

Компактные системы в режимной гравитации

Автор: Вепренцев Алексей Александрович (независимый исследователь)

1. Введение

Мотивация: Стандартные ньютоновские и постньютоновские аппроксимации недостаточно точны для компактных объектов, таких как белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры. В этих системах накопление малых и релятивистских эффектов может оказывать значимое влияние на динамику.

Цель работы: показать, как режимная формализация с параметрами R , K , Ξ и пороговой функцией $F(R)$ применяется к компактным объектам, а также как учитывать накопление эффектов через $\Delta_{effective}(t)$.

Связь с предыдущими исследованиями: Работа опирается на концепции режимной метаструктуры, пороговой физики и квантовых поправок, расширяя методику на системы с сильными гравитационными полями.

Вывод главы: Режимный подход позволяет количественно описывать поведение компактных систем за пределами ньютоновской аппроксимации.

2. Теоретическая база

2.1 Режимные параметры

Для компактных объектов вводятся стандартные безразмерные параметры:

- Гравитационный параметр:

$$R = G * M / (r * c^2)$$

- Кинематический параметр:

$$K = v^2 / c^2$$

- Обобщенный режимный параметр:

$$\Xi = \max(R, K)$$

2.2 Пороговая функция

Функция порогового множителя определяет переход от ньютоновской к релятивистской динамике:

$$F(R) = 1 / [1 + (R / R_c)^n], n \geq 1$$

- $F(R) \rightarrow 1$ при $R \ll R_c$ (ньютоновский режим)
- $F(R) < 1$ при $R \approx R_c$ (начало релятивистских эффектов)

2.3 Эффективное ускорение

Эффективное ускорение с учётом пороговой функции выражается как:

$$a_{eff} = a_0 * F(R), \text{ где } a_0 = -G * M / r^2$$

2.4 Накопление эффектов

Интегральное накопление эффектов описывается:

$$\Delta_{effective}(t) = \int_0^t [1 - F(R(t'))] dt'$$

Вывод главы: Параметры R , K , $\bar{\varepsilon}$ и $F(R)$ позволяют систематично фиксировать отклонения от классической динамики и оценивать накопленные эффекты.

3. Особенности компактных объектов

3.1 Белые карлики

- $R \sim 10^{-4}$
- Граничный режим: $\bar{\varepsilon} \approx R_c$
- $\Delta_{effective}(t)$ умеренное, но заметное

3.2 Нейтронные звезды

- $R \sim 10^{-2}$
- Релятивистский режим: $\bar{\varepsilon} > R_c$
- $\Delta_{effective}(t)$ значительное, классические аппроксимации теряют корректность

3.3 Черные дыры

- $R \sim 10^{-1}$
- Полностью релятивистский режим
- $\Delta_{effective}(t)$ приближается к единице, требуется полное релятивистское описание

Примечание: С ростом R накопление эффектов $\Delta_{effective}(t)$ увеличивается, что требует высокой точности численной реализации.

Вывод главы: Режимная формализация корректно фиксирует степень релятивистского влияния и необходимость корректировок в расчетах.

4. Численные схемы и контроль

Для расчётов вводятся дискретные схемы:

- **Локальная невязка:**

$$\varepsilon_{local}(n) = LHS_{discrete}(n) - RHS_{discrete}(n)$$

- **Глобальная невязка:**

$$E_{global} = \sum_n [\varepsilon_{local}(n)^2 * \Delta r(n)]$$

- **Порядок сходимости:**

$$p = \log_2(|E_{\Delta r} - E_{\Delta r/2}| / |E_{\Delta r/2} - E_{\Delta r/4}|)$$

- **Проверка корректности:**

$\varepsilon_R(n) \gg \varepsilon_{num}(n)$ гарантирует, что наблюдаемый эффект $\Delta_{effective}(t)$ отражает физическую величину, а не численные ошибки

Вывод главы: Контроль локальной и глобальной невязки обеспечивает достоверность результатов и отделение физических эффектов от дискретизационных артефактов.

5. Примеры расчётов

5.1 Орбитальные периоды и прецессия

Для компактных бинарных систем:

- Белые карлики: $R \sim 10^{-4}$, $\Delta_{effective}(t)$ небольшое, но измеримое
- Нейтронные звезды: $R \sim 10^{-2}$, $\Delta_{effective}(t)$ существенно влияет на орбиту
- Черные дыры: $R \sim 10^{-1}$, $\Delta_{effective}(t)$ доминирует в динамике

5.2 Пороговая функция

- Влияние параметров R_c и n на $F(R)$ и, следовательно, на a_{eff} и периоды орбит
- Малые изменения пороговых параметров могут сильно изменить накопленные эффекты

5.3 Сравнение накопления эффектов

- $\Delta_{effective}(t)$ растет с увеличением R , подтверждая теоретические ожидания

- Позволяет количественно оценивать относительную значимость релятивистских эффектов для разных объектов

Вывод главы: Примеры подтверждают предсказательную способность режимного подхода и демонстрируют его практическую применимость.

6. Критерии физической значимости

- **Физическая значимость:** эффект считается значимым, если $\varepsilon_R(n) \gg \varepsilon_{num}(n)$
- **Пороговый переход:** $E \sim R_c$ — граница применимости ньютоновской аппроксимации
- **Сохранение классической физики:** $E \ll R_c$, эффекты фиксируются, но не нарушают законы классической механики

Вывод главы: Критерии обеспечивают количественную оценку того, когда накопленные эффекты становятся существенными.

7. Выводы

1. Режимная формализация успешно применяется к компактным объектам.
2. Пороговая физика количественно определяет необходимость релятивистских поправок.
3. $\Delta_{effective}(t)$ фиксирует интегральное накопление эффектов.
4. Численные схемы с контролем локальной и глобальной невязки обеспечивают достоверность расчетов.
5. Методика создаёт основу для последующего объединения с многомерными и квантовыми эффектами.

Примечание: Данный подход позволяет согласованно расширять применение ньютоновской и релятивистской динамики без изменения фундаментальных законов.

Литература

1. Вепренцев А. А. Режимная теория гравитации: концептуальный каркас и учет пороговых эффектов. Zenodo. DOI (2026): <https://doi.org/10.5281/zenodo.18348081>
2. Мизнер К. В., Торн К. С., Уилер Дж. А. Гравитация. W. H. Freeman, 1973
3. Бланше Л. Гравитационное излучение от источников в постньютоновском приближении и спирально сливающиеся компактные двойные системы. Living Reviews in Relativity, 2014
4. Пуассон Э., Уилл К. М. Гравитация: ньютоновская, постньютоновская, релятивистская. Cambridge University Press, 2014
5. Шутц Б. Ф. Введение в общую теорию относительности. Cambridge University Press, 2009
6. Шапиро С. Л., Тьюколский С. А. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды: физика компактных объектов. Wiley, 1983
7. Хартл Дж. Б. Гравитация: введение в общую теорию относительности Эйнштейна. Addison-Wesley, 2003
8. Уилл К. М. Теория и эксперимент в гравитационной физике. Cambridge University Press, 1993