форми (1) можно з'єднати кривою на гіперповерхні, довжина якої прямує до нуля при $x \to 0$. Довжина ж всіх інших кривих, що з'єднують ці точки та лежать на гіперповерхні, розходяться при $x \to 0$. Довжина кола радіусу x, що лежить у проскості z=const та оточує парадоксальну особливість, також розходиться при зменшенні її радіусу до нуля. При $\mu \geq 2$ на кінцях сингулярності $v=0$ у метриці Зіпоя-Вурхіза (14) з'являються дві сингулярності за напрямком (directional singularities), які відповідають двом нескінченно віддаленим областям (НВО), з'єднаними парадоксальной особливістю. Ще одна просторова нескінченість розташована при $v \to \infty$.

В більш загальних випадках лінійна щільність маси може змінюватись уздовж сингулярності (вейлевські джерела з $\mu=\mu(z)$), залежати від часу ("прості лінійні джерела" В.Ізраеля з $\mu=\mu(z,t)$) та від трьох змінних (узагальнена просторова метрика Казнера (4)). Вони розглянуті у розділах 3.3-3.5. Завжди при $\mu<0$ особливість є точковою з від'ємною масою, при $0<\mu<1$ - лінійною, а при $\mu>1$ - парадоксальною. Оскільки μ може проходити через значення $\mu=0$ та $\mu=1$, різні частини особливості можуть належати до різних типів.

В випадку стрибків функції $\mu(z)$ з μ_- до μ_+, при виконанні умови $\mu_- + \mu_+ \geq 2 + 2\mu_+\mu_-$ в точці зміни виникає сингулярність за напрямком, яка відповідає НВО. Інший тип сингулярності за напрямком, що не відповідає НВО, може виникати на кінцях вейлевських сингулярностей при зменшенні функції $\mu(z)$ за ступеневим законом $\mu(z) \propto (z-z_0)^\lambda$ з $\lambda>2$. У розділі 3.4 доведено, що "прості лінійні джерела" В.Ізраеля можуть не бути лінійними. Крім того, цей розв'язок треба зкорегувати, додавши до нього член такого ж виду, як у (6), бо у оригінальній формі він не відповідає повній системі рівнянь Ейнштейна.

У розділі 3.6 досліджено фізичний зміст та властивості розв'язків (12) та (13). Останній з них при $(p_1,p_3) = (0,1)$ відноситься до типу N за Петровим та описує сильну гравітаційну хвилю нульової частоти, а при $(p_1, p_3) = (2/3, -1/3)$ описує подібну хвилю на фоні нескінченно довгої лінійної сингулярності виду (2) з $(p_1, p_2, p_3) = (2/3, 2/3, -1/3)$. Розв'язок (12) відноситься до класу Льюїса та не має узагальнення з джерелом скінченних розмірів. Його лінійна щільність маси в системі координат (12) пропорційна ρ'.

У ***четвертому розділі*** розглянуто поведінку негравітаційних полів в околі часоподібних сингулярностей та їх вплив на тип та властивості особливостей. Для цього знайдено декілька нових точних розв'язків, які узагальнюють (2,3), (12), (13) та (14) у присутності електромагнітного та скалярного полів. У разділах 4.1 та 4.2 знаходяться розв'язки, що описують нескінченно довгу масивну заряджену нитку та нескінченно довгий дріт зі струмом в загальній теорії відносності. Перший має вигляд

$$ds^2 = x^{2p_1} Q(x)^{-1} dt^2 - Q(x)[dx^2 + x^{2p_2} d\varphi^2 + x^{2p_3} dz^2],$$
$$F_{01} = 2p_1 C x^{2p_1 - 1} Q(x)^{-1}, \qquad Q(x) = \left(1 - C^2 x^{2p_1}\right)^2, \tag{16}$$

де лінійна щільність заряду дорівнює $p_1 C$. Він має особливість не тільки при $x = 0$, але й при $x = x_0$, где $Q(x_0) = 0$. Остання сингулярність виникає через самогравітацію поля. Лінійна щільність маси особливості $x = 0$ завжди додатня $m = |p_1|/2 > 0$. Розглядаючи розв'язок на інтервалі $x \geq x_0$, отримуємо простір-час з джерелом від'ємної нескінченної щільності маси. Як у класичній електродинаміці, від'ємна енергія гравітаційного поля частково компенсується нескінченною додатньою енергією електричного поля. Масивне векторне поле, розглянуте у розділі 4.5, має аналогічні властивості.

У розділі 4.3 доведено, що електромагнітне поле не впливає на коливальний розв'язок (7). Не може воно призвести й до виникнення додаткових сингулярностей типу особливості $x = x_0$ у (16).

У розділі 4.4 побудовано узагальнення метрики (2,3) у присутності скалярного поля φ. Для безмасового поля воно має вигляд (2) з

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1, \quad p_1^{\,2} + p_2^{\,2} + p_3^{\,2} = 1 - 2|\varphi_0|^2, \quad \varphi = \varphi_0 \ \ln\ x. \tag{17}$$

Для масивного поля (2,17) буде асимптотичним виразом для метрики та поля біля особливості. На великих відстанях метрика прямує до (2), а поле експоненційно затухає. Особливості при скінченних x відсутні. Оскільки в метриці (17) всі показники p_α можуть бути додатними, присутність скалярного поля руйнує коливальний режим та заступає його ступеневою асимптотикою (4) з показниками (17), які є функціями $x^\alpha=(t,y,z)$. Цей розв'язок має 4 ФДФ у відсутності матерії. Особливість подібного типу є точковою та має додатню масу.

У розділі 4.6 знаходяться узагальнення розв'язків (12) та (13) в присутності безмасового скалярного поля. Там же доведено, що (12) не припускає узагальнення з електромагнітним полем, а (13) припускає тільки узагальнення в присутності електромагнітного поля з нульовими інваріантами.

У розділі 4.7 метрика Зіпоя-Вурхіза (14) узагальнюється у випадку, коли особливість $v=0$ є джерелом електричного поля та безмасового скалярного поля ψ. Отриманий розв'язок має вигляд

$$ds^2 = B(v)dt^2 - \frac{L^2 \operatorname{sh}^2 v}{4B(v)}\left[\left(1+\frac{\cos^2 u}{\operatorname{sh}^2 v}\right)^{1-\mu^2}\left(du^2+dv^2\right)+\cos^2 u\, d\varphi^2\right],$$

$$\delta^2=\mu^2-|\eta|^2, \quad \psi=\frac{\eta}{\sqrt{8\pi}}\ln\left[\operatorname{th}\left(\frac{v}{2}\right)\right]+const, \quad \eta,\mu,L,A,C=const,$$

$$B(v)=A^2\operatorname{th}^{2\delta}\left(\frac{v}{2}\right)\left[1-C^2\operatorname{th}^{2\mu}\left(\frac{v}{2}\right)\right]^{-2}, \quad F_{01}=2\delta CA^{-1}B(v)\operatorname{sh}^{-1}(v). \qquad (18)$$

Він має дійсну особливість при $v=0$, $\mu\neq 0$, $\mu\neq 1$. Якщо $C^2>1$, то з'являється ще одна особливість при $v=v_0$, де $B(v_0)=0$. На відміну від розв'язку з нескінченно довгою ниткою (16). ця особливість з'являється тільки у випадку, коли заряд джерела перевищує критичне значення. При $\mu=1$ та відсутності скалярного поля метрика (18) переходить у метрику Рейснера-Нордстрема

$$ds^2=\left(1-\frac{2M}{r}+\frac{Q^2}{r^2}\right)dt^2-\left(1-\frac{2M}{r}+\frac{Q^2}{r^2}\right)^{-1}dr^2-r^2\left(du^2+\cos^2 u\, d\varphi^2\right) \qquad (19)$$

з масою та зарядом сингулярності M та Q. Один з горизонтів розв'язку відповідає $v=0$. При $C^2=\mu=1$ він перетворюється на інший відомий розв'язок

- електромагнітний Всесвіт Бертотті-Робінсона та не має особливостей.

У відсутності електричного поля та $\delta<0$ ми маємо точкове джерело з від'ємною масою. При $\delta>0$ та слабкому скалярному заряді $|\eta|^2<1/2$ можливі три типу джерел. При $|\eta|^2<\mu^2<1/2 + (1/4 - |\eta|^2)^{1/2}$ це лінійне джерело, при $1/2 + (1/4 - |\eta|^2)^{1/2}<\mu^2<1+|\eta|^2$ - точкове джерело з додатньою масою, а при $\mu^2>1+|\eta|^2$ - джерело парадоксального типу з масою $M>L/2$. При підвищенні скалярного заряду до $|\eta|^2>1/2$, лінійний тип джерел стає неможливим. При зменшенні $|\eta|$ до нуля область точкових джерел з додатньою масою стискається у точку $\mu=1$, тобто прямує до чорної діри.

У розділі 4.8 призводяться висновки відносно впливу негравітаційних полів на тип та властивості часоподібних сингулярностей. Електромагнітне та скалярне поля не впливають на властивості простору-часу біля лінійних та парадоксальних особливостей. У випадку достатньо великого електричного заряду через самогравітацію поля може виникнути сингулярність подалік від джерела. Точкове джерело з електричним зарядом має нескінчену від'ємну затравочну масу. Електромагнітне поле не змінює якісний вигляд коливального розв'язку біля особливості. Таки ж властивості має масивне векторне поле.

Якщо часоподібна сингулярність має скалярний заряд, то є можливим новий тип точкової особливості з додатньою масою. На графіку залежності типу особливості від параметру μ він розташований між лінійними та парадоксальними особливостями. При зростанні скалярного заряду цей тип джерел повністю витискує лінійні сингулярності, доходячи до області точкових джерел з від'ємною масою. Особливості такого типу не можуть утворюватися при колапсі, оскільки в початковий момент утворення голих сингулярностей (якщо вони виникають) слід очікувати малих значень μ та $|\eta|$. Присутність скалярного поля руйнує коливальний режим біля часоподібних особливостей та заступає його ступеневою асимптотикою (4) з джерелом точкового типу з додатньою масою.

У ***п'ятому розділі*** дисертації розглянуто рух пробних часток у просторах (2), (12) та (13), а також рух заряджених пробних часток в просторі-часі з масивною зарядженою ниткою (16). У просторі-часі (2) частки падають на особливість при $2/3 \le p_1 < 1$, тобто $1/2 \le \mu < 1$. При $0 < p_1 < 2/3$ відцентрові сили перешкоджають падінню. При $p_1 < 0$ сингулярність, що має від'ємну масу, відштовхує частки. У просторі-часі з масивною зарядженою ниткою електричне відштовхування не може перешкодити падінню на сингулярність. Це характерно також для найбільш загального виду лінійних особливостей, розглянутого у розділі 3. Таким чином, при колапсі зарядженої матерії кулонівські сили не можуть однозначно заборонити утворення голих особливостей. Біля лінійної особливості виникають рівні з від'ємною енергією для часток та з додатньою для "моря Дірака". В цьому випадку є можливим тунельний перехід з моря Дірака, тобто квантове утворення пар в електричному полі джерела. Оскільки для електронів $|e| >> m$, цей процес має відбуватися при довільній лінійній щільності заряду нитки C.

При дослідженні руху часток у просторі-часі з метрикою (12) доведено, що інтервал зміни координати x обмежений з обидвох сторін. При русі у метриці (13) з верхнім знаком гравітаційна хвиля нульової частоти забезпечує додатнє притягання до особливості, з нижнім - відштовхування.

У ***шостому розділі*** дисертації досліджено простір-час, який має тіла або часоподібні сингулярності, що обертаються. В ньому доведено, що обертання, не змінюючи типу лінійної особливості, є істотним фактором, який впливає на глобальні властивості простору-часу. Біля сингулярностей, що обертаються, існує область порушення причинності, яка містить замкнуті часоподібні геодезичні. Цей сильний аргумент на користь гіпотези космічної цензури докладно розглянуто у розділі 6.7. Джерело скінчених розмірів може зайняти собою цю область, не допустивши порушення принципу причинності.

Для дослідження властивостей простору-часу з особливостями, що обертаються, ми побудували стаціонарний розв'язок, що є узагальненням метрики Зипоя-Вурхиза (14). Він містить два нескінчених набора довільних констант, які відповідають мультипольним моментам для розподілу маси та кутового моменту. Це, мабуть, дає можливість зшити його з кожним внутрішнім розв'язком, що описує джерело з фізично припустимим рівнянням стану. Оскільки в рамках загальної теорії відносності не вирішено питання про вигляд гравітаційного поля тіл, що обертаються, ця метрика має особливе значення. Вона, а також ще один побудований у розділі 6.5 дисертації розв'язок можуть розглядатись як кандидати на роль зовнішнього аксиально-симетричного стаціонарного розв'язку для витягнутих та сплющених тіл, що обертаються.

Ця метрика записується у формі Льюіса-Папапетру

$$ds^2 = e^{\nu}\,(dt - \omega\,d\varphi)^2 - e^{-\nu}\left[e^{\gamma}\left(d\rho^2 + dz^2\right) + \rho^2 d\varphi^2\right]. \tag{20}$$

У координатах витягнутого еліпсоїда обертання u, v, φ вона має вигляд

$$\omega = \cos^2 u \sum_{i=1}^{\infty} A_i(v)\sin^i u, \qquad \nu = 2\mu\,\ln(\mathrm{th}(v/2)) + \sum_{i=0}^{\infty} B_i(v)\sin^i u. \tag{21}$$

Рекурентні співвідношення для функцій $A_i(v)$ та $B_i(v)$ мають досить складний вигляд. Вони є наслідками умов для функцій $\nu(\rho,z)$, $\omega(\rho,z)$

$$\Delta\nu = e^{2\nu}\rho^{-2}\left(\omega_{,z}^2 - \omega_{,\rho}^2\right), \qquad \nabla\left(e^{2\nu}\rho^{-2}\nabla\omega\right) = 0. \tag{22}$$

Векторні операції виконуються в умовному допоміжному плоскому просторі з циліндричними координатами ρ,φ,z. За відомими $\nu(\rho,z)$ та $\omega(\rho,z)$ однозначно визначається функція $\gamma(\rho,z)$. Для пошуку функцій $A_i(v)$ та $B_i(v)$ ми використовуємо ітерації, які розпочинаємо зі статичної метрики (14), а також умови як згасання $\nu(\rho,z)$ та $\omega(\rho,z)$ віддалік від джерела, так й відсутності конічних особливостей на осі обертання. Кожна ітерація призводить до включення у розв'язок чергового мультипольного моменту маси або кутового моменту з довільною константою перед відповідним членом. Умовою застосування теорії збурень, тобто сходимості ітерацій є $0<\mu<1/2$. Перша ітерація дає нам головний член $\omega(\rho,z)$ на великих відстанях від джерела

$$\omega_1 = C \cos^2 u \left[\operatorname{sh}^2 v \operatorname{th}^{-4\mu}(v/2) + 1 - 4\mu^2 - (2\mu + \operatorname{ch} v)^2 \right]. \tag{23}$$

Він визначає момент імпульсу джерела

$$J = C\, L\, \mu\, (4\mu^2 - 1)/6. \tag{24}$$

Аналіз розв'язку (20,21,23) показує, що при будь-якому слабкому обертанні біля сингулярності $v=0$ існує область, де $g_{\varphi\varphi}$ стає додатним. Це означає можливість з'явлення замкнутих часоподібних геодезичних та порушення принципу причинності. Границі цієї області в допоміжному просторі мають веретеноподібну форму з вістрями на кінцях сингулярності. У розділі 6.7 дисертації показано, що подібне порушення має місце біля лінійних сингулярностей найбільш загального виду, які описуються узагальненим просторовим розв'язком Казнера (6). Цей факт був би сильним аргументом проти можливості існування голих сингулярностей, зв'язавши разом гіпотезу космічної цензури та принцип захисту хронології С.Хокінга, якщо б не те, що розміри області порушення причинності не можуть бути меншими ніж планковські. При малих μ, це відбувається при виконанні умови (у планківських одиницях) $C\mu > 1/4$, тобто $J > L/24$, $J/M > (12\mu)^{-1}$. В результаті принцип причинності буде порушуватись тільки біля сингулярностей з немалим кутовим моментом. У розділі 6.4 отриманий розв'язок пов'язано з метрикою Ван Штокума. При цьому уточнюється інтерпретація самої метрики Ван Штокума шляхом встановлення її з'вязку з розв'язками (2), (12) та (13).

У ***сьомому розділі*** досліджено квантові ефекти, пов'язані з великою кривиною простору-часу біля голих часоподібних особливостей. У відсутності закінченої квантовій теорії гравітації застосовано метод фонового поля, який відповідає однопетлевому наближенню в квантовій теорії. Цей напівкласичний підхід, в якому квантоване поле (в даному випадку скалярне) розглядається на фоні класичної неквантованої метрики, використано для розрахунку квантових втрат енергії при утворенні голих особливостей та розгляду процесу утворення пар частка-античастка в гравітаційному полі голої керровської сингулярності. Роботи автора, на основі яких написано цей розділ, можна вважати одним з перших досліджень квантових ефектів біля голих особливостей.

При утворенні голих сингулярностей квантові втрати енергії могли б зупинити колапс або сповільнити його настільки, що встигла б відбутися або його ізотропізація, або втрата заряду, маси чи кутового моменту через випромінювання квантів, в результаті чого колапс закінчився б утворенням чорної діри. Модель утворення голої особливості - повільне стискання до планківських размірів (фізично це вже сингулярність) зовнішніми силами тонкої масивної оболонки, яку розроблено у дисертації, дозволила коректно поставити граничні умови для квантованого скалярного поля.

У розділі 7.1 досліджено квантове випромінювання скалярних часток при утворенні голих сингулярностей Рейснера-Нордстрема (19) та доведено, що воно не дозволяє утворення подібних особливостей, так як квантові втрати енергії значно перевищували б масу сингулярності. Тому стискання зупинеться або сповільниться настільки, що вона встигне "одягтись" через квантове народження пар в її сильному електричному полі. У дисертації розглянуто стискання зарядженої сферичої оболонки радіусу R з масою M та зарядом $Q>M$, які істотно перевищують планківські значення, та розраховано спектр випромінювання та його потужність. Масивні та безмасові скалярні кванти випромінюються практично однаково. Випромінювання пов'язано тільки з рухом оболонки й припиняється після його закінчення. Не виникає ніякого постійного випромінювання типу хокінгівського. При утворенні сингулярності кожен з видів скалярних полів забере енергію (в цьому розділі ми користаємося планківською системою одиниць)

$$\Delta E \approx Q^{3/2} >> Q > M. \quad (25)$$

Таким чином, енергія, яка б випромінювалась, в багато разів перевищувала б масу оболонки, що неможливо в реальних астрофізичних процесах. Тому квантові ефекти, пов'язані з нульовими коливаннями одного лише виду скалярного поля, здатні запобігти утворенню голої сингулярності Рейснера-Нордстрема.

У розділі 7.2 оцінено квантове випромінювання безмасового скалярного поля при утворенні лінійних голих сингулярностей. Більш точний його розрахунок не можна зробити через те, що змінні у рівнянні поля не розділяються навіть в простішому випадку такої особливості, що описується метрикою (14). Проте особливий інтерес до цього виду особливостей, пов'язаний з результатами розділу 3, примушує нас оцінити втрати енергії при колапсі з утворенням подібної сингулярності, які виявляються незначними та не впливають на хід колапсу. При стисканні масивної труби довжиною l до планківських розмірів с утворенням сингулярності типу (2), її маса зменшується на

$$\Delta m \approx l^{\,1+p_3-p_2} < 1 \cong 10^{-5}\ \text{г}. \tag{26}$$

Цей розрахунок не враховує можливий вплив кінців особливості. У розділі 7.2.1 доведено, що у випадку малих значень параметру μ в (14) при утворенні лінійної сингулярності не слід очікувати істотної втрати енергії через квантове випромінювання. Умова слабкості випромінювання при утворенні особливості (15) має вигляд

$$\mu \ \ln L << 1. \tag{27}$$

Вона залежить від L логарифмічно та практично не змінюється, яку б довжину особливості ми не взяли. При $L = 1\text{см} \approx 10^{33}$ ми отримуємо обмеження $\mu << 1.3\times10^{-2}c^2G^{-1} \approx 2\times10^{26}$г/см. Розглядаючи сингулярність з довжиною порядку розмірів Всесвіту $L \approx 10^{62}$, ми маємо умову $\mu << 7\times10^{-3}c^2G^{-1} \approx 10^{26}$г/см. Подібне обмеження ми отримуємо для будь-яких лінійних особливостей. Оскільки в момент їх утворення (якщо воно можливо в процесі класичного колапсу) величина μ має бути малою, квантові ефекти не справляють істотного впливу на цей процес.

У розділі 7.3 розглянуто квантове випромінювання у сильному гравітаційному полі голої керрівської сингулярності, біля якої існують рівні з від'ємною енергією для часток, які обертаються навколо неї. Їх заповнення шляхом тунельного переходу, тобто народження пар частка-античастка, призводить до квантового випромінювання. В результаті особливість втрачає масу та куговий момент та з часом може перетворитись на чорну діру, що обертається. Оскільки рівні з від'ємною енергією біля сингулярностей астрономічних масштабів існують тільки для безмасових часток, розглянуто саме цей випадок. Для оцінки інтенсивності випромінювання фотонів та гравітонів, вирішено модельну задачу про випромінювання безмасових скалярних часток, а для оцінки випромінювання безмасових ферміонів, наприклад нейтрино, розглянуто також задачу про випромінювання безмасових скалярних часток, що задовольняють статистиці Фермі-Дірака. Ферміонне випромінювання з часом стає істотно слабкішим ніж бозонне, що грає головну роль в процесі "одягання" голої особливості, тобто її перетворення на чорну діру.

В метриці Керра з голою особливістю джерело має масу M та кутовий момент $J=Ma$. Метрика має кільцеву сингулярність при $r=0$. Скрізь його отвір можна продовжити метрику в асимптотично плоский простір з від'ємними значеннями радіус-вектору r. У сильному гравітаційному полі сингулярності можливим є процес утворення пари частка-античастка, одна з котрих обертається навколо особливості та має від'ємну енергію, а друга рухається у напрямку до $r=\infty$ або $r=-\infty$. Спектр енергії часток в потенційній ямі, числа заповнення та час життя квазідискретних рівнів знайдено у квазікласичному наближенні.

Випромінюючи кванти, особливість втрачає масу та момент імпульсу. При цьому зменшується також параметр $\alpha=J/M^2$. При його зменшенні до одиниці сингулярність перетворюється на чорну діру з $a=M$. В дисертації доведено, что цей перехід відбудеться раніш, ніж маса особливості зменшиться до нуля. Більш того, втрати маси не перевершать 2% від її початкової величини.

У розділі 3.3.3 оцінено час "одягання" голої керрівськой сингулярності. Якщо початкове значення параметру $\alpha_0 = J_0/M_0{}^2$ близько до одиниці та $\beta_0{}^2 = \alpha_0{}^2 - 1 << 1$, то цей час як для бозонів, так і для ферміонів є

$$t_{\text{од}} \approx 7000 M\beta_0^{-1} \ln(M\beta_0). \qquad (28)$$

В цьому випадку числа заповнення рівнів невеликі та статистика не грає ролі. Час "одягання" для бозонів при $\alpha_0 > 1$

$$t_{\text{од}} \approx 50 M\alpha_0^9 \exp\left(2\alpha_0^2\right) \ln(M^2/\alpha_0) \qquad (29)$$

є істотно меншим за умовну оцінку цієї величини для "скалярних ферміонів", для яких

$$t_{\text{од}} \geq 10^3 M\beta_0^{-1} \exp(M^{1/2}\beta_0{}^{3/4}). \qquad (30)$$

Якщо маса сингулярності дорівнює масі Сонця (10^{38} планківських одиниць), то за час існування Всесвіту (10^{62} планківських одиниць) у чорну діру перейдуть особливості з параметрами $\beta < 10^{-28}$. Крім того, для бозонів, ми маємо ще один інтервал параметрів, в якому особливість встигне "одягнутися" за рахунок експоненційного зростання кількості бозонів на рівнях. Він простягається від $\beta \approx 10^{-20}$ до $\alpha \approx 4$. Таким чином, квантове випромінювання може мати астрофізичні наслідки. Особливості з $\alpha = 3$ "одягнуться" за час існування Всесвіту, якщо їх маса не перевищує 6×10^7 мас Сонця, особливості з $\alpha = 5$ - якщо їх маса не перевищує 3×10^{25}г, що істотно менше за масу Місяця. При $\alpha = 6$ ми маємо $M < 2\times10^{15}$г, а при $\alpha = 7$ гранична маса дорівнює 7кг. Ферміонне випромінювання практично відсутнє. Так, наприклад, особливість з $\beta = 0{,}1$, тобто $\alpha \approx 1{,}005$ переходить за час існування Всесвіту у чорну діру тільки при умові, що її маса не перевищує 2г.

В ***восьмому розділі*** розглянуто еволюцію анізотропних однорідних космологічних моделей типів II, VI_0 та VII_0 по Біанкі з просторовою кривиною. Використання однорідних космологічних моделей дозволяє звести рівняння Ейнштейна до динамічної системи звичайних диференційних рівнянь у багатовимірному просторі, основні особливості еволюції якої можно визначити, застосувавши якісні методи дослідження таких систем.

У розділі 8.1 розглянуто еволюцію космологічної моделі типу II по Біанкі, яка містить однорідную в'язку рідину. Дослідження підтвердили основні висновки, що зроблені В.А.Белінським та І.М.Халатниковим при вивченні моделі типу І по Біанкі. У порівнянні з випадком типу І знайдені нові розв'язки, що описують як народження, так і загибель Всесвіту. Змінюється характер еволюції на пізніх стадіях розширення та ранніх стадіях стискання. Але космологічна особливість лишається неминучим атрибутом еволюції як при стисканні, так й при росширенні. Дисипаційні процеси приводять до зростання ентропії Всесвіту.

У розділі 8.2 вивчаються інфляційні розв'язки в однорідних космологічних моделях зі скалярним полем для типів II, VI_0 та VII_0 по Біанкі. Доведено, що ймовірність неінфляційного розвитку Всесвіту після його випадкового квантового народження, тобто відношення кількості розв'язків без інфляції до їх загальної кількості є малою величиною порядку m/m_0 (m - маса кванта поля, m_0 - планківська маса). Це підтверджує для випадків типів II, VI_0 та VII_0 по Біанкі висновки попередніх робіт В.А.Белінського, Л.П.Грищука, Я.Б.Зельдовича та І.М.Халатникова з дослідження інфляційних стадій в космологічних розв'язках зі скалярним полем та виявленню ступеню загальності інфляційної стадії в еволюції Всесвіту та для однорідних просторів. Р.Уолдом було доведено, що для всіх однорідних космологічних моделей, за винятком IX типу по Біанкі, космологічна стала $\Lambda>0$ забезпечує вихід на інфляційну асимптотику за час порядку $(3/\Lambda)^{1/2}$. Оскільки масивне скалярне поле діє як космологічна стала, можно очікувати, що отриманий у розділі 8.2 результат буде вірним також для всіх типів однорідних космологічних моделей крім IX-го.

У ***Висновках*** (дев'ятому розділі) резюмуються результати дисертації та на їх основі робляться висновки про можливість утворення голих особливостей при колапсі. Не можуть утворюватися точкові та парадоксальні сингулярності. Заборонити утворення лінійних особливостей не можуть ні відцентрові, ні кулонівські сили, ні квантові ефекти. При незначному обертанні лінійних сингулярностей область порушення причинності може мати розміри менші від планківських. Подібний тип особливостей не може мати більш ніж три фізично довільні функції в пустоті.

Найбільш загальний вид колапсу міг би привести до утворення голих сингулярностей, які описуються коливальним розв'язком, що має у вакуумі 4 ФДФ. Матерія, що рухається гідродинамічно, не може впасти на таку сингулярність. Ця обставина заважає утворенню подібних особливостей при колапсі. Слід також відзначити, що нескінченна кількість коливань відбувається на відстанях менших за планківські. Тому вигляд такої особливості має істотно змінитися в майбутньому квантовому узагальненні теорії відносності. Крім того, сильні коливання поля у просторі та часі можуть викликати потужний потік енергії квантового випромінювання. Внаслідок цього можливість утворення особливостей коливального типу при колапсі залишається проблематичною.

Основні результати дисертації

1. Знайдено коливальний розв'язок рівнянь Ейнштейна біля їх часоподібних сингулярностей, який має у пустому просторі чотири фізично довільні функції трьох змінних. Він не змінює свого вигляду у присутності електромагнітних та векторних полів, а також матерії, що рухається гідродинамічно.
2. Побудовано ступеневу метрику, яка зшиває цей коливальний розв'язок з коливальним розв'язком Бєлінського-Лівшиця-Халатникова поблизу просторовоподібних космологічних сингулярностей, а також розв'язок поблизу асимптотично ізотропної гіперповерхні. Обидва також мають у пустому просторі чотири фізично довільні функції трьох змінних. Внаслідок цього закінчено побудову "загального" розв'язку рівнянь

Ейнштейна поблизу їх особливостей довільного типу.

3. Побудовано узагальнений просторовий розв'язок Казнера поблизу часоподібних сингулярностей, який має у вакуумі три фізично довільні функції трьох змінних. Скореговано вигляд узагальненого анізотропного розв'язку Лівшиця-Халатникова та метрики поблизу від "лінійних джерел" Ізраеля. Знайдено метрику та досліджено поведінку простору-часу поблизу від кінців та стрибків лінійної щільності вейлівських особливостей.
4. Розроблено метод визначення типу часоподібних сингулярностей. Побудовано класифікацію голих особливостей за їх типами. Досліджено вплив електромагнітного, скалярного та векторного заряду на тип сингулярності. Доведено існування у загальній теорії відносності нового типу сингулярностей - парадоксального, який неможливий у просторах зі скінченою кривиною. Доведено, що точкові та парадоксальні особливості не можуть виникати внаслідок колапсу.
5. Цілком досліджено простір-час, що описується метрикою Зіпоя-Вурхіза та простір-час, що має сингулярність у вигляді напівнескінченної нитки зі сталою лінійною щільністю маси. Досліджено також просторові розв'язки Казнера з рівними та комплексними показниками. Побудовано та досліджено узагальнення усіх цих розв'язків з електричним та скалярним зарядом.
6. Доведено, що у загальній теорії відносності через самогравітацію поля електрично зарядженої нескінченної нитки з постійною лінійною щільністю маси виникає сингулярність на скінченій відстані від нитки. Подібний ефект має місце також у присутності векторного заряду. Для особливостей, що мають обмежену довжину, цей ефект виникає лише при заряді, який перевищує критичне значення.
7. Досліджено рух часток та світла у просторах, які описуються метриками Казнера з дійсними, рівними та комплексними показниками, а та-

кож рух зарядженої частки у полі масивної зарядженої нескінченної нитки.

8. Знайдено два нових стаціонарних вакуумних розв'язки - кандидати на роль зовнішнього розв'язку для аксиально-симетричних тіл, що обертаються, як у випадку сплюснутих, так і витягнутих тіл.
9. Доведено, що в околі лінійних особливостей, що обертаються, виникає область порушення принципу причинності. Ця обставина пов'язує гіпотезу космічної цензури Пенроуза з принципом захисту хронології Хокінга. Доведено, що при слабкому обертанні ця область має розміри менші від планківських, що не дозволяє використати отримані результати як доказ гіпотези космічної цензури для лінійних сингулярностей.
10. Розглянуто квантову втрату енергії при утворенні голих особливостей. При формуванні голої сингулярності Рейснера-Нордстрема ця втрата істотно перевищує масу особливості. При утворенні лінійних сингулярностей втрата енергії є незначною.
11. Доведено, що у полі голої керрівської особливості існують квантові рівні з від'ємною енергією. Це призводить до утворення пар частка-античастка в її сильному гравітаційному полі. Внаслідок цього сингулярність зменшує кутовий момент, а її маса практично не змінюється. Особливість може "одягнутися", тобто перетворитися на чорну діру. Знайдено формулу, яка описує швидкість цього процесу. Визначено, при яких значеннях маси та кутового моменту сингулярність може "одягтись" за час існування Всесвіту.
12. Розглянуто еволюцію однорідних анізотропних космологічних моделей з просторовою кривиною у присутності в'язкої матерії та масивного скалярного поля. Підтверджено, що для моделей типів II, VI_0 та VII_0 за Біанкі зі скалярним полем, інфляційна стадія розвитку є неминучою.

Основні результати опубліковані в наступних роботах:

1. Парновский С.Л. Влияние вязкости на эволюцию Вселенной: тип II по Бианки.//ЖЭТФ. 1977. Т.72, № 3, С.809-819.
2. Khalatnikov I.M., Parnovsky S.L. On the motion of particles in the field of the naked Kasner-type singularity. //Physics Lett. 1978. V.66A, № 6. P.466-468.
3. Парновский С.Л. Движение частиц в поле голой особенности казнеровского типа с комплексными или равными показателями.// ЖЭТФ. 1979. Т.76, № 2. С.385-392.
4. Парновский С.Л. Электромагнитное и скалярное поля вокруг бесконечной нити и других голых особенностей казнеровского типа. // ЖЭТФ. 1979. Т.76, № 4. С.1162-1171.
5. Parnovsky S.L. Quantum particle production in the formation of naked Kasner-type singularities.//Physics Lett. 1979. V.73A, № 3. P.153-156.
6. Parnovsky S.L. Gravitation fields near the naked singularities of the general type//Physica. 1980. V.104A, P.210-222.
7. Парновский С.Л. Квантовое излучение голых сингулярностей керровского типа// ЖЭТФ, 1981г. т.80, № 4, С.1261-1270.
8. Parnovsky S.L. Can Reisner-Nordstrom singularities exist? //General Rel. and Grav. 1981. V.13, № 9. P.853-863.
9. Парновский С.Л. Тип и структура времениподобных сингулярностей в общей теории относительности: от гамма-метрики до общего решения //ЖЭТФ. 1985. Т.88, № 6. С.1921-1937.
10. Парновский С.Л. Влияние электрического и скалярного полей на свойства времениподобных особенностей.// ЖЭТФ. 1988. Т.94, № 12. С.15-22.
11. Парновский С.Л. Квантовые эффекты и гипотеза космической цензуры. //Вестник КГУ, серия "Астрономия". 1989. Т.31. С.2023.
12. Parnovsky S.L. A general solution of gravitational equations near their

singularities//Clas. and Quant.Gravit. 1990. V.7, № 4. P.571-575.

13. Parnovsky S.L. Motion of charged particles in the field of massive charged filament.//Acta Phys.Polonica B. 1991. V.22, № 3. P.367-370.

14. Парновский С.Л. Гравитационное поле вращающихся тел.//ЖЭТФ. 1991. Т.100, № 5(11). С.1423-1437.

15. Парновський С.Л. Рух зарядженої частки у полі масивної зарядженої нитки.//Вісник Київського університету, серія "Фіз.-мат. науки". 1992. Випуск 3. С. 17-21.

16. Парновский С.Л. Инфляционные решения в однородных космологических моделях со скалярным полем.//ЖЭТФ. 1993. Т. 103, № 2. С.337-344.

17. Parnovsky S.L. A general solution of Einstein equations near their singularities.//Proceedings of the sixth Marcel Grossmann meeting on general relativity (Kyoto, 1991). /Eds. H.Sato, T.Nakamura, R.Ruffini. Singapore: World Scientific, 1992. Part A, P.739-741.

18. Parnovsky S.L. New external stational solutions for the rotating axially symmetric bodies in general relativity.//Proceedings of the sixth Marcel Grossmann meeting on general relativity (Kyoto, 1991). /Eds. H.Sato, T.Nakamura, R.Ruffini. Singapore: World Scientific, 1992. Part A, P.742-744.

19. Парновский С.Л. Векторное поле вокруг бесконечной нити. // Точные решения уравнений гравитационного поля и их физическая интерпретация (Тезисы докладов Второго всесоюзного научного семинара. Тарту, 26-28 января, 1988г.). Тарту: Из-во ТГУ. 1988. С.13-15.

20. Парновский С.Л. Квантовые эффекты при образовании времениподобных сингулярностей.//Материалы VII Всесоюзной конференции "Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации (18-21 октября 1988г.)". Ереван: Из-во ЕрГУ. 1988. С.324-325.

21. Парновский С.Л. Общее решение уравнений ОТО вблизи их особенностей.//Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации" (VI Советская гравитационная конференция. ИТФ АН СССР, МГПИ, УДН, Москва, 3-5 июля 1984г.). М.: Из-во Унив. дружбы народов. 1984. С.159-160.
22. Парновский С.Л. Линейные источники в ОТО.//Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации" (VI Советская гравитационная конференция. ИТФ АН СССР, МГПИ, УДН, Москва, 3-5 июля 1984г.). М.: Из-во Унив. дружбы народов. 1984. С.161-162.
23. Парновский С.Л. Физическая интерпретация метрики Ван Штокума.// Точные решения уравнений гравитационного поля и их физическая интерпретация (Тезисы докладов Второго всесоюзного научного семинара. Тарту, 26-28 января, 1988г.). Тарту: Из-во ТГУ. 1988. С16-18.
24. Парновский С.Л. Свойства времениподобных сингулярностей источников негравитационных полей.// Материалы VII Всесоюзной конференции "Современные теоретические и экспериментальные проблемы теории относительности и гравитации (18-21 октября 1988г.)". Ереван: Из-во ЕрГУ. 1988. С.109-111.
25. Парновский С.Л. Движение заряженой частицы в поле массивной заряженой нити.// Abstr. Int. Sympos. "Motion of test bodies in the relativ. gravitational theory". Вильнюс, 1990. С.50-51.
26. Парновский С.Л. Эволюция однородной космологической модели типа II по Бианки со скалярным полем.//Abstr. Int. Sympos. "Motion of test bodies in the relativ. gravitational theory". Вильнюс, 1990. С.52-53.
27. Парновский С.Л. Инфляционные решения в однородных космологических моделях со скалярным полем.//Тезисы 8-й Росийской гравитационной конференции (Пущино, май 1993г.). Пущино, 1993. С.63.

Парновский С.Л. Свойства пространства-времени и негравитационных полей вблизи времениподобных сингулярностей в общей теории относительности.

Диссертация (в виде рукописи) на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика, Институт теоретической физики НАН Украины, Киев, 1994.

Исследуются свойства времениподобных и голых сингулярностей (ВГС) в общей теории относительности и влияния на них негравитационных полей, производится классификация особенностей, изучены квантовые эффекты вблизи ВГС и при их образовании, а также эволюция однородных космологических моделей. Установлено существование нового типа ВГС - парадоксального. Показана возможность перехода вращающейся ВГС в черную дыру путем квантового рождения пар в ее гравитационном поле. Рассмотрен вопрос о справедливости гипотезы космической цензуры.

Parnovsky S.L. Properties of space-time and nongravitational fields near timelike singularities in general relativity.

Properties of timelike and naked singularities (TNS) in general relativity are studied, an influence of nongravitational fields on them and quantum effects near TNS are investigated, as well as evolution of the homogeneous cosmological models. An existence of a new type of TNS, named paradoxlike, is shown. A rotating TNS can turn into a black hole due to quantum pairs production in its strong gravitational field. The problem of Cosmic Censorship hypothesis fulfillness is consider.

Ключові слова: загальна теорія відносності, сінгулярності простору-часу, квантові ефекти в гравітаційних полях, космологічні моделі.

Парновський Сергій Людомирович

Властивості простору-часу та негравітаційних полів біля часоподібних сингулярностей у загальній теорії відносності

Зам.- 165 Формат 60х90/16 Обл.-вид.арк.- 1,86

Підписано до друку 18.10.1994 р. Тираж 100 прим.

Поліграфічна дільниця ІТФ ім.М.М.Боголюбова НАН України

[illegible] Сергій Людомирович

Властивості простору-часу та [illegible] часоподібних сингулярностей у загальній теорії відносності

Зам. 165 Формат 60x90/16 Обл.-вид.арк. 1,85

Підписано до друку 18.10.1994 р. Тираж 100 прим.

Поліграфічна дільниця ІТФ ім.М.М.Боголюбова НАН України