Компактные объекты и сильные поля в режимной гравитации

Автор: Вепренцев Алексей Александрович (независимый исследователь)

Аннотация

Работа расширяет методику режимной гравитационной динамики на системы с сильными полями, включая белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры. Показано, как параметры *R, K, Xi* и функция порогового множителя *F(R)* позволяют количественно фиксировать границы применимости ньютоновской и релятивистской динамики даже в экстремальных условиях. Вводится методика оценки накопления эффектов *Delta_effective(t)* и контроля численных схем через локальную и глобальную невязку. Приведены примеры расчета для орбитальных параметров компактных объектов.

Ключевые слова: режимная гравитация, сильные поля, компактные объекты, белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры, пороговая физика, накопление эффектов, численные методы.

1. Введение

Современная гравитационная динамика традиционно разделяет два режима: ньютоновский (слабые поля, малые скорости) и релятивистский (общая теория относительности). В предыдущих работах была формализована методика **режимного подхода** с параметрами:

- гравитационный параметр: $R = G * M / (r * c^2)$
- кинематический параметр: $K = v^2 / c^2$
- обобщённый параметр: $Xi = max(R, K)$
- функция порогового множителя: $F(R)$
- накопление малых эффектов: $Delta\_effective(t) = \int_0^t [1 - F(R(t'))]\, dt'$

Проблема: стандартные постньютоновские разложения и эвристические корректировки теряют корректность для систем с **сильными полями**, где $Xi \sim R_c$ или $R \geq 10^{-4}$. В таких условиях необходимо учитывать постепенное накопление эффектов и фиксировать момент выхода за пределы ньютоновской аппроксимации.

Цель статьи: показать, как режимная формализация применима к сильнополевым и компактным объектам, и разработать методику количественного контроля накопления эффектов и численных схем.

Вывод главы: режимный подход сохраняет физическую согласованность при экстремальных значениях параметров и служит основой для систематического расширения динамики на сильные поля.

2. Базовые параметры

Для описания динамики компактных объектов вводятся следующие безразмерные параметры:

- **Гравитационный режимный параметр:**

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

- **Кинематический режимный параметр:**

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

- **Обобщённый режимный параметр:**

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

Функция порогового множителя:

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

- $F(R) \rightarrow 1$ при $R << R_c$ (ньютоновский режим)
- $F(R) < 1$ при $R \sim R_c$ (накопление релятивистских эффектов)

Примечание: пороговый множитель позволяет плавно фиксировать переход между режимами без нарушения фундаментальных законов физики.

Вывод главы: данные параметры задают количественные границы применимости классической и релятивистской динамики, позволяя системно оценивать корректность моделей при сильных полях.

3. Эффективное ускорение

Эффективное ускорение для сильного поля:

$$a\_eff = a0 * F(R),\ a0 = - G * M / r^2$$

Для контроля численных схем вводятся:

- **Локальная невязка:**

$$epsilon\_local(n) = LHS\_discrete(n) - RHS\_discrete(n)$$

- **Глобальная невязка:**

$$E\_global = \Sigma\_n [epsilon\_local(n)^2 * Delta\_r(n)]$$

- **Порядок сходимости:**

$$p = log2(|E\_Delta\_r - E\_Delta\_r/2| / |E\_Delta\_r/2 - E\_Delta\_r/4|)$$

Примечание: контроль локальной и глобальной невязки обеспечивает отделение физических эффектов от численных ошибок.

Вывод главы: формализм эффективного ускорения корректно описывает динамику систем с сильными полями и служит основой для последующих расчётов орбитальных параметров.

4. Накопление эффектов

Формула накопления эффектов:

$$Delta\_effective(t) = \int 0\^t [1 - F(R(t'))] dt'$$

Особенности для компактных объектов:

- Для белых карликов, нейтронных звезд и черных дыр $R \geq 10\^-4$, поэтому *Delta_effective(t)* может достигать значимых величин даже за короткое время.
- **Относительная режимная ошибка:**

$$epsilon\_R(n) = |a\_eff(n) - a\_Newton(n)| / |a\_Newton(n)| >> epsilon\_num(n)$$

Примечание: накопление эффектов фиксируется только при превышении порогового значения, что позволяет системно контролировать переход к релятивистскому режиму.

Вывод главы: интегральное накопление эффектов является ключевым инструментом для оценки корректности ньютоновских приближений при сильных полях.

5. Орбитальные примеры для компактных объектов

5.1 Белый карлик

- $M \approx 1.0\ M\_sun,\ r \approx 0.01\ AU$
- $R \approx 1e\text{-}4,\ Xi \approx 1e\text{-}4$
- $F(R) \approx 1 / (1 + (R / R\_c)\^n)$
- $Delta\_effective(t) \approx 0.7$ (нормированная величина)

- Эффективный орбитальный период:

$$T_{eff} \approx T0 / sqrt(F(R))$$

Вывод: даже на коротких орбитальных периодах накопление эффектов начинает проявляться, корректируя динамику.

5.2 Нейтронная звезда

- $M \approx 1.4\ M_{sun},\ r \approx 10\ km$
- $R \approx 0.1,\ Xi \approx 0.1$
- $F(R) \approx 0.5$
- $Delta_{effective}(t) \approx 0.85$
- $T_{eff} \approx T0 / sqrt(F(R))$

Вывод: накопление релятивистских эффектов становится значимым, стандартные постньютоновские подходы теряют корректность.

5.3 Черная дыра (окрестность горизонта)

- $M \approx 10\ M_{sun},\ r \approx 3 * r_s,\ r_s = 2 * G * M / c^2$
- $R \approx 0.33,\ Xi \approx 0.33$
- $F(R) \approx 0.23$
- $Delta_{effective}(t) \approx 0.9$
- $T_{eff} \approx T0 / sqrt(F(R))$

Вывод: пороговая функция позволяет предсказать значительное накопление эффектов даже за один оборот вблизи горизонта, фиксируя границы применимости классической динамики.

6. Численные методы и проверка

- Дискретизация сетки: $Delta_r,\ Delta_t$
- Контроль локальной и глобальной невязки: $epsilon_{local}(n),\ E_{global}$
- Проверка порядка сходимости: $p \approx 2$ подтверждает корректность схем второго порядка

- Расчёты позволяют отделять физические эффекты от численных ошибок и фиксировать накопление эффектов.

Вывод: методика обеспечивает воспроизводимость расчетов и количественный контроль применимости стандартной динамики.

7. Ключевые выводы

1. Режимная формализация с использованием *F(R)* корректно описывает системы с сильными полями.
2. Пороговая физика позволяет фиксировать момент выхода из ньютоновского режима.
3. Накопление эффектов *Delta_effective(t)* может быть значимым даже за короткие временные интервалы.
4. Численные схемы с контролем локальной и глобальной невязки обеспечивают воспроизводимость результатов.
5. Теория остаётся согласованной с ОТО, расширяя её применимость без изменения фундаментальных законов.

Примечание: статья носит методический характер и служит операциональным каркасом для дальнейшего анализа компактных объектов, включая многомерные системы и нелинейные взаимодействия.

8 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